

PROSIDING SENTRINOV

MALANG, 23 – 24 NOVEMBER 2017

SEMINAR NASIONAL TERAPAN RISET INOVATIF TAHUN 2017

*Smart Technology for Enhancing the National
Competitiveness*

Topik: **Teknik Mesin**

Penyunting:

Moehammad Sarosa
Faisal Rahutomo
Ratih Indri Hapsari

**Unit Pelaksana Teknis
Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat
Politeknik Negeri Malang**



POLINEMA



POLINES



PNB



POLMAN
BABEL

Prosiding
Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (Sentrinov) 2017
Tahun 2017 Volume 3 Edisi 3
Topik: Teknik Mesin
ISSN: 2447 – 2097

Dipublikasikan oleh:



Unit Pelaksana Teknis
Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat
Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta 9, Malang, Jawa Timur 65141
Tel. +62-341-404421
Fax. +62-341-404424
Laman <http://seminar.sentrinov.org/>
e-mail admin.sentrinov@polinema.ac.id
Copyright © (2017) Polinema
All right reserved

Prosiding

Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (Sentrinov) 2017

Tahun 2017 Volume 3 Edisi 3

Topik: Teknik Mesin

Keynote Speakers:

- Prof.Dr.Ir. Suhono Harso Supangkat M.Eng.
- Prof. Dr. Jeng Han Li

Invited Speakers:

- Dr. Ir. Lilik Sudiajeng, M.Erg.
- Nikmatuniayah, S.E., M.Si., Akt.
- Indrazno Siradjuddin, Ph.D., S.T., M.T.
- Dr. Jumi, S.Kom., M.Kom.

Komite Program:

- Dr. Dra. Iis Mariam, M.Si. (Politeknik Negeri Jakarta)
- Dr. Ida Nurhayati, S.H. M.H. (Politeknik Negeri Jakarta)
- Dr. Eng. Budi Prawara, S.T., M.Eng. (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)
- Dr. Ir. Muhammad Mukhlisin, M.T. (Politeknik Negeri Semarang)
- Dr. Eng. Sidiq Syamsul Hidayat, S.T, M.T. (Politeknik Negeri Semarang)
- Dr. Sc. Anugrah Ricky Wijaya, M.Sc. (Universitas Negeri Malang)
- Dr. Ir. I Made Suarta, S.E., M.T. (Politeknik Negeri Bali)
- Dr. I Ketut Budarma, M.Par. MMTHRL. (Politeknik Negeri Bali)
- Dr. Eng. Anggit Murdani, S.T., M.Eng. (Politeknik Negeri Malang)
- Dr. Moehammad Sarosa, Dipl.Ing., M.T. (Politeknik Negeri Malang)
- Dr. Dra. Kurnia Ekasari., M.M., Ak., CA. (Politeknik Negeri Malang)
- Indrazno Siradjuddin, S.T., M.T., Ph.D. (Politeknik Negeri Malang)
- Ratih Indri Hapsari, S.T., M.T., Ph.D. (Politeknik Negeri Malang)
- Dr. Eng. Faisal Rahutomo, S.T., M.T. (Politeknik Negeri Malang)
- Dr. Ir. Prayitno., M.T. (Politeknik Negeri Malang)
- Yusri Abdillah, S.Sos., M.Si., Ph.D (Universitas Brawijaya)

Penyunting:

Dr. Moehammad Sarosa, Dipl. Ing.
Dr. Eng. Faisal Rahutomo, S.T., M.T.
Ratih Indri Hapsari, S.T., M.T., Ph.D.

ISSN: 2447 – 2097

Copyright © (2017) Polinema

All right reserved



KATA PENGANTAR

DIRECTOR OF SENTRINOV 2017

Pertama-tama, marilah kita panjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan berbagai kenikmatan yang tak terhingga. Sholawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan umatnya. Kami ucapkan terima kasih kepada seluruh peserta Seminar Nasional Terapan Inovatif (Sentrinov) 2017 dan berbagai pihak yang telah mendukung terselenggaranya acara ini, terutama pimpinan Polinema, Polines, PNB dan Polman Babel, para ketua lembaga penelitian dan pengabdian, Tim Kepanitiaan dan pihak sponsor atas partisipasinya sehingga acara seminar ini dapat terselenggara.

Sentrinov 2017 adalah Seminar Nasional Terapan Inovatif yang diselenggarakan atas kerja sama Politeknik Negeri Malang, Politeknik Negeri Semarang, Politeknik Negeri Bali dan Politeknik Manufaktur Bangka Belitung. Sesuai dengan tujuan Sentrinov sebagai sarana bagi peneliti, akademisi dan praktisi dalam mempublikasikan hasil-hasil penelitian, konsep dan ide terbaru bidang terapan inovatif, maka pada seminar ini tersaji beragam materi. Artikel-artikel dikelompokkan sesuai topiknya, meliputi bidang: Ekonomi dan Bisnis, Pendidikan, Teknologi Informasi, Teknik Elektro, Teknik Mesin, Teknik Sipil, Teknik Kimia, dll. Sentrinov 2017 ini telah menerima 161 abstrak dan 144 makalah dari 24 perguruan tinggi dan instansi di seluruh Indonesia.

Sebagai tulang punggung pencetak tenaga terampil, maka Politeknik memiliki peran penting dalam membentuk dan mengembangkan berbagai keahlian yang diakui pihak industri dan praktisi. Peran penting tersebut akan terwujud jika kita mampu mensinergikan akademisi, peneliti, dan praktisi. Untuk itu, 4 Politeknik (Polinema, Polines, PNB dan Polman Babel) sangat konsen atas penyelenggaraan Seminar Nasional Terapan Inovatif 2017 sebagai forum yang mampu mewadai berbagai pihak tersebut.

Kami berharap, kontribusi para peserta Sentrinov 2017 dapat turut mewujudkan tema seminar *Smart Technology for Enhancing the National Competitiveness*. Semoga dengan penyelenggaraan Sentrinov 2017 ini Politeknik dapat lebih memberikan kontribusi dalam upaya kemandirian bangsa melalui forum diskusi ilmiah dan sekaligus sebagai motor penggerak pengembangan teknologi cerdas melalui penelitian terapan. Selaku panitia, kami mohon maaf apabila terdapat banyak kekurangan dan kesalahan dalam penyelenggaraan seminar kali ini.

Malang, 23 November 2017
Director of Sentrinov 2017,

Moehammad Sarosa

TENTANG SENTRINOV 2017

Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (Sentrinov) 2017 adalah konferensi ilmiah yang diselenggarakan oleh Politeknik Negeri Malang di Indonesia. Seminar ini menyediakan wadah bagi akademisi, peneliti, dan praktisi untuk mempresentasikan dan mendiskusikan hasil studinya dalam bidang ilmu pengetahuan terapan dan bidang rekayasa. Melalui seminar tahunan ini, diharapkan para peserta dapat menyajikan hasil riset yang inovatif serta mendiskusikan tantangan dan peluang untuk membawa riset-riset ini menuju industrialisasi dan komersialisasi agar memberikan kemanfaatan sosial. Di samping itu, seminar ini dapat membuka kesempatan untuk berkolaborasi antar ilmuwan dari berbagai institusi dalam lintas disiplin ilmu.

Sentrinov 2017 ini diselenggarakan di Hotel Aria Gajayana Malang, yang merupakan rangkaian dari Sentrinov 2015 dan Sentrinov 2016 di Semarang yang diselenggarakan oleh Politeknik Negeri Semarang. Pada tahun ini, Politeknik Negeri Malang menyelenggarakan Sentrinov 2017 bersama dengan Politeknik Negeri Semarang, Politeknik Negeri Bali, dan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Tema Sentrinov 2017 *“Smart Technology for Strengthening the National Competitiveness”* mencerminkan visi para ilmuwan terapan dan praktisi yang diemban oleh institusi pendidikan tinggi vokasi untuk mendukung hilirisasi hasil penelitian yang bersifat terapan.



POLINEMA



POLINES



PNB



**POLMAN
BABEL**

ANALISA PENGARUH PENDINGINAN MESIN LAS TITIK TERHADAP SIFAT MEKANIS BJLS GALVALUM	
<i>Riswan Eko Wahyu Susanto, Rahayu Mekar Bisono.....</i>	<i>1</i>
PENGEMBANGAN DESAIN MESIN PENCACAHAN DENGAN PENGGANTIAN CUTTING BLOCK	
<i>Adhe Anggry, Subkhan.....</i>	<i>13</i>
DISTRIBUSI RAPAT ARUS PADA SOLID OXIDE FUEL CELL TERHADAP LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK	
<i>Yusuf Dewantoro Herlambang, Totok Prasetyo, Anis Roihatin, Yanuar Mahfudz Safarudin.....</i>	<i>20</i>
UNJUK KERJA SEL BAHAN BAKAR HIDROGEN TERHADAP KONSENTRASI DAN LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR	
<i>Wahyono, Anis Roihatin, Budhi Prasetyo, Yusuf Dewantoro Herlambang, Totok Prasetyo.....</i>	<i>32</i>
DISEMINASI TEKNOLOGI PERAJANG SAMPAH ORGANIK DALAM UPAYA MENERAPKAN PRODUKSI BERSIH DAN EKOTEKNOLOGI	
<i>Eddy Triyono, Vonny SA Budiarti, Suparni Setyowati Rahayu, Poedji Haryanto.....</i>	<i>42</i>
PARAMETER MESIN EDM SINKING UNTUK MENGOPTIMALKAN RESPON PADA MATERIAL AISI H13 MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI – FUZZY	
<i>Eko Yudo, Diah Kusuma Pratiwi.....</i>	<i>50</i>
INOVASI TEKNOLOGI BANTALAN REL KERETA API BERBAHAN BAKU LIMBAH PLASTIK	
<i>Bambang Sugiyono Agus Purwono, Heru Purnomo, Awan Setiawan, Masroni, Rahbini... </i>	<i>62</i>
RANCANG BANGUN PERLENGKAPAN MESIN CNC ROUTER 3-AXIS GUNA Mendukung PRODUKSI INDUSTRI KREATIF	
<i>Suharto, Suryanto, Sarana, Sisworo, Indriyanto.....</i>	<i>74</i>
PENGUJIAN AWAL PROTOTYPE MESIN PENDINGIN ADSORPSI INTERMITTENT ENERGI SURYA	
<i>Nyoman Sugiarta dan I Made Sugina.....</i>	<i>84</i>
ANALISA KINERJA BUBUT DOALL LT13 DITINJAU DARI PENYIMPANGAN KETELITIAN GEOMETRI MESIN DAN KEBULATAN BENDA KERJA	
<i>Ariyanto, Husman, Yuli Dharta.....</i>	<i>95</i>
PENERAPAN TEKNOLOGI PRESSTOOL SEDERHANA PADA UMKM PEMBUAT PISAU STAINLESS STEEL DI KABUPATEN KUDUS	
<i>Aryo Satito dan Supandi.....</i>	<i>107</i>
PENINGKATAN KUALITAS PASIR ZIRKON (ZrSiO₄) MENGGUNAKAN METODE CARBOTHERMAL DAN PELINDIAN DENGAN DESAIN TAGUCHI	
<i>Muhammad Subhan, Zaldy Kurniawan, dan Ilham Ary Wahyudie.....</i>	<i>118</i>

PENERAPAN SISTEM VAKUM HPDC MANUAL UNTUK PENINGKATAN KUALITAS PRODUK IKM PENGECORAN ALUMINIUM ADC12	
<i>Paryono, Ly Sutadi, Gutomo</i>	131
KARATERISTIK MUTU SE'I TUNA YANG DIPROSES MENGGUNAKAN METODE LIQUID SMOKING, SMOKING CABINET DAN TUNGKU TRADISIONAL	
<i>Aloysius Leki, Mamiék Mardyaningsih</i>	138
SIFAT TERMAL DAN KETAHANAN BENGKUK MATERIAL SOL SEPATU PANTOFEL LAKI-LAKI DEWASA	
<i>Eko Nuraini</i>	150
DESAIN DAN PEMBUATAN TURBIN ULIR ARCHIMEDES UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO	
<i>Tineke Saroinsong, Adelbert Thomas, Alfred N Mekele</i>	159
IPTEK BAGI MASYARAKAT (IbM) KELOMPOK USAHA PEMBUAT RUSIP	
<i>Robert Napitupulu, Rodika</i>	170
PEMODELAN PENGERINGAN PAPER WEB DI DRYER SECTION DARI MESIN KERTAS DENGAN ANALISIS PERPINDAHAN PANAS DAN MASSA	
<i>Ach. Muhib Zainuri</i>	179
PENGARUH UNBALANCE PADA ROTARY DISK TERHADAP RUGI DAYA MOTOR.	
<i>Maskuri, Imam Mashudi, Lisa Agustriyana</i>	194
PENGARUH INTENSITAS CAHAYA MATAHARI TERHADAP OUTPUT TEGANGAN SOLARCELL PENGISI BATERAI KENDARAAN LISTRIK	
<i>Nurhadi, Syamsul Hadi, Pondi Udianto, Rahman Abdillah</i>	209
PENINGKATAN KEKUATAN TARIK MATERIAL FCD – 50 DENGAN PROSES AUSTEMPER, CRYOGENIC AND TEMPER DUCTILE IRON (ACTDI)	
<i>Suriansyah Sabarudin, Agus Suyatno, Dadang Hermawan</i>	221
KINERJA MODEL TURBIN ANGIN POROS HORIZONTAL BERSUDU TIGA FLAT BERLAPIS TIGA	
<i>Sahid, Sunarwo, dan Dwiana Hendrawati</i>	230
PENINGKATAN USAHA PEMASANGAN FIGURA PADA KERAJINAN CORAN ALUMINIUM PRODUK UKM DI JUWANA PATI JAWA TENGAH	
<i>Sri Harmanto, Ahmad Supriyadi, Moch. Abdul Kodir</i>	62
PEMANASAN KATALIS TEMBAGA DALAM MUFFLER UNTUK MEREDUKSI GAS BUANG MOTOR BENSIN	
<i>Yuniarto Agus Winoko</i>	253
RANCANG BANGUN SIMULASI ALAT PENGERING DENGAN MEMANFAATKAN PANAS BUANG RADIATOR SEBAGAI SUMBER ENERGI PANAS	
<i>I Kadek Ervan Hadi Wiryanta, I Made Anom Adiaksa</i>	261

**INCREMENTAL BACKWARD HOLE-FLANGING PELAT TEMBAGA MELALUI JALUR
PEMBENTUKAN SPIRAL**

Imam Mashudi, Agus Hardjito, Agus Dani 269

**ANALISIS PROSES DAN PERENCANAAN ANGGARAN PENYEDIAAN KOMPONEN BAK *DUMP*
TRUCK**

Nurchajat..... 280

RANCANG BANGUN MESIN PENCACAH SINGKONG DAN TANGKAI TALAS

Idiar, Erwansyah, dan Sugianto..... 292

APLIKASI MESIN PANTOGRAPH 3D PADA UKM PENGRAJIN BIJI-BIJIAN LANGKA

Paryono, Edy Suwanto, Teguh Budi Santoso 300



Teknik Mesin



**ANALISA PENGARUH PENDINGINAN MESIN LAS TITIK TERHADAP SIFAT
MEKANIS BJLS GALVALUM****Riswan Eko Wahyu Susanto¹, Rahayu Mekar Bisono²**

Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Kediri

risone79@gmail.com¹ rahayuyudhaputra@gmail.com²**ABSTRACT**

Resistance Spot welding is widely used in plate grafting techniques with a certain thickness and widely applied for the manufacture of filling cabinets, bookshelves, and so forth. Problems that occur at the point welding machine, such as the engine is less than optimal when overheating and for materials with certain alloys can not be done welding. This research is aimed to get the result of suitable welding joint, obtained by machine optimization, and can understand the influence of cooling system at point welding machine. This research method is true experimental research, Variable Research consists; Cooling pressure free pressure variable at 10 Psi, 20 Psi, and 30 Psi. Variable bound to strong welding current 8 and resistance 4. Control variables BJLS Galvalum plate thickness 0.4 mm. Tensile Testing and Shear testing using Universal Testing Machine (UTM WDW-20). and one way Anova statistical approach was analyzed. The results show that the increase in cooling flow pressure increases the tensile shear strength of spot welds. This indicates that the higher the cooling flow the spot welding machine DN-25 the more effective work as well as BJLS Galvalum material increasingly has high tensile shear strength. Anova analysis showed that cooling flow pressure had significant effect on shear tensile strength with 95 percent confidence level.

Keywords: *Resistant Spot Welding, cooling flow, galvalum, tensile shear strength*

ABSTRAK

Resistance Welding banyak digunakan dalam teknik penyambungan pelat dengan ketebalan tertentu dan banyak diaplikasikan guna pembuatan filling cabinet, rak buku, dan sebagainya. Masalah yang terjadi pada mesin las titik, misalnya mesin kurang optimal apabila terlalu panas dan untuk material dengan paduan tertentu tidak dapat di lakukan pengelasan. Penelitian ini bertujuan agar diperoleh hasil sambungan las yang sesuai, diperoleh optimasi mesin, dan dapat memahami pengaruh sistem pendinginan pada mesin las titik. Metode penelitian ini merupakan true experimental research, Variabel Penelitian terdiri; Variabel bebas tekanan aliran pendinginan pada 10 Psi, 20 Psi, dan 30 Psi. Variabel terikat dengan kuat arus pengelasan 8 dan resistensi 4. Variabel kontrolnya pelat BJLS Galvalum tebal 0,4 mm. Pengujian Tarik Geser menggunakan Universal Testing Mesin (UTM WDW-20). serta dilakukan analisa pendekatan statistik anova satu arah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan tekanan aliran pendinginan meningkatkan kekuatan tarik geser las titik. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi aliran pendinginan maka mesin las titik DN-25 semakin efektif bekerja serta material BJLS Galvalum semakin memiliki kekuatan tarik geser yang tinggi. Dari hasil analisa Anova diperoleh bahwa tekanan aliran pendinginan berpengaruh nyata terhadap kekuatan tarik geser dengan tingkat keyakinan 95 persen.

Kata Kunci: *Las Titik, aliran pendinginan, galvalum, kekuatan tarik geser*

PENDAHULUAN

Resistance Welding atau lebih sering dikenal dengan las tahanan memiliki beragam jenisnya, misalnya *seam resistance welding* (las tahanan gelindin), *resistance spot welding* (las tahanan titik), dan sebagainya. Las tahanan titik banyak digunakan

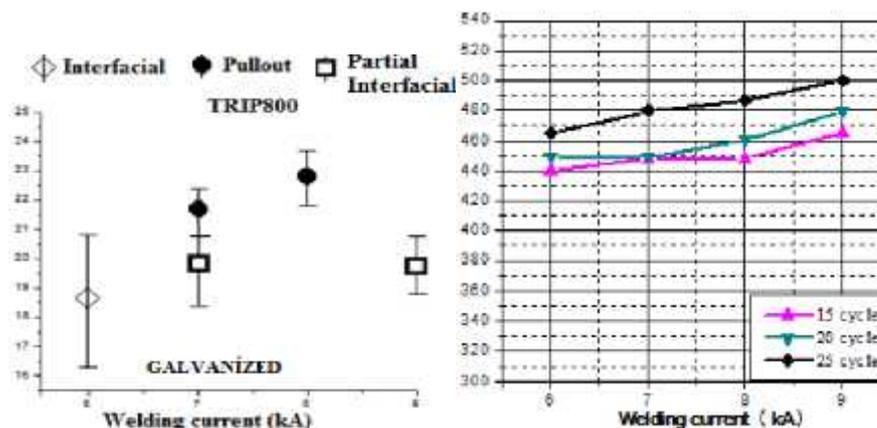
sebagai mesin pengelas pelat dengan ketebalan tertentu yang banyak diaplikasikan guna pembuatan produk filling cabinet, rak buku, dan sebagainya. Karena itu banyak mesin ini dijumpai di institusi pendidikan atau pun perusahaan. Pada institusi pendidikan mesin las ini bukan hanya sebagai alat pembelajaran akan tetapi dapat juga sebagai wahana penggalan ilmu pengetahuan dibidang las titik yaitu dengan cara pengembangan-pengembangan tentunya. Hal ini dibuktikan dengan telah banyak dikembangkannya mesin las titik oleh beberapa peneliti.

Dalam perkembangannya mesin las titik yang digunakan di institusi pendidikan memiliki kendala baik optimalisasi mesin maupun masalah yang berhubungan material-material tertentu yang biasa menggunakan mesin tersebut. Sebagai contoh mesin yang dimiliki oleh institusi Politeknik Kediri. Masalah yang muncul yaitu mesin kurang optimal apabila dalam keadaan terlalu panas dan untuk material dengan seng dengan paduan tertentu tidak dapat di lakukan pengelasan. Dengan sistem pendinginan ini diharapkan bahwa mesin las titik DN-25 lebih optimal bila menggunakan mesin pendingin, hasil sambungan las lebih kuat (kekuatan tarik dan geser), pelat BJLS galvalum memungkinkan untuk disambung dengan system pengelasan, dan diharapkan dengan penelitian ini mahasiswa lebih dapat memahami pentingnya sistem pendinginan pada mesin tertentu dalam waktu tertentu.

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu: “bagaimana analisa menganalisa pengaruh aliran pendinginan mesin las titik DN-25 terhadap sifat mekanis Pelat BJLS Galvalum dengan system *closed flow cooling*”,. Sedangkan tujuan dari penelitian ini: “dapat menganalisa pengaruh aliran pendinginan mesin las titik DN-25 terhadap sifat mekanis Pelat BJLS Galvalum dengan sistem *closed flow cooling*.”. Diharapkan dengan penelitian ini dapat bermanfaat untuk perkembangan keilmuan dan sebagai pengembangan bahan ajar. Diharapkan juga, dari hasil analisa pengaruh aliran pendinginan mesin las titik DN-25 terhadap sifat mekanis Pelat BJLS Galvalum dengan system *Closed Flow Cooling*.”. Serta dapat memberikan prediksi langkah kebijakan dan menentukan penggunaan galvalum dan efisiensi mesin Las Titik.

Penelitian terdahulu yang mendukung penelitian ini diantaranya; penelitian yang diteliti oleh Emre Hayreyye Ertek and Kacar Ramazan (2016) Kurniawan tahun (2010) yang mengkaji “*Resistance Spot Weldability of Galvanize coated and uncoated TRIP Steels*.”. Hasil pengamatan dan pengujian menunjukkan bahwa pengaruh parameter

pengelasan diantaranya waktu pengelasan dan amper pengelasan yang mempengaruhi nugget geometry lasan dari kekuatan tarik geser, ditemukan peningkatan kekerasan pada daerah fusi dan HAZ yang bertransformasi kedalam martensit sehingga diperoleh HAZ galvanis memiliki kekerasan yang sangat besar. Terdapat tiga macam “*failure mode*” pada sambungan las titi diantaranya *Interfacial Failure (IF)*, *Pull out Failure (PF)*, dan *Partial Interfacial Failure (PIF)*.

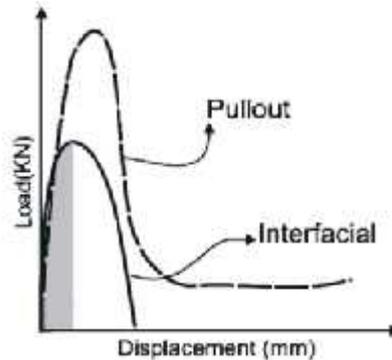


Gambar 1. Pengaruh dari parameter pengelasan pada tipe patahan tarik geser dan lebar HAZ (bahan Galvanis)

Sumber : Emre Hayreye Ertek and Kacar Ramazan, 2016

Kemudian penelitian Youn H.J., Kim D.C., and Kang M.J. (2011) meneliti dengan judul “*Inverter DC resistance spot weldability of 590 MPa galvanized steel for automotive applications*” diperoleh hasil penelitian bahwa di bawah kondisi pengelasan yang sama, baja galvanis GAFC 590 menunjukkan kekuatan tegang yang kurang dari pada baja tidak dilapisi SPFC 5902, kemudian sebagai kekuatan elektroda meningkat, rentang lasan yang dapat diterima saat ini meningkat, dan fraktur antarmuka pada bagian las sebagian besar diamati pada fase arus tinggi.

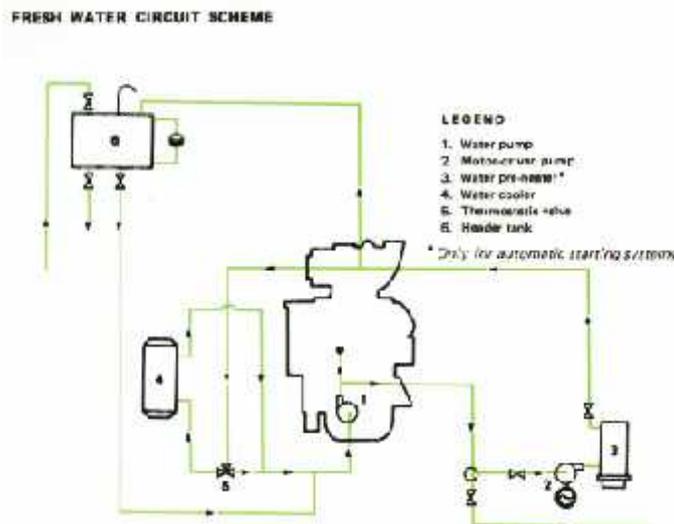
Sedangkan Pournvari M. and Ranjbarnodeh (2011) meneliti tentang “*Resistance Spot Welding Characteristic of Ferrite-Martensite DP 600 Dual Phase Advanced High Strength Steel-Part II: Failure Mode.*”, diperoleh bahwa rekomendasi konvensional $4t0.5$ (t adalah ketebalan lembaran) untuk ukuran pengelasan adalah tidak cukup untuk mendapatkan mode kegagalan penarikan selama uji geser-tarik dari lobang titik resistansi DP. Itu Ukuran zona fusi minimum yang dibutuhkan untuk mendapatkan mode kegagalan penarikan diperkirakan menggunakan mode analisis.



Gambar 1. Mode patahan secara umum pada kekuatan Tarik Geser berupa *pullout* dan *interfacial*

Sumber : Pouranvari M. and Ranjbarnodeh. 2011

Sistem pendinginan memiliki banyak metode atau sistem diantaranya adalah sistem aliran terbuka dan sistem aliran tertutup. Sistem aliran terbuka yaitu merupakan sirkulasi pendinginan baik menggunakan media air, udara atau yang lain dimana aliran masuk ke input dan keluar output. Dengan kata lain sistem terbuka yaitu sistem pendinginan buang. Sedangkan sistem aliran tertutup (*Closed Flow*) merupakan kebalikan dari sistem terbuka dimana aliran pendinginan dari output digunakan kembali pada input dan terus berputar sampai proses pengelasan berhenti (*continues*).



Gambar 2. Mesin Pendingin pada mesin Las

Sumber: Moniz and Miller, 2010

Beberapa hal lain yang juga berpengaruh pada hasil pengelasan yaitu sistem pendinginan. Sistem pendingin berfungsi untuk menjaga suhu optimal pada pengelasan.

Dengan suhu yang optimal maka hasil lasan dapat diperoleh sesuai dengan standar. Akibat tidak terdapatnya sistem pendinginan maka elektroda atau komponen pengelas akan mudah aus dikarenakan suhu yang semakin lama semakin tinggi dan tanpa diimbangi dengan pendinginan. Pada gambar 2.7 ditunjukkan sebuah mesin pendingin las yang digunakan pada mesin las TIG. Dari konsep ini peneliti akan merancang mesin pendingin pada mesin las titik.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan dilaksanakan merupakan *true experimental research*. Variabel Penelitian terdiri variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas yang digunakan adalah perbandingan variasi aliran pendinginan pada 10 Psi, 20 Psi, dan 30 Psi. Variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini adalah: kuat arus pengelasan 8 dan resistensi 4. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah: pelat BJLS Galvalum tebal 0,4mm.

Hasil Pengujian specimen berupa pengujian Tarik dan pengujian Geser menggunakan mesin *Universal Testing Mesin* (UTM WDW-20) untuk mengetahui pengaruh mekanis pada bahan seng BJLS Galvalum. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: pelat BJLS Galvalum dengan ketebalan 0,04 mm dan air pendinginan, diameter elektroda 10 mm bahan tembaga.



Gambar 3. Modifikasi Mesin pendingin pada Mesin las titik Stationer

Sumber: Eko Riswan W.S., 2013

Hasil Pengujian dilakukan analisa pendekatan statistic Anova satu arah. Data perulangan yang dipakai pada penelitian ini sebanyak 5 kali, sehingga dari satu kali 3 variabel bebas dan 1 variabel terikat diperoleh 15 kali percobaan.

Tabel 1

Rancangan penelitian

		Pengulangan	Aliran Pendinginan		
			10 Psi	20 Psi	30 Psi
Kekuatan Tarik	1		Y21	Y31	Y41
	2		Y22	Y32	Y42
	3		Y23	Y33	Y43
	i		Y2i	Y3i	Y4i
	<i>Jumlah</i>		$\Sigma Y2i$	$\Sigma Y3i$	$\Sigma Y4i$
Kekuatan Geser	1		Y21	Y31	Y41
	2		Y22	Y32	Y42
	3		Y23	Y33	Y43
	i		Y2i	Y3i	Y4i
	<i>Jumlah</i>		$\Sigma Y2i$	$\Sigma Y3i$	$\Sigma Y4i$

dengan: y = variabel terikat (aliran pendinginan Psi)
 i = pengulangan ke i

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan mesin UTM WDW-20 diperoleh data hasil percobaan kekuatan geser dari material BJLS Galvalum dengan kecepatan aliran yang diatur pada tekanan aliran dari pompa menggunakan *flowmeter* sebesar (10 Psi, 20 Psi, 30 Psi).

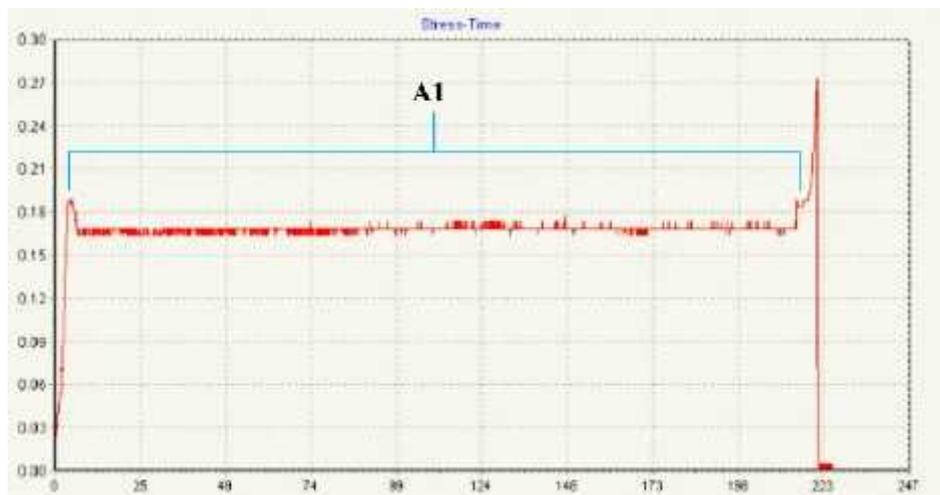


Gambar 4. Spesimen sebelum dan setelah diuji tarik geser (a) Spesimen posisi diuji tarik geser, (b) Spesimen posisi putus setelah uji tarik geser (c) Spesimen las titik siap untuk diuji tarik geser, (d) Spesimen las titik setelah diuji tarik geser

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2017

Pada gambar 5., gambar 6., dan gamabr 7. dibawah merupakan salah satu contoh grafik hasil pengujian dari salah satu spesimen uji tarik geser. Dalam gambar tersebut poin A1, A2, dan A3 merupakan posisi awalan proses penarikan spesimen

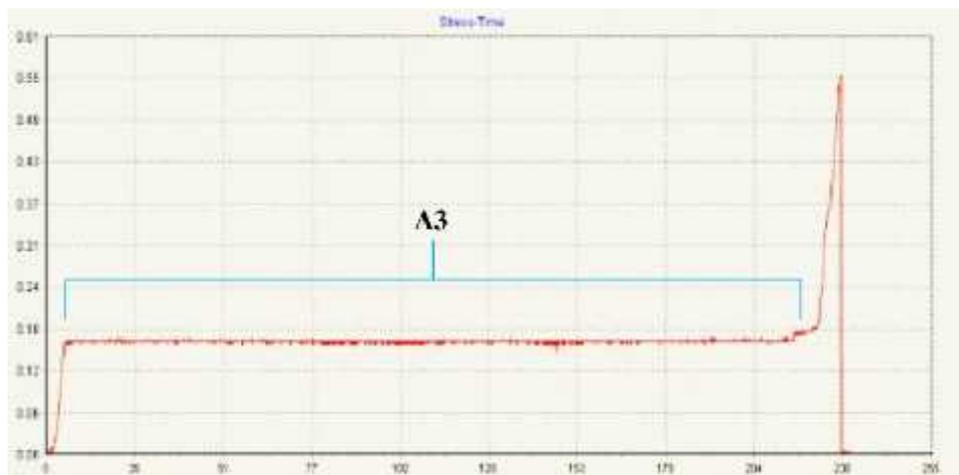
dalam kondisi belum memiliki beban sehingga pada grafik menunjukkan garis yang mendatar, setelah beberapa menit spesimen mulai tertarik dan muncullah grafik/garis yang mulai naik sampai pada titik ultimate strengnya kemudian terjadilah putus pada sambungan las Titik. Dari 15 spesimen putus terjadi pada bagian sambungan (ikatan logam galvalum) pada bagian *spot*/titiknya. Dalam grafik tersebut menunjukkan bahwa mode patahan/putus geser mengalami *interfacial* sama halnya hasil penelitian (Pouranvari M. and Ranjbarnodeh. 2011) seperti halnya ditunjukkan pada gambar 1 pada bab pendahuluan.



Gambar 4. Grafik hasil Uji Tarik Geser 10 Psi (0,27 Mpa)



Gambar 5. Grafik hasil Uji Tarik Geser 20 Psi (0,44 Mpa)



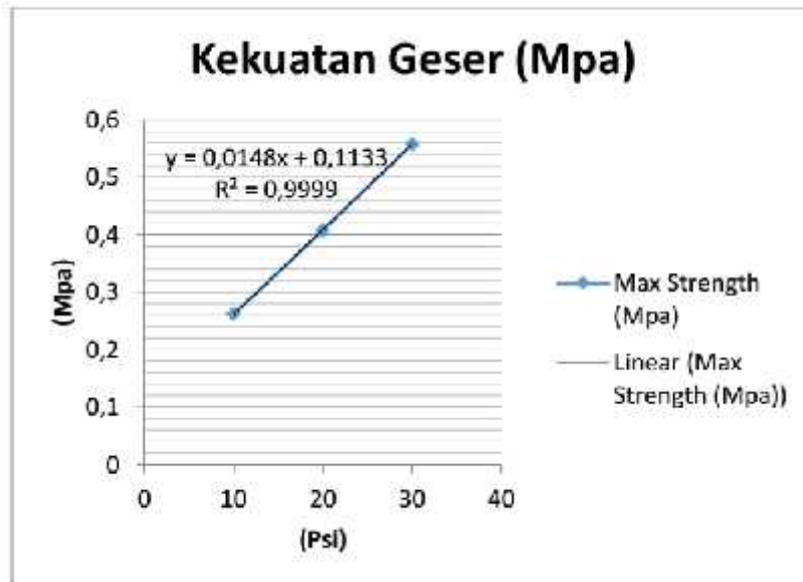
Gambar 6. Grafik hasil Uji Tarik Geser 30 Psi (0,55 Mpa)

Sehingga dari pengujian tarik geser yang diperoleh dengan perulangan 5 kali hasil pengujian tarik geser diperoleh hasil rata-rata pada tekanan aliran pendinginan sebesar 10 Psi sebesar 0,262 Mpa. Kemudian tekanan aliran pendinginan sebesar 20 Psi dengan nilai uji rata-rata sebesar 0,408 Mpa, dan pada tekanan aliran pendinginan sebesar 30 Psi sebesar 0,558 Mpa. Sedangkan gambar pengujian dan hasil uji ditunjukkan pada gambar 2 dibawah.

Tabel 2
 Hasil Pengujian Tarik Geser (kekuatan Geser)

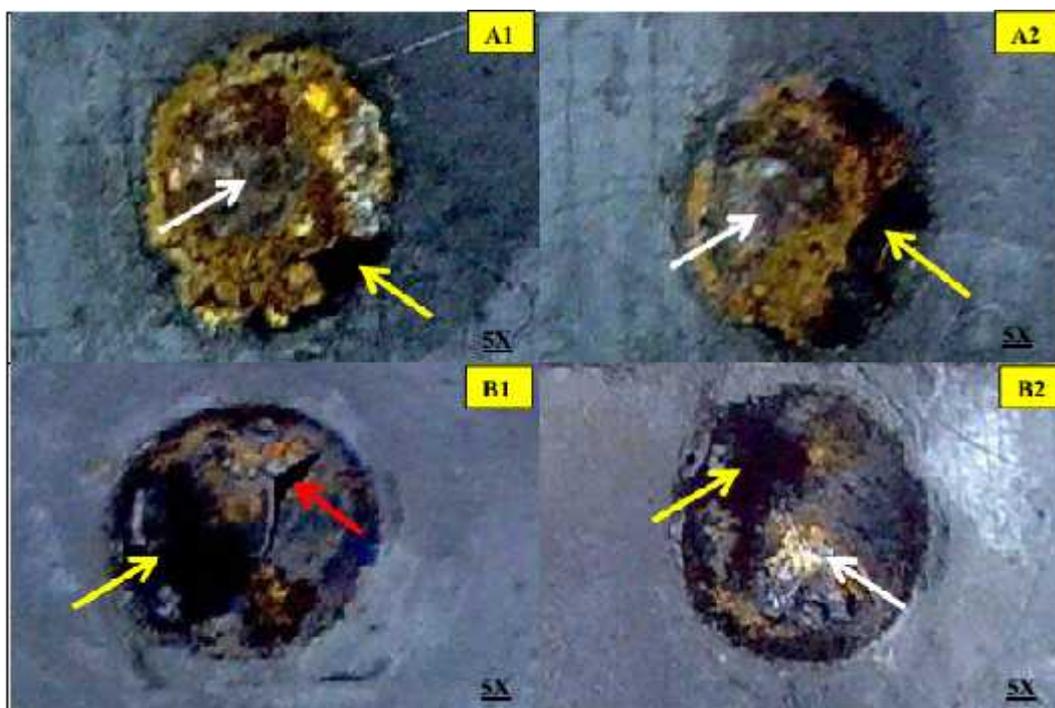
KEKUATAN GESER	
Tekanan Aliran Pendinginan	Max Strength (Mpa)
10 Psi	0,262
20 Psi	0,408
30 Psi	0,558

Pada proses pengelasan titik, elektroda sangat berperan sebagai penghantar arus untuk menyambung material yang umumnya berupa lembaran baja tipis. Mutu dari hasil pengelasan di samping tergantung dari pengerjaan lasnya sendiri juga sangat tergantung dari persiapannya sebelum pelaksanaan pengelasan. karena itu persiapan pengelasan harus mendapatkan perhatian dan pengawasan yang sama dengan pelaksanaan pengelasan. Persiapan umum dalam pengelasan meliputi penyediaan bahan, pemilihan mesin las, penunjukan juru.las, penentuan alat perakit dan beberapa hal lainnya lagi.



Gambar 7. Grafik kekuatan Tarik Geser

Dari hasil rata-rata perhitungan hasil uji geser diperoleh ukekuatan geser sebesar 0,262 Mpa untuk tekanan aliran pendinginan 10 Psi, sedangkan untuk tekanan 20 Psi diperoleh kekuatan sebesar 0,408 Mpa, dan untuk tekanan aliran pendinginan 30 Psi sebesar 0,558 Mpa. Pada gambar 7 diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tekanan aliran pendinginan maka kekuatan gesernya semakin. Serta tingkat linieritas grafik sebesar 0,9999.



Gambar 8. Makostruktur kekuatan Tarik Geser (5x pembesaran)

Pada Gambar 8 menunjukkan hasil las titik setelah spesimen diuji geser dimana gambar A1 dan A2 merupakan pasangan las titik begitu juga B1 dan B2 merupakan pasangan las titik. Pada gambar A1, A2, B1, dan B2 pada tanda panah kuning menunjukkan ikatan logam karena penekanan, sedangkan tanda panah putih menunjukkan ikatan logam bagian pusat dari las titik. Sedangkan tanda panah merah menunjukkan sobekan pelat karena tarik geser dari sambungan las titik yang terlalu kuat sehingga pelat ikut terbawa sehingga sobek. Sobekan atau patahan sambungan terjadi diawali dari bagian samping sambungan, karena bagian inti tidak mengalami *fusion* penggabungan kedua sisi logam yang dilas. Hal ini menyebabkan tidak ada atau hanya ada sedikit bagian yang tertarik (*pull out*) atau dalam bahasa lainnya tidak terdapat *pull out* (adalah interfasial) permukaan yang merata. Hal ini sesuai dengan teori dalam penelitian yang disampaikan oleh Pouranvari M. and Ranjbarnodeh tahun 2011.

Analisis Varian digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh tekanan aliran pendinginan terhadap kekuatan Geser pelat BJLS Galvalum sehingga dapat diketahui hasil analisis variannya. Apabila nilai F_{hitung} yang diperoleh lebih besar dari F_{tabel} berarti faktor yang diuji berpengaruh nyata. Namun apabila F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} berarti faktor yang diuji tidak berpengaruh (Harinaldi, 2010). Tahapan sebagai berikut:

1. $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ (Tidak ada pengaruh nyata), H_1 : tidak seluruh mean populasi sama $\mu_1 \neq 0$ (Ada pengaruh nyata)
2. Pemilihan Tingkat Kepentingan (*Level of Significance*), $\alpha = 0,05$
3. Nilai-nilai dari distribusi F disajikan dalam tabel-F (pada lampiran), yang ditentukan dengan 3 hal yaitu:
 - a. Tingkat kepentingan (*level of Significance*), $\alpha = 0,05$
 - b. $df_{num} = 5 - 1, v_1 = 4$
 - c. $df_{den} = T - k$; $T = 12$ maka $v_2 = 12 - 4 = 8$
4. $F_{tabel} = 3,838$
5. Tolak H_0 dan terima H_1 jika $RU_F > F_{cr}$ Jika tidak demikian, terima H_0
6. Perhitungan Rasio Uji (*RU*)

Tabel 3.
Tabulasi Perhitungan Tekanan terhadap Kekuatan Geser

	Tekanan 10 Psi			Tekanan 20 Psi			x_3	$x_3 - \bar{x}_3 (x_3 - \bar{x}_3)^2$	
	x_1	$x_1 - \bar{x}_1$	$(x_1 - \bar{x}_1)^2$	x_2	$x_2 - \bar{x}_2$	$(x_2 - \bar{x}_2)^2$		$x_3 - \bar{x}_3$	$(x_3 - \bar{x}_3)^2$
1	0,33	-0,01	0,0001	0,47	-0,01	0,0001	0,57	-0,04	0,0016
2	0,35	0,01	0,0001	0,47	-0,01	0,0001	0,59	-0,03	0,0009
3	0,36	0,02	0,0004	0,49	0,01	0,0001	0,61	0,00	0,0
4	0,37	0,03	0,0009	0,51	0,03	0,0009	0,63	0,02	0,0004
5	0,29	-0,05	0,0025	0,47	-0,01	0,0001	0,65	0,04	0,0016
Σ	1,31	0,000	$\Sigma d_1^2 = 0,004$	2,04	0,01	$\Sigma d_2^2 = 0,0013$	2,04	-0,01	$\Sigma d_3^2 = 0,0045$
	$\bar{x}_1 = 1,31/5 = 0,34$			$\bar{x}_2 = 2,04/5 = 0,482$			$\bar{x}_3 = 2,04/5 = 0,61$		

Kemudian data hasil uji divalidasi kedalam uji statistik ANOVA. Deviasi Standar (*Standart Deviation*) atau simpangan baku merupakan ukuran penyebaran yang paling sering digunakan. Mayoritas data cenderung dalam satu deviasi standar dari *mean*, dan hanya sebagian kecil saja diluar dari lima deviasi standar meannya. Dari data hasil uji dengan 5 perulangan maka standar deviasinya adalah sebagai berikut:

Tabel 4
Hasil analisis varian tekanan aliran pendinginan terhadap kekuatan Geser

	10 Psi	20 Psi	30 Psi
1 Beban rata-rata : \bar{x}	0,262	0,408	0,558
2 Estimator Standar deviasi (s):	0,267	0,41	0,56
3 Error standar dari mean ($\sigma_{\bar{x}}$):	0,119	0,183	0,25
4 <i>Chance of error</i> (α):	0,05	0,05	0,05
5 Derajat kebebasan (df	$(-0,253 \leq \mu_x \leq 0,777)$	$(-0,381 \leq \mu_x \leq 1,197)$	$(-0,519 \leq \mu_x \leq 1,635)$

Berdasarkan tabel 4. dapat ditarik kesimpulan: $F_{hitung} > F_{tabel}$;, maka H_0 : ditolak dan H_1 : diterima berarti tekanan aliran pendinginan berpengaruh nyata terhadap kekuatan geser pelat bjls Galvalum dengan tingkat keyakinan 95%.

SIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh dapat diambil beberapa kesimpulan yakni sebagai berikut: Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan tekanan aliran pendinginan meningkatkan kekuatan Tarik geser dan kekuatan tarik las titik. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi aliran pendinginan maka mesin las titik DN-25 semakin efektif bekerja serta material BJLS Galvalum. Semakin besar tekanan aliran pendinginan kekuatan tarik gesernya semakin meningkat dengan nilai terbesar 0,558 Mpa pada

aliran pendinginan 30 Psi. Sedangkan kekuatan terendah pada kekuatan tarik geser 0,262 Mpa dengan tekanan aliran pendinginan 10 Psi. Mode patahan kekuatan tarik geser terjadi secara *interfasial Failure*, sedangkan pada makrostruktur menunjukkan ikatan *un fusion* pada *weld zone* dan awalan patahan sambungan diawali dari sisi kanan dan kiri dari penampang yang ditarik. Kemudian dari hasil analisa Anova diperoleh bahwa tekanan aliran pendinginan berpengaruh nyata terhadap kekuatan tarik dan kekuatan geser dengan tingkat keyakinan 95 persen.

DAFTAR PUSTAKA

- Daryanto, (2012). Teknik Las, Bandung: *Penerbit Alfabeta*, Februari 2012
- Eko Riswan W.S., (2013), Rancang Bangun Mesin Pendingin Pada Mesin Las Titik menggunakan Metode Closed flow. *Jurnal Teknik Mesin ISSN 2252-4444 Vol.2 Tahun 2013* hal.230
- Emre Hayreye Ertek and Kacar Ramazan, 2016, Resistance Spot Weldability of Galvanize coated and uncoated TRIP Steels, *Departement of Manufacturing Engineering, Karabuk 78050, Turkey Published: 28 November 2016*
- Harinaldi, (2010). Statistik Dasar Penelitian kualitatif. Penerbit: Bandung
- Lincoln, etc., (2000) Modern Welding, The Goodheart Wilcox Company, Inc. 2000
- Moniz and Miller., (2010). *Welding Skill, Fourth Edition, American Technican Publisher, Inc. Orland Park, Illionis,*
- Pouranvari M. and Ranjbarnodeh. (2011). Resistance Spot Welding Characteristic of Ferrite-Martensite DP600 Dual Phase Advanced High Strength Steel-Part II: Failure Mode. *World Applied Sciences Journal 15 (11): 1527-1531, 2011 ISSN 1818-4952*
- Youn H.J., Kim D.C., and Kang M.J. (2011). Inverter DC Resistance Spot Weldability of 590 MPa Galvannealed Steel for Automotive Applications. *Scientific Journal published monthly by the World Academy of Materials and Manufacturing Engineering. Volume 49, Issue 2, June 2011, Pages 112-117*

**PENGEMBANGAN DESAIN MESIN PENCACAHAN DENGAN PENGGANTIAN
CUTTING BLOCK****Adhe Anggry¹, Subkhan²**

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

adhe.anggry@yahoo.com¹**ABSTRACT**

Thrasher machine for waste processing generally have one kind of thrash mechanism. The existing thrasher machine can't be used to treat waste with different characteristics. This research is intended to produce a thrasher machine design that can be used to process waste with different material characteristics. The method used in this design is by cutting block replacement method. The results of the research are preliminary design and detailed design of thrasher machine. The design of thrasher machine is equipped with three types of cutting block that can be replaced in accordance with the characteristics of the waste that will be enumerated, ie crusher, shear and swing type. The next stage of the research is preliminary testing and design review.

Keywords: *design, thrasher machine, waste*

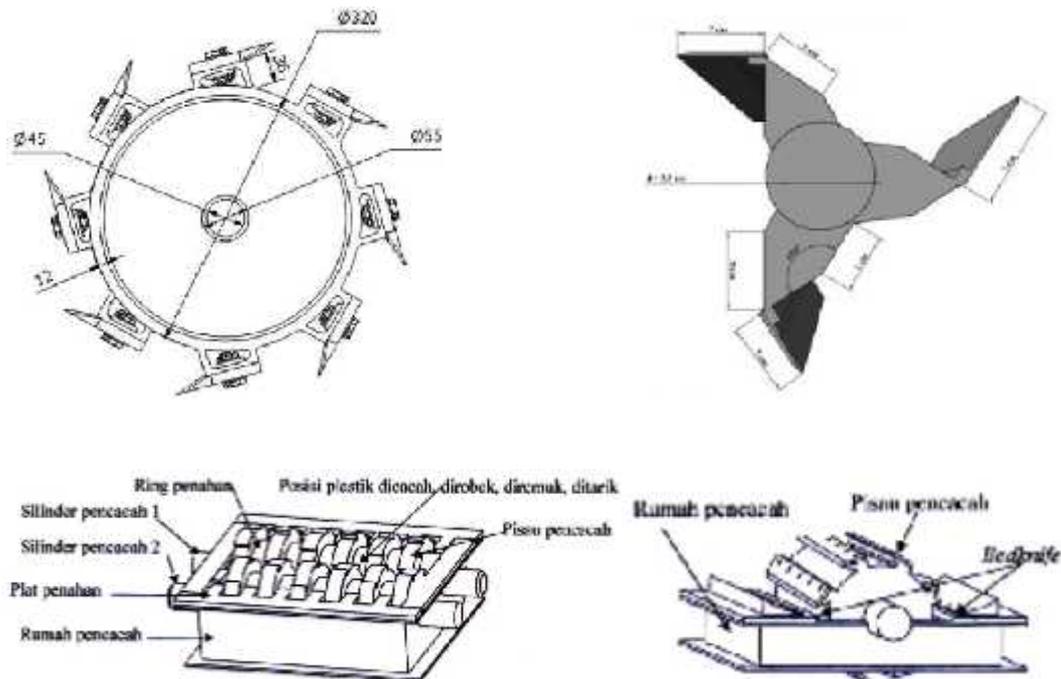
ABSTRAK

Mesin pencacah untuk pengolahan sampah umumnya memiliki satu jenis mekanisme pencacah. Mekanisme pencacah yang ada tidak dapat digunakan untuk mengolah sampah dengan karakteristik material yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan desain mesin pencacah yang dapat digunakan untuk mengolah sampah dengan karakteristik yang berbeda. Metode yang digunakan pada desain adalah dengan metode penggantian *cutting block*. Hasil penelitian ini berupa desain awal dan detail desain mesin pencacah. Desain mesin pencacah ini dilengkapi tiga tipe *cutting block* yang dapat diganti sesuai dengan karakteristik sampah yang akan dicacah, yaitu tipe *crusher*, *shear* dan *swing*. Tahap selanjutnya dari penelitian ini adalah pengujian pendahuluan dan tinjauan desain.

Kata kunci: *desain, mesin pencacah, sampah*

PENDAHULUAN

Studi tentang desain mesin pencacah untuk pengolahan sampah sudah banyak dilakukan, seperti desain mesin pencacah rumput gajah tipe reel (Wahyu K. Sugandi dkk., 2016) dan desain mesin pencacahan plastik dengan tiga buah pisau putar yang bergerak mengikuti putaran poros dan dua buah pisau tetap yang menempel pada rangka mesin (Mochamad Syamsiro dkk., 2016). Mesin pencacah didesain dengan 1 jenis mekanisme pencacah sehingga tidak dapat digunakan untuk mengolah sampah dengan karakteristik yang berbeda. Ichlas Nur dkk. (2014), mesin pencacah plastik didesain dengan 2 jenis mekanisme pencacah yaitu unit pencacah sistem *crusher* dan silinder pencacah tipe *reel*, dimana sampah plastik mengalami dua kali proses pencacahan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, namun masih belum dapat digunakan untuk mengolah sampah dengan karakteristik yang berbeda. Desain mekanisme pencacah ketiga studi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Mekanisme Pencacah
 Sumber: Wahyu K. Sugandi, Mochamad Syamsiro, 2016 dan
 Ichlas Nur, 2014

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan desain mesin pencacah yang dapat digunakan untuk mengolah sampah dengan karakteristik material yang berbeda.

METODE PENELITIAN

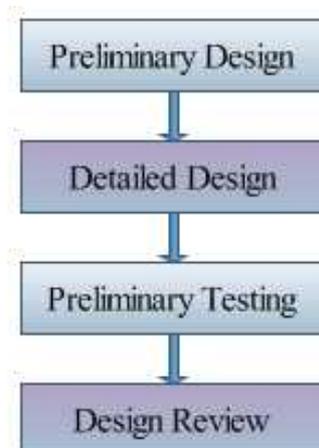
Metode yang digunakan dalam pengembangan desain mesin pencacah ini adalah metode penggantian *cutting block*. Prinsip yang harus dipenuhi dalam melakukan desain penggantian adalah desain dengan orientasi proses perakitan atau yang dikenal dengan DFA (*Design for Assembly*). DFA adalah suatu rancangan dimana proses perakitan sudah direncanakan pada awal desain produk, dalam hal ini fitur setiap komponen, jumlah komponen didesain dengan mempertimbangkan proses perakitannya sehingga didapatkan kemudahan-kemudahan pada saat proses perakitan. Aturan desain untuk perakitan secara manual dibagi dalam dua area yaitu *handling* dan *insertion and fastening* (Boothroyd dan Dewhrush, 2002).

Untuk memudahkan proses *handling* ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu: (1) desain komponen sehingga mempunyai *end to end* simetri dan simetri putar pada sumbu *insertion*. Jika tidak memungkinkan, diusahakan agar komponen mempunyai simetri maksimum, (2) untuk komponen yang tidak dapat didesain simetri,

desain dibuat agar ketidaksimetrian terlihat jelas, (3) sediakan *feature* yang mencegah terjadinya *jamming* saat dilakukan penyimpangan, (4) hindari bentuk yang bisa menyebabkan keterikatan (*tangling*) pada waktu penyimpanan, (5) hindari desain komponen yang licin, fleksibel, berukuran terlalu kecil, atau terlalu besar ataupun yang membahayakan proses *handling*.

Untuk memudahkan proses *insertion* dan *fastening* ada beberapa hal yang harus diperhatikan, antara lain: (1) desain komponen sehingga mempunyai sedikit halangan dalam pemasangan, dan sediakan *chamfer* yang memudahkan penyatuan dua komponen, (2) standarisasi komponen menggunakan komponen yang ada di pasaran, (3) gunakan piramid perakitan dalam perakitan satu sumbu, (4) jika mungkin hindari *holding down* selama orientasi komponen, (5) Desain komponen supaya posisi komponen dapat dicapai sebelum komponen dilepaskan, (6) hindari perakitan dengan arah yang berbeda, (6) dalam penggunaan komponen standard, pilih yang memiliki biaya terkecil.

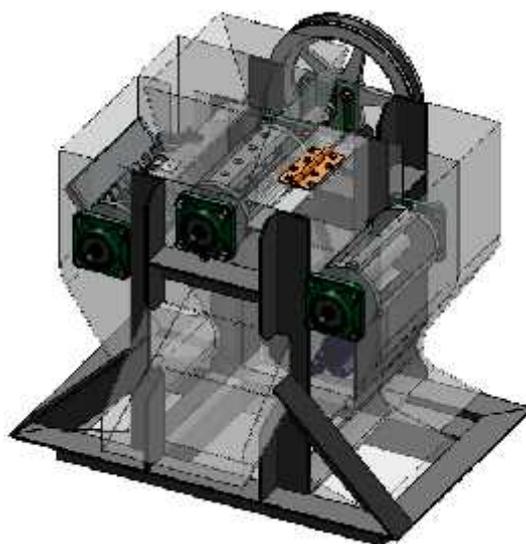
Tahapan proses pengembangan desain mesin pencacah dengan penggantian *cutting block* terdiri dari pembuatan desain awal, detail desain, pengujian pendahuluan, dan tinjauan desain seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Pengembangan Desain
Sumber: Ulrich & Eppinger, 2008

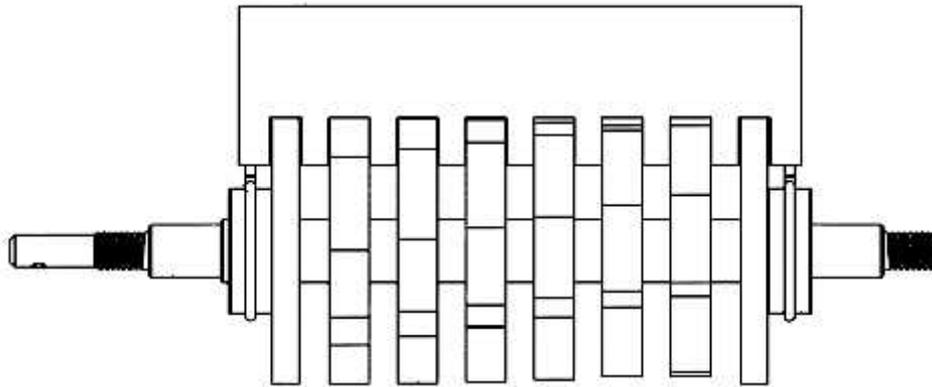
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data yang telah dikumpulkan dari berbagai sumber digunakan sebagai referensi dalam pembuatan alternatif desain untuk ketiga jenis *cutting block*. Hasil penelitian ini berupa desain awal dan detail desain. Desain mesin pencacah menggunakan *software SolidWorks*. Desain mesin pencacah dengan penggantian *cutting block* memiliki 5 bagian utama yaitu *cutting block*, kerangka mesin, *hopper-cover-output*, sistem transmisi, dan motor penggerak. Desain mesin pencacah dengan penggantian *cutting block* seperti ditampilkan pada Gambar 3.



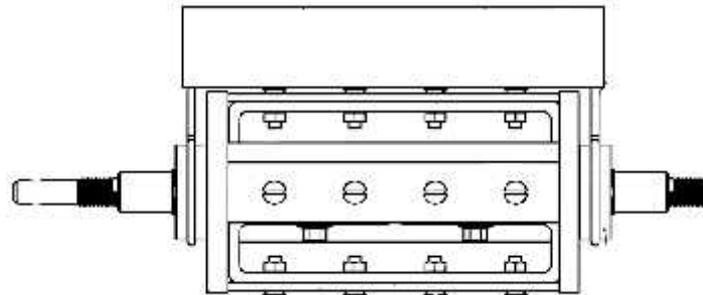
Gambar 3. Desain Mesin Pencacah

Desain *cutting block* tipe *crusher* seperti yang ditampilkan pada Gambar 4 terdiri dari enam bagian yaitu poros, mata potong, penahan mata potong, pasangan mata potong, lengan mata potong, dan bearing. Desain *cutting block* tipe *crusher* hasil penelitian ini lebih sederhana karena hanya menggunakan satu poros jika dibandingkan dengan unit pencacah sistem *crusher* (Ichlas Nur dkk., 2014) yang menggunakan dua poros.



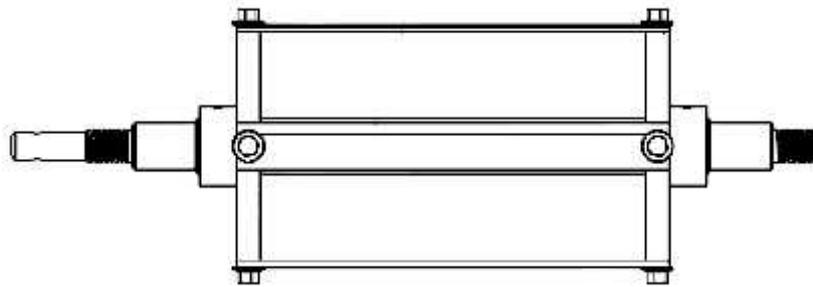
Gambar 4. Desain *Cutting Block Tipe crusher*

Desain *cutting block tipe shear* seperti yang ditampilkan pada Gambar 5 terdiri dari sembilan bagian yaitu poros, mata potong, dudukan mata potong, penahan mata potong, lengan mata potong, pasangan mata pisau, bearing, baut, dan mur. Desain *cutting block tipe shear* hasil penelitian ini pisau tetap tidak menempel pada rangka mesin sehingga tidak ada *part* dari *cutting block tipe shear* yang tertinggal saat penggantian sedangkan desain mesin pencacahan (Mochamad Syamsiro dkk., 2016) dua buah pisau tetapnya menempel pada rangka mesin.



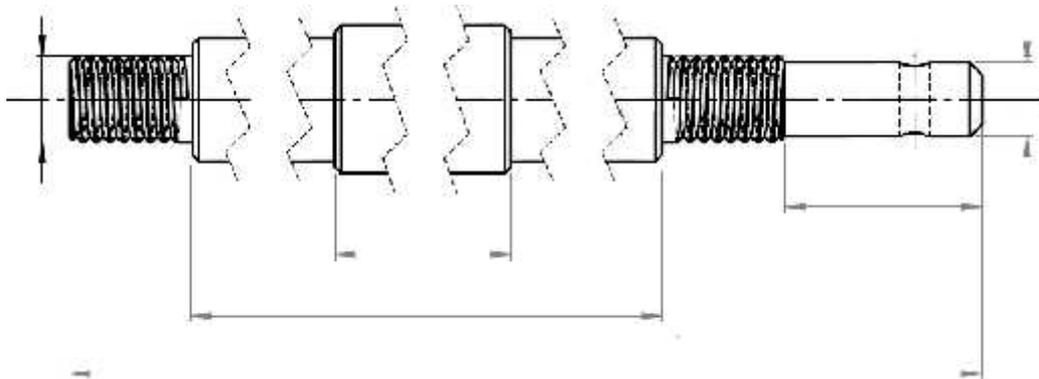
Gambar 5. Desain *Cutting Block Tipe Shear*

Desain *cutting block tipe swing* seperti yang ditampilkan pada Gambar 6 terdiri dari empat bagian yaitu poros, mata potong, penahan mata potong, dan baut. Desain *cutting block tipe swing* hasil penelitian ini memiliki sisi potong horisontal sedangkan desain pisau pencacah tipe *swing* yang ada memiliki sisi potong vertikal.



Gambar 6. Desain *Cutting Block Tipe Swing*

Desain *cutting block* telah mempertimbangkan proses perakitannya, khususnya bagian poros. Poros didesain sehingga didapatkan kemudahan-kemudahan pada saat proses perakitan. Desain ujung poros dan ukuran fungsi dari ketiga tipe *cutting block* menjadi fokus dalam metode penggantian ini. Desain poros seperti ditampilkan pada Gambar 7. Aturan desain untuk perakitan secara manual Boothroyd dan Dewhrush juga diperhatikan dalam pengembangan desain awal mesin pencacah dengan penggantian *cutting block* ini. Metode DFA dalam pengembangan desain telah penulis terapkan pada tahun 2014 dalam pengembangan desain mesin pencacah plastik.



Gambar 7. Desain Poros

Desain mesin pencacah dengan penggantian *cutting block* hasil penelitian ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan desain mesin pencacah yang ada karena telah dilengkapi dengan tiga tipe *cutting block* yang dapat diganti sesuai dengan karakteristik sampah yang akan diolah. *Cutting block* tipe *crusher* dan *shear* dapat

digunakan untuk mengolah sampah non organik seperti plastik sedangkan *cutting block* tipe *swing* dapat digunakan untuk mengolah sampah organik seperti rumput.

Desain mesin pencacah dengan penggantian *cutting block* hasil penelitian ini dapat menjawab tujuan dari penelitian ini yaitu desain mesin pencacah yang dapat digunakan untuk mengolah sampah dengan karakteristik material yang berbeda.

KESIMPULAN

Desain dengan metode penggantian *cutting block* dapat menyelesaikan permasalahan dalam pengembangan desain mesin pencacah yang ingin memiliki lebih dari satu jenis pencacah. Proses perakitan sudah direncanakan pada awal desain produk. Untuk pencocokan tipe pencacah sampah dengan material input perlu dilakukan tahap lanjutan yaitu melakukan pengujian pendahuluan dengan pembuatan prototipe dan tinjauan desain.

DAFTAR PUSTAKA

- Geoffrey Boothroy, Peter Dewhurst and Winston Knight (2002). *Product Design for Manufacture and Assembly* (2th ed.). New York. Marcel Dekker, Inc.
- Ichlas Nur, Nofriadi, & Rusmardi (2014). Pengembangan Mesin Pencacah Sampah/Limbah Plastik dengan Sistem Crusher dan Silinder Pemotong Tipe Reel. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi (SEMNATEK), Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, 1-7.
- Karl T. Ulrich & Steven D. Eppinger (2008). *Product Design and Development* (4th ed.), *Development Processes and Organizations* (pp. 11-32). New York. NY: McGraw-Hill, Inc.
- Mochamad Syamsiro, Harwin Saptoadi, Tinton Norsujianto, Shuo Cheng, Zainal Alimuddin, & Kunio Yoshikawa (2016). Rancang Bangun Mesin Pencacah Plastik Sebagai Bahan Baku Mesin Pirolisis Skala Komunal. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST)*, 1(2), 43-48.
- Wahyu K. Sugandi, Asep Yusuf, & Muhammad Saukat (2016). Desain dan Uji Kinerja Mesin Pencacah Rumput Gajah Tipe Reel. *Jurnal Teknotan*, 8(1), 52-60.

DISTRIBUSI RAPAT ARUS PADA SOLID OXIDE FUEL CELL TERHADAP LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK

Yusuf Dewantoro Herlambang¹, Totok Prasetyo², Anis Roihatin³, Yanuar Mahfudz Safarudin⁴

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
masyusufdh@polines.ac.id

ABSTRACT

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) is one of the fuel cell types that can operate at high temperature and widely applied to large scale power plants more than 50 MW, because it has a high conversion efficiency up to 80%. Another advantage is to produce low emissions and environmentally friendly emissions. The objectives of this study were to study the electrical current density distribution of the SOFC model and to analyze the performance by simulating numerical models to obtain governing equations, and to examine the optimum fuel utilization. First, to design the SOFC model using Finite Element Method (FEM) analysis to obtain the most optimal numerical simulation value. Second, analyze the governing equation on the transport phenomena in fuel cell system. Furthermore, it is found that the optimum characteristic cell of the cell voltage-the current density-and power density of the cell. The result shows that the cell voltage value is 0.7 V to produce the optimum power density of 306,845 W/m² at the cell current of 438,35 A/m². Fuel cell characteristics can be obtained that at high fuel rates will increase cell current density and power density.

Keywords: Solid Oxide Fuel Cell, flow rate, power density, current density

ABSTRAK

Solid oxide fuel cell (SOFC) merupakan satu-satunya tipe fuel cell yang bisa beroperasi pada temperatur tinggi, sehingga banyak diaplikasikan pada pembangkit listrik skala besar hingga lebih dari 50 MW, karena memiliki efisiensi konversi yang tinggi hingga 80%. Keunggulan lain adalah menghasilkan emisi gas buang yang rendah dan ramah lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji rapat arus listrik pada model SOFC dan menganalisis unjuk kerja dengan simulasi model numerik untuk memperoleh persamaan pengatur, serta mengkaji pemanfaatan bahan bakar yang optimum. Pertama, mendesain model SOFC menggunakan analisis metode elemen hingga untuk memperoleh nilai numerik simulasi yang paling optimum. Kedua, mensimulasikan model distribusi arus pada berbagai bentuk penampang lapisan katalis dengan rasio tinggi dan lebar pada luas penampang saluran, kemudian menganalisis persamaan pengatur pada fenomena transpor pada sistem fuel cell. Selanjutnya didapatkan karakteristik tegangan sel-rapat arus-rapat daya sel bahan bakar yang optimum. Hasil penelitian pada tegangan 0.7 V untuk menghasilkan rapat daya yang optimum 306,845 W/m² pada arus sel sebesar 438,35 A/m². Karakteristik fuel cell bisa diperoleh bahwa pada laju bahan bakar tinggi sebanding dengan meningkatnya rapat arus sel dan rapat daya fuel cell.

Kata Kunci: Solid oxide fuel cell, laju aliran bahan bakar, rapat daya, rapat arus

PENDAHULUAN

Fuel cell adalah alat konversi energi berbasis reaksi elektrokimia yang mengubah bahan bakar hidrogen dan oksigen menjadi listrik dan panas secara bersamaan dalam prosesnya akan menghasilkan air. *Fuel cell* merupakan sumber energi seperti baterai yang memiliki pada kedua sisinya adalah elektroda positif (katoda) dan elektroda

negatif (anoda). Reaksi elektrokimia terjadi di lapisan katalis pada sisi elektroda, lapisan katalis akan mempercepat reaksi di sisi elektrode. Sedangkan elektrolit terpasang diantara kedua elektroda anoda dan katoda. Elektrolit akan menghantarkan muatan-muatan listrik (ion H^+ dan elektron e^-) dari elektrode satu ke elektroda yang lain (Larmino and Dicks, 2003; Kazempoor et al., 2011).

Solid oxide fuel cell (SOFC) adalah salah satu jenis fuel cell yang memiliki karakteristik berupa bahan elektrolit padat biasanya berupa oksida logam atau keramik yang terbuat dari Zirconia (Zirconium oksida yang distabilkan oleh Y_2O_3/YSZ atau $Sc_2O_3/ScSZ$) untuk menghantarkan ionoksigen negatif dari katoda ($LaMnO_3$ yang di doping oleh Sr) menuju ke anoda (keramik jenis logam $CoZrO_2$ atau $NiZrO_2$) yang selanjutnya akan bereaksi secara elektro-kimia dengan hidrogen dan karbon monoksida (syngas) di sisi anoda. SOFC ini bekerja pada suhu beroperasi tinggi 800 – 1000 °C (Dey et al., 2014; Kupecki et al., 2015; D'Andrea et al., 2017).

Choudhary et al. (2016) dan Ramadhani et al. (2017) menyebutkan bahwa sel bahan bakar (fuel cell) merupakan sumber energi baru dan terbarukan yang sedang banyak diteliti dan sedang menjadi topik penelitian baru bidang energi terbarukan dalam dasawarsa terakhir ini. *Fuel cell* memiliki kelebihan dibandingkan dengan sumber energi konvensional, seperti baterai lithium dan aki. Kelebihan *fuel cell* adalah memiliki kerapatan daya dan energi tinggi, daya tahan hidup lebih lama, fleksibel, lebih efisien, perawatan mudah, tidak ada polusi dan emisi, dan dapat dikombinasikan sebagai sistem pembangkit listrik hybrid skala mikro. Eikani et al. (2012) dan Devrim et al. (2015) menyatakan bahwa *fuel cell* yang banyak digunakan adalah yang memiliki karakteristik temperatur rendah dibawah 60 °C untuk aplikasi dengan kebutuhan daya kurang dari 1 kW. Tipe bahan bakar yang sesuai dengan karakteristik diatas adalah *fuel cell* yang menggunakan membrane elektrolit yang lebih dikenal dengan sebutan *proton electrolyte membrane fuel cells*. Penerapan teknologi *fuel cell* sebagai sumber energi telah banyak diterapkan di beberapa Negara sebagai pengisi baterai diantaranya adalah handphone, laptop, PDA, GPS, peralatan medis, baterai portabel, peralatan portabel elektronik, mobil, bus, peralatan militer, kapal, pesawat, pembangkit energi listrik pada gedung-gedung perkantoran, rumah sakit, bandara, skala rumah tangga dan pembangkit listrik stasioner serta *low CHP systems (Combine Heat and Power)* kapasitas dibawah 100 kW

dan sebagainya. Bahan bakar sel tersusun atas beberapa tumpukan *membrane electrode assembly (MEA)*, sehingga disebut sebagai *multi stacks*. Beberapa tumpukan unit sel (*multi stacks of fuel cell*) ini dapat menyediakan daya yang lebih besar, waktu operasional lebih lama, dan ramah lingkungan, berdasarkan Barzi et al. (2010); Gong W et. Al. (2014) dan Rillo et al. (2017).

Tabel 1. Jenis fuel cell dan penerapannya

Jenis fuel cell	Penerapan	Kisaran daya
1. DMFC	Pengganti baterai Pembangkit portable	dibawah 100 W sampai 1 kW
2. AFC	Transportasi Pembangkit listrik cadangan	500 W sampai 10 kW
3. PEMFC	Transportasi Pembangkit listrik portabel Pembangkit listrik cadangan	dibawah 100 W sampai diatas 1 MW
4. PAFC	Pembangkit listrik stationer <i>CHP (Combined Heat Power)</i>	50 kW - 2 MW
5. MCFC	Pembangkit listrik stationer <i>CHP (Combined Heat Power)</i>	200 kW sampai lebih dari 10 MW
6. SOFC	Pembangkit listrik stasioner Transportasi <i>CHP (Combined Heat Power)</i>	5 kW sampai lebih dari 10 MW

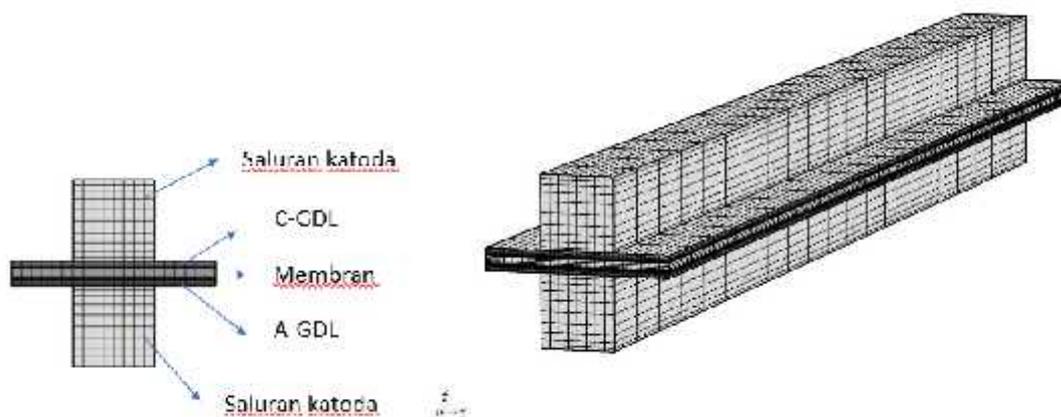
Sumber: Larmin and Dicks, 2003.

Penelitian ini memanfaatkan sumber energi air hidrogen untuk masa depan untuk aplikasi pembangkit listrik ini dikembangkan, kebaruan teknologi *solid oxide fuel cell* ini khususnya untuk aplikasi teknologi pembangkit listrik dibawah 100 kW menggunakan *solid oxide electrolyte (yttria/zirconia)*. Inovasi dari penelitian ini adalah sebuah model SOFC skala kecil dengan dimensi per unit cell saluran adalah: panjang x lebar x tinggi adalah 20 mm x 1 mm x 1 mm dengan laju kecepatan bahan bakar 0.5 m/s, konsentrasi bahan bakar 10 mol/m³, selanjutnya mengoptimasi laju aliran bahan bakar, serta mengkaji karakteristik masing-masing model *solid oxide fuel cell (SOFC)*.

METODE PENELITIAN

Simulasi numerik yang dikaji pada penelitian ini menggunakan domain komputasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, dengan software COMSOL 5.1. Simulasi numerik model 3-dimensi *Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)* dibentuk dengan asumsi dan kondisi batas adalah:

- Model 3-D di atur pada kondisi tunak (*steady state*)
- Campuran gas diasumsi pada kondisi gas ideal
- Perpindahan panas radiasi di dalam stack SOFC diabaikan
- Elektroda (lapisan katalis dan lapisan difusi gas) adalah isotropik dan homogen.
- Reaksi elektro-kimia diasumsi terdistribusi secara seragam di sepanjang elektroda porous
- *Solide oxide fuel cell (SOFC)* berada dalam domain komputasi. Persamaan differensial parsial menggambarkan konservasi massa, momentum dan energi dengan laju aliran di dalam domain komputasi dalam koordinat 3-dimensi Cartesian., Gambar 1.



Gambar 1. Desain dan meshing grid model SOFC

Model *solid oxide fuel cell (SOFC)* mencakup beberapa proses yang dihasilkan dari aliran bahan bakar pada saluran dan reaksi elektrokimia yaitu:

- 1) Neraca muatan elektronik, mengacu pada hukum ohm
- 2) Neraca muatan ionik, mengacu pada hukum ohm
- 3) Kinetik transfer muatan listrik, menggunakan persamaan *Butler-Volmer*

Keseimbangan/neraca muatan listrik (ion dan elektron) pada masukan arus di sisi anoda dan katoda, elektrolit, dan elektroda difusi gas (*Gas Diffusion Electrode*) diselesaikan secara komputasi menggunakan metode “*Secondary Current Distribution*” interface. Persamaan kinetik transfer muatan *Butler-Volmer* menggambarkan kerapatan arus transfer muatan listrik. Pada sisi anoda, hidrogen teroksidasi bereaksi dengan oksigen untuk membentuk air, dengan asumsi elektron pada anoda menjadi langkah penentu laju transfer, sehingga persamaan kinetik transfer muatan listrik sbb.

Pada sisi anoda:

$$i_a = i_{0,a} \left(\frac{c_{H_2}}{c_{H_2,ref}} \exp\left(\frac{0.5Fy}{RT}\right) - \frac{c_{H_2O}}{c_{H_2O,ref}} \exp\left(\frac{-1.5Fy}{RT}\right) \right)$$

dimana, i_a adalah rapat arus anoda pada total konsentrasi, $i_{0,a}$ rapat arus pada anoda (anode exchange current density) dalam (A/m^2), c_{H_2} adalah molaritas konsentrasi gas hidrogen, c_{H_2O} adalah molaritas konsentrasi air dalam (mol/m^3), $c_{H_2,ref}$ dan $c_{H_2O,ref}$ adalah konsentrasi referensi dalam (mol/m^3). Kemudian F adalah konstanta Faraday (C/mol), R adalah konstanta gas ($J/mol.K$), T adalah temperatur (K), dan y adalah tegangan lebih atau overpotential dalam V .

Pada sisi katoda:

$$i_c = i_{0,c} \left(\exp\left(\frac{3.5Fy}{RT}\right) - x_{O_2} \frac{c_t}{c_{O_2,ref}} \exp\left(\frac{-0.5Fy}{RT}\right) \right)$$

Dimana $i_{0,c}$ adalah rapat arus sisi katoda (cathode exchange current density) dalam (A/m^2) dan x_{O_2} adalah molaritas fraksi pada oksigen.

Tegangan lebih (overpotential) bisa didefinisikan sebagai berikut:

$$y = W_{elektroda} - W_{membran} - \Delta W_{ekuilibrium}$$

dimana $\Delta W_{ekuilibrium}$ adalah perbedaan potensial ekuilibrium dalam sel bahan bakar (V).

Sedangkan untuk mengatur perpindahan muatan listrik menggunakan analisis jenis “*The Concentration Dependent Kinetics*”.

Lapis batas pada simulasi ini terjadi pada dua sisi elektroda. Pada sisi lapis batas inle anoda tegangan diatur pada tegangan referensi nol. Sedangkan lapis batas pada sisi

inlet katoda ditetapkan sebagai tegangan cell, V_{sel} , yang diformulasikan sebagai berikut:

$$V_{sel} = \Delta W_{ekuilibrium,c} - \Delta W_{ekuilibrium,a} - V_{polarisasi}$$

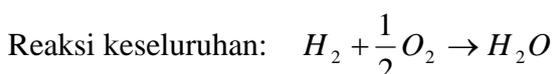
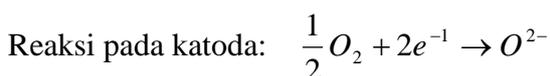
dimana $V_{polarisasi}$ adalah tegangan polarisasi dari karakteristik *fuel cell* saat beroperasi pada kondisi tertentu. Pada penelitian ini model SOFC, $\Delta W_{ekuilibrium} = 0 V$ dan $\Delta W_{ekuilibrium,c} = 1 V$. Tegangan fuel cell dianalisis diantara $0.2 V \leq V_{sel} \leq 0.95 V$

Dengan menggunakan $V_{polarisasi}$ dioperasikan berkisar pada $0.05 V - 0.8 V$ digunakan dalam simulasi ini sebagai parameter solusi untuk “*The Parametric Solver*” di dalam stationary. Untuk persamaan keseimbangan muatan ion diterapkan dengan insulasi kondisi batas pada seluruh kondisi batas bagian luar *fuel cell*. Sedangkan pada lapis batas internal, kontinuitas arus dan tegangan potensial bisa diterapkan untuk mendapatkan hasil simulasi yang baik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengkaji tentang distribusi rapat arus pada *solid oxide fuel cell* (SOFC) dengan variasi laju aliran bahan bakar untuk memperoleh unjuk kerja yang optimum. Penelitian ini mencakup empat area analisis yaitu neraca massa pada anoda dan katoda, neraca momentum di dalam saluran bahan bakar, mode aliran bahan bakar melewati elektroda berpori, neraca arus ion H^+ yang dibawa oleh ion oksida, serta neraca arus elektronik.

Bahan bakar gas hidrogen dan oksigen mengalir pada saluran sel secara berlawanan arah antara bahan bakar dan oksidan disebut memiliki tipe *counterflow*. Reaksi elektrokimia di dalam fuel cell diatas diberikan sebagai berikut.



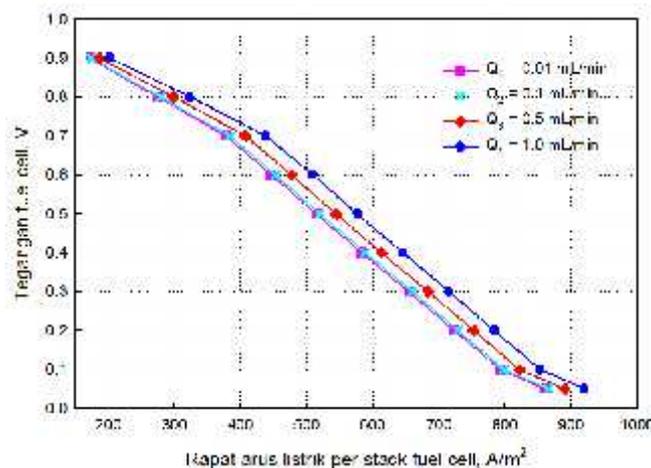
Berdasarkan unjuk kerja distribusi arus listrik SOFC pada elektroda dengan memvariasikan laju aliran bahan bakar, diperoleh data primer sebagai berikut dibawah.

Tabel 2

Data hasil pengujian rapat arus, tegangan sel dan rapat daya (laju aliran bahan bakar

$Q_1 = 0.01 \text{ mL/min}$, $Q_2 = 0.1 \text{ mL/min}$, $Q_3 = 0.5 \text{ mL/min}$, $Q_4 = 1 \text{ mL/min}$)

V_1	I_1	P_1	V_2	I_2	P_2	V_3	I_3	P_3	V_4	I_4	P_4
0.05	860.42	43.021	0.05	865.62	43.281	0.05	890.35	44.5175	0.05	919.75	45.9875
0.1	793.09	79.309	0.1	798.33	79.833	0.1	822.07	82.207	0.1	852.91	85.291
0.2	724.03	144.806	0.2	729.3	145.86	0.2	753.24	150.648	0.2	784.42	156.884
0.3	653.94	196.182	0.3	659.24	197.772	0.3	683.4	205.02	0.3	714.99	214.497
0.4	583.76	233.504	0.4	589.1	235.64	0.4	613.49	245.396	0.4	645.5	258.2
0.5	514.62	257.31	0.5	520	260	0.5	544.56	272.28	0.5	576.87	288.435
0.6	447.42	268.452	0.6	452.78	271.668	0.6	477.25	286.35	0.6	509.4	305.64
0.7	378.71	265.097	0.7	383.92	268.744	0.7	407.55	285.285	0.7	438.35	306.845
0.8	274.22	219.376	0.8	278.71	222.968	0.8	298.6	238.88	0.8	323.6	258.88
0.9	172.55	155.295	0.9	174.93	157.437	0.9	187.32	168.588	0.9	202.28	182.052

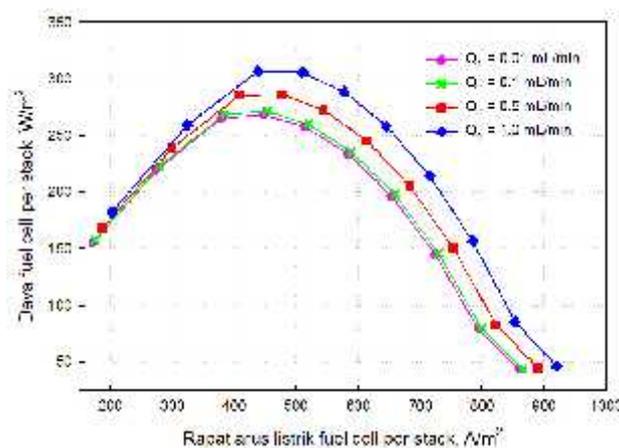


Gambar 2. Kurva polarisasi tegangan dan arus (tegangan sebagai fungsi dari jumlah arus yang dihasilkan)

Pada pengujian model SOFC pada Gambar 2 menunjukkan bahwa tegangan cell menurun seiring dengan meningkatnya rapat arus listrik pada kondisi operasi yang diberikan (laju aliran bahan bakar 0.01 - 1 mL/min) yang mana tidak terjadi drop tegangan yang signifikan. Hal ini bisa diterangkan bahwa rugi-rugi tegangan akibat reaksi kinetik elektro-kimia, tahanan listrik, dan konsentrasi bahan bakar/oksidan sangat kecil sekali, bahkan bisa diabaikan. Pada reaksi elektro-kimia, unjuk kerja elektroda ditunjukkan oleh laju reaksi oksidasi bahan bakar pada sisi anoda dan reaksi reduksi oksigen pada katoda. Simulasi model kurva polarisasi ($V-I$) menggambarkan bahwa

seluruh kurva terlihat paralel, hal ini artinya nilai tahanan yang sama pada rapat arus yang diberikan. Rugi-rugi tahanan bisa ditentukan oleh nilai konduktivitas membran elektrolit, konduktivitas elektroda, jarak elektroda antara anoda dan katoda. Penelitian sebelumnya yang terkait sudah dilakukan oleh Lee, dkk (2014) dan Herlambang, dkk (2016), juga telah meneliti terkait unjuk kerja PV, *PV electrolyzer* dan *microfluidic fuel cell* yang terkait dengan penelitian ini. Namun unjukkerja *PV elektrolyzer* pada kondisi winter solstice (WS) yaitu pada tegangan 69.78 V diperoleh arus 13.97 A dan laju rata-rata produksi gas hidrogen sebagai bahan bakar *fuel cell* pada pada elektroliser sekitar 6.25 liter per jam.

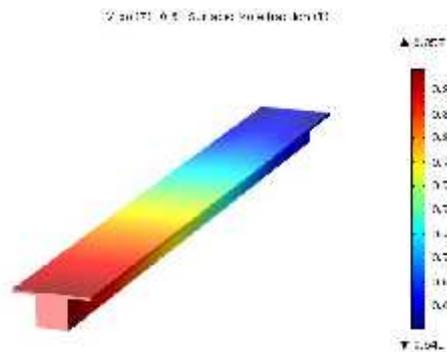
Gambar 3 menunjukkan bahwa pada penelitian model *solid oxide fuel cell* (SOFC) ini, menghasilkan rapat daya keluaran *fuel cell* optimum sebesar 306.845 W/m^2 , arus sel 438.35 A/m^2 dan tegangan sel sebesar 0.7 untuk setiap 1 unit sel (*single cell-stack*). Sedangkan unjuk kerja daya sel dan arus listrik terendah pada laju aliran bahan bakar 0.01 mL/min menghasilkan daya sel $268,452 \text{ W/m}^2$, dialiri arus sebesar 447.42 A/m^2 dan tegangan *fuel cell* 0.6 V. Terlihat pada grafik bahwa Meningkatnya laju aliran bahan bakar di dalam *fuel cell* akan meningkatkan unjuk kerja *fuel cell*. Hal ini ditandai dengan seiring dengan menurunnya tegangan cell dan dan rapat daya, maka rapat arus cell akan semakin besar.



Gambar 3. Daya keluaran *fuel cell* sebagai fungsi dari tegangan cell

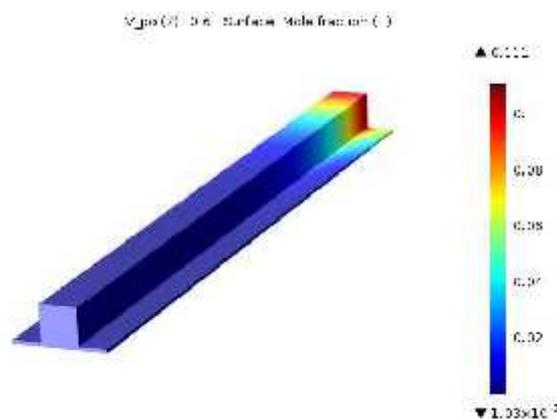
Unjukkerja model *solid oxide fuel cell* (SOFC) pada laju aliran bahan bakar 0.01 mL/min terlihat pada distribusi rapat arus yang terjadi pada lapisan membran pada arah komponen vektor z . Gambar 4 menunjukkan bahwa rapat arus *fuel cell* tipe *single*

stack beroperasi pada tegangan 0.6 V. Saluran inlet katoda berada disebelah kanan, sedangkan saluran inlet anoda terletak di sebelah kiri. Pada sisi inlet anoda terjadi penipisan oksigen dan distribusi rapat arus listrik menjadi rendah. Hampir sebagian besar arus listrik yang dihasilkan terletak dekat terhadap saluran inlet katoda. Salah satu metode memperbaiki unjuk kerja kondisi operasi sel adalah meningkatkan laju aliran oksigen pada sisi katoda, berimplikasi pada perbaikan transport massa oksigen.

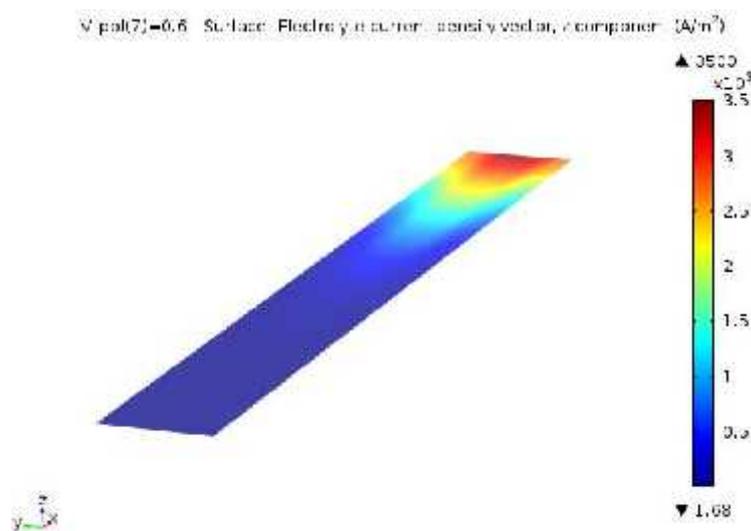


Gambar 4. Distribusi bahan bakar hidrogen di anoda pada laju aliran bahan bakar 1 mL/min pada tegangan *fuel cell* 0.6 V

Model fraksi mol oksigen di dalam katoda memiliki tegangan *fuel cell* 0.6 V. Penipisan pada oksigen sepanjang saluran menuju anoda merupakan fenomena penting, yang mana akan berakibat terjadi distribusi reaksi pada katoda.



Gambar 5. Fraksi mol oksigen di dalam saluran gas dan di dalam gas difusi katoda pada pengoperasian laju aliran bahan bakar 1 mL/min dengan tegangan cell 0.6 V



Gambar 6. Distribusi rapat arus listrik *fuel cell* beroperasi pada laju aliran bahan bakar 1 mL/min, tegangan 0.6 V (sisi inlet anoda sebelah kiri, sedangkan sisi inlet katoda di sebelah kanan)

Fraksi mol bahan bakar hidrogen di anoda menurun sepanjang saluran cell menuju sisi katoda. Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi distribusi bahan bakar hidrogen dan oksidan sepanjang saluran cell. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa penipisan tersebut tidak sejelas sebagaimana pada sisi katoda. Distribusi konsentrasi bahan bakar sepanjang saluran cell dan terjadinya reaksi elektrokimia pada lapisan katalis pada anoda dan katoda mengakibatkan rapat arus listrik menjadi tidak seragam di dalam *gas diffusion layer (GDE)*. Distribusi rapat arus listrik pada sisi katoda untuk menjembatani pertukaran penghantar ion H^+ .

Distribusi arus menggambarkan transfer ion H^+ dari lapisan katalis sisi anoda berpindah menuju lapisan katalis katoda atau sebaliknya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Fenomena ini akan menghasilkan nilai arus tinggi pada interface antara lapisan katalis anoda dan katoda. Sebaliknya nilai arus minimum pada interface antara lapisan katalis katoda (*cathode catalyst layer*) dan lapisan difusi gas (*gas diffusion layer*). Dalam hal ini, ion H^+ dikonsumsi untuk bereaksi yang menyebabkan reaksi reduksi hidrogen yang melewati lapisan katalis katoda. Distribusi arus cenderung menuju saluran gas H_2 interface jika tahanan ion tinggi dengan lapisan membran di sisi lapisan katalis katoda. Tahanan ion H^+ menghasilkan rugi-rugi tegangan aktivasi (pada

hasil kurva tidak tampak alias diabaikan). Model fraksi mol oksigen di dalam katoda memiliki tegangan cell 0.6 V. Penipisan pada oksigen sepanjang saluran menuju anoda merupakan fenomena penting, yang mana akan berakibat terjadi distribusi reaksi pada katoda.

SIMPULAN

Dimensi model *solid oxide fuel cell (SOFC)* memiliki panjang saluran sel 20 mm, lebar 1.5 mm, dan kedalaman saluran 1 mm. Panjang dan jarak antar dua elektroda adalah 20 mm dan 1 mm, sedangkan ketebalan membran adalah 0.1 mm. Ketebalan elektroda difusi gas 1.1 mm. Penelitian menggunakan bahan bakar hidrogen dengan konsentrasi 10 mol/m^3 dan oksigen sebagai oksidan bereaksi secara elektro-kimia menghasilkan arus listrik, yang mana laju aliran volumetrik bahan bakar divariasikan mulai dari 0.01, 0.1, 0.5, dan 1 mL/min. Penelitian ini menghasilkan daya keluaran *fuel cell* optimum sebesar 306.845 W/m^2 , arus sel 438.35 A/m^2 dan tegangan sel sebesar 0.7 untuk setiap 1 unit sel (single cell-stack). Sedangkan unjuk kerja daya cell dan arus listrik terendah pada laju aliran bahan bakar 0.01 mL/min menghasilkan daya cell $268,452 \text{ W/m}^2$, dialiri arus sebesar 447.42 A/m^2 dan tegangan cell 0.6 V.

Hasil penelitian ini mengungkapkan bahwa tegangan sirkuit terbuka (*open circuit voltage*) sedikit meningkat seiring dengan meningkatnya laju aliran bahan bakar. Semakin meningkat laju aliran bahan bakar, maka daya dan arus *fuel cell* yang dihasilkan akan semakin bertambah selanjutnya unjuk kerja *fuel cell* juga akan meningkat. Unjuk kerja *fuel cell* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu konsentrasi bahan bakar, konsentrasi elektrolit/membran, laju aliran bahan bakar, konduktivitas membran, geometri saluran sel, dan jarak/posisi elektroda. Rencana penelitian selanjutnya akan mengkaji lebih dalam terkait dengan unjuk kerja fenomena transport pada distribusi konsentrasi bahan bakar (gas hidrogen) pada sisi anode dan konsentrasi oksigen pada sisi katode, rapat daya dan pemanfaatan bahan bakar *fuel cell*, serta mengkaji fenomena pertumbuhan gelembung udara pada sisi anode yang akan mengurangi unjuk kerja *fuel cell* dan analisa unjuk kerja *fuel cell* dengan berbagai metode optimasi yang digunakan seperti Taguchi, algoritma genetik, artificial neural network, dan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Larmino, J., & Dicks, A. (2003). *Fuel Cell Systems Explained*, (2nd Ed.). West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd.
- Kazempour, P., Dorer, V., & Weber, A. (2011). Modelling and evaluation of building integrated SOFC systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36, 13241-13249.
- Dey, T., Singdeo, D., Pophale, A., Bose, M., & Ghosh, P. C. (2014). SOFC Power Generation System by Bio-gasification. *Energy Procedia*, 54, 748-755.
- Kupecki, J., Skrzykiewicz, M., Wierzbicki, M., & Stepien M. (2015). Analysis of a Micro-CHP Unit with in-series SOFC Stacks Fed by Biogas. *Energy Procedia*, 75, 2021-2026.
- D'Andrea, G., Gandiglio, M., Lanzini, A., & Santarelli, M. (2017). Dynamic model with experimental validation of a biogas-fed SOFC plant. *Energy Conversion and Management*, 135, 21-34.
- Choudhary, T., Sahu, M. K., & Sanjay. (2016). CFD Modeling of SOFC Cogeneration System for Building Application. *Energy Procedia*, 109, 361-368.
- Ramadhani, F., Hussain, M. A., Mokhlis, H., & Hajimolana, S. (2017). Optimization strategies for Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) application - A literature survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 460-484.
- Eikani M.H., Eliassi A., Khandan N., & Nafisi V.R. (2012). Design and fabrication of a 300 W PEMFC fuel cell test station. *Procedia Engineering*. 42: 406-413. 20th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2012, 25-29 August 2012, Prague, Czech Republic.
- Devrim, Y., Devrim H., and Eroglu I. (2015). Development of 500 W PEM fuel cell stack for portable power generators. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40, pp. 7707-7719.
- Barzi, Y. M., Raoufi, A., & Lari, H. (2010). Performance analysis of a SOFC button cell using a CFD model. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, 9468-9478.
- Gong, W., Cai, Z., Yang, J., Li, X., & Jian, L. (2014). Parameter identification of an SOFC model with an efficient, adaptive differential evolution algorithm. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39, 5083-5096.
- Rillo, E., Gandiglio, M., Lanzini, A., Bobba, S., Santarelli, M &. (2017). Life Cycle Assessment (LCA) of biogas-fed Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) plant. *Energy*, 126, 585-602.
- Lee, S.C., dan Herlambang, Y.D. (2014). Application of electrochemical supercapacitor to photovoltaic systems on unmanned flying machine. *Smart Grid and Renewable Energy*, 5, pp. 2151-4844.
- Herlambang, Y.D., Lee, S.C., Shyu, J.C., & Liu, C.J. (2007). Numerical study and modeling of the solar radiation measurement on tilted surface for the local behavior data base. *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers (CSME)*, 37, 441-448.
- Herlambang, Y.D., Lee, S.C., & Hsu, H.C. (2017). Numerical estimation of photovoltaic-electrolyzer systems performance on the basis of a weather database. *International Journal of Green Energy*, vol. xx, pp. 1543-5083. doi: 10.1080/15435075.
- Herlambang, Y.D., Shyu, J.C., Lee, S.C. (2017). A numerical study on the performance of air-breathing microfluidic fuel cells, *Nano Letters*, pp. 503-508. ISBN: 978-1-5090-3058-3

<https://www.comsol.com/comsol-multiphysics>

UNJUK KERJA SEL BAHAN BAKAR HIDROGEN TERHADAP KONSENTRASI DAN LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR

Wahyono ¹, Anis Roihatin ², Budhi Prasetyo ³, Yusuf Dewantoro Herlambang ⁴, Totok Prasetyo ⁵

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
masyusufdh@yahoo.com

ABSTRACT

Hydrogen fuel cell is fuel cells that use membranes as their electrolyte to exchange protons. The working principle is to convert electrochemical energy into electrical energy directly with hydrogen gas fuel. The purpose of this research is to study the performance of hydrogen fuel cell to study different fuel flow rate and different concentration to obtain the optimum performance of the cell. First, design a hydrogen fuel cell model, second simulate cell performance toward hydrogen fuel flow rates of 6, 18, and 30 mL/min and fuel concentrations of 50 mol/m³. Subsequently, we obtained the characteristics of voltage-electric current density and power density-electric current density per stack of fuel cell. The research of this hydrogen fuel cell obtained the power density optimum of 0.0471 mW/cm² at a cell current density of 0.135 mA/cm² and a cell voltage of 0.35 V.

Keywords: *hydrogen fuel cell, power density, flow rate, concentration*

ABSTRAK

Sel bahan bakar hidrogen atau lebih dikenal dengan *hydrogen fuel cell* merupakan sel bahan bakar yang menggunakan membran sebagai elektrolitnya untuk menukar proton. Prinsip kerjanya adalah mengkonversi energi elektrokimia menjadi energi listrik secara langsung dengan bahan bakar gas hidrogen. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji unjuk kerja sel bahan bakar hidrogen terhadap variasi laju aliran bahan bakar dan konsentrasi untuk mendapatkan unjuk kerja yang optimum. Pertama, mendesain model sel bahan bakar hidrogen, kedua mensimulasikan unjuk kerja sel terhadap laju aliran bahan bakar hidrogen 6, 18, dan 30 mL/min dan konsentrasi bahan bakar 50 mol/m³. Selanjutnya diperoleh karakteristik tegangan-arus listrik dan daya-arus listrik per stack sel bahan bakar. Penelitian sel bahan bakar hidrogen ini menghasilkan daya optimum sebesar 0.0471 mW/cm² pada arus sel 0.135 mA/cm² dan tegangan sel 0.35 V.

Kata Kunci: *sel bahan bakar, rapat daya, laju aliran, konsentrasi*

PENDAHULUAN

Sel bahan bakar atau lebih sering dikenal dengan nama "*fuel cell*" merupakan sumber energi baru dan terbarukan yang sedang banyak diteliti dan sedang menjadi topik penelitian dalam dasawarsa terakhir ini. Sel bahan bakar merupakan sumber energi ramah lingkungan karena tidak menimbulkan polutan dan bisa digunakan secara diperbarui, memiliki jangkauan aplikasi lebih luas, mudah dikontrol, tidak ada gangguan jika diintegrasikan kedalam sistem, serta dapat dikombinasikan sebagai sistem pembangkit listrik hybrid skala mikro (Larmin and Dicks, 2003; Kjeang et al., 2009)

Penelitian tentang sel bahan bakar tipe membran penukar proton (*PEMFC : Proton Exchange Membrane Fuel Cell*) baik yang menggunakan gas maupun larutan cair sebagai bahan bakar telah banyak dilakukan (Eikani et al., 2012; Peighamardoust et al., 2010; Youssef et al., 2015). Hal ini menunjukkan bahwa potensi pembangkit listrik berbasis sel bahan bakar memiliki peluang besar dan aplikasi yang luas dalam berbagai bidang, seperti bidang kedokteran, komputer, telekomunikasi, dan sebagainya. Tetapi penelitian terkait dengan sel bahan bakar (*fuel cell*) skala mikro masih sangat sedikit dan belum banyak dilakukan di Indonesia.

Teknologi bahan bakar sel skala mikro tipe membran penukar proton ini telah banyak dipatenkan dan diteliti. Namun rata-rata dari paten dan penelitian tersebut hanya mengkaji tentang sisi struktur dan desain elektroda serta unjuk kerja PEMFC pada variasi temperatur tertentu (Kjeang et al., 2009; Shaegh et al., 2012; Shyu et al., 2015; Nasharudin et al., 2014). Sedangkan parameter laju aliran volumetrik, konsentrasi bahan bakar, tegangan-arus yang dihasilkan serta model simulasi numerik transfer species dan transfer momentum dalam sel bahan bakar, masih jarang dikaji (Zhang et al., 2012; Zhang et al., 2014). Untuk itu perlu dikembangkan model simulasi numerik terhadap parameter-parameter tersebut pada sel bahan bakar tipe membran penukar proton (PEMFC), dengan unjuk kerja karakteristik yang optimum.

Penelitian ini difokuskan pada model sel bahan bakar tipe membran penukar proton (PEMFC) yang berorientasi pada unjuk kerja yang optimum, baik desain model maupun simulasi numerik sebelum dilakukan proses fabrikasi PEMFC skala mikro, sehingga akan dihasilkan model PEMFC yang komponennya mudah diperoleh dengan biaya murah dan mudah diduplikasi.

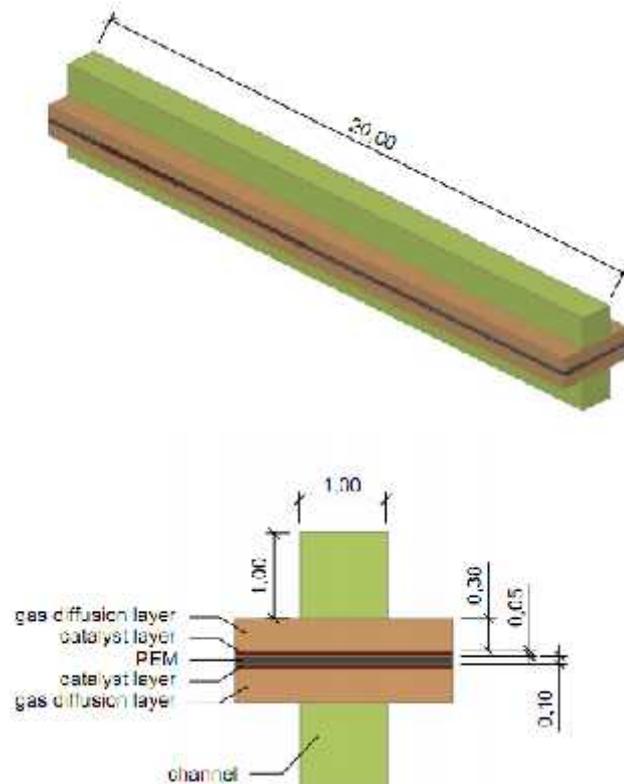
METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilaksanakan melalui dua tahap, yaitu desain Sel Bahan Bakar Membran Penukar Proton dan simulasi numerik sel bahan bakar

a. Desain Model Sel Bahan Bakar Membran Penukar Proton

Model Sel Bahan Bakar Membran Penukar Proton atau *Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)* ini memiliki dimensi saluran 200mm x 10mm x 10mm. Kedua elektroda anoda dan katoda memiliki dimensi 2.75 mm x 200 mm, dengan jarak antar elektroda adalah 0.1 mm. Kedua elektroda ditempatkan pada bagian sisi bawah

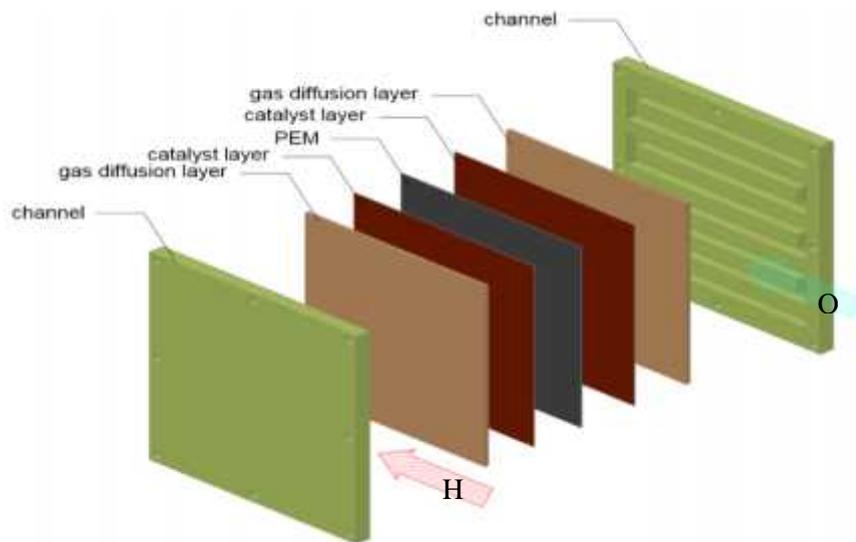
saluran mikro. Gambar 1 mengilustrasikan model PEMFC yang terdiri dari 7 bagian utama yaitu saluran mikro bahan bakar sisi anoda, lapisan berpori difusi gas di sisi anoda, lapisan katalis di sisi anoda, lapisan membran tipis polimer, lapisan katalis sisi katoda, lapisan berpori difusi gas sisi katoda, dan saluran mikro bahan bakar sisi katoda. Miniaturisasi sel bahan bakar dengan struktur dan desain PEMFC unit stack ditunjukkan pada Gambar 1.



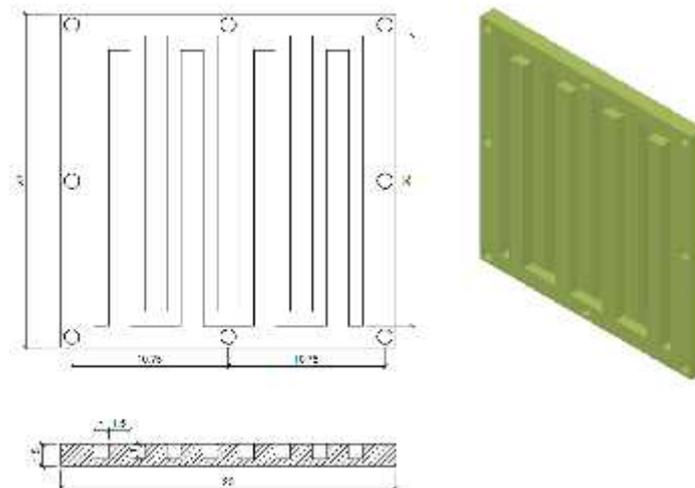
Gambar 1. Penampang unit cell untuk model PEMFC

b. Simulasi Numerik Sel Bahan Bakar

Sel bahan bakar hidrogen masuk melalui sisi inlet anoda, sedangkan oksigen akan mengalir masuk ke saluran mikro pada sisi saluran inlet katoda. Kedua gas akan bereaksi secara elektrokimia pada permukaan lapisan katalis anoda dan katoda. Ion-ion gas hidrogen (H^+) akan mengalir melalui membran dan bergerak dari sisi anoda menuju sisi katoda, sedangkan elektron (e^-) akan bergerak mengalir dari sisi katoda menuju ke sisi anoda. Elektron dari kutub negatif anoda akan mengalir melewati pelat kolektor bipolar melalui eksternal sirkuit menuju kutub positif katoda untuk membangkitkan beban listrik. Model stack sel bahan bakar untuk PEMFC skala mikro dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Model *single cell stack* untuk PEMFC skala mikro



Gambar 3. Model serpentine saluran mikro untuk PEMFC skala mikro

Simulasi numerik berbasis metode finite elemen 3-dimensi diimplementasikan dalam COMSOL Multiphysics 5.1. Model 3-dimensi sel bahan bakar dirancang dengan COMSOL untuk menyelesaikan fenomena transportasi fluida yaitu persamaan aliran distribusi fluida gas di saluran mikro, persamaan aliran fluida yang melewati media berpori (Young et al., 2011), persamaan difusi dan konveksi, persamaan muatan listrik yang sesuai dengan reaksi elektrokimia yang terjadi di permukaan elektroda berpori dan katalis. Simulasi numerik ini akan membahas tentang unjuk kerja sel bahan bakar membran penukar proton terkait kurva polarisasi arus dan tegangan yang dihasilkan, termasuk *overpotential* pada elektroda, distribusi konsentrasi bahan bakar dan oksidan, serta distribusi kecepatan fluida pada saluran mikro. Di samping itu, unjuk kerja model

simulasi numerik dibandingkan dengan data eksperimen sebagai rujukan untuk memvalidasi bahwa unjuk kerja model adalah tepat dan akurat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini untuk memperoleh unjuk kerja sel bahan bakar yang optimal dengan memvariasikan 3 buah laju aliran bahan bakar yaitu 6, 18, dan 30 mL/min seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, gambar 5, dan gambar 6. Karakteristik tegangan sel bahan bakar dan arus listrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dibawah ini:

$$E_{cell} = E_{OCV} - (y_{a,a} + y_{a,c}) - y_r \quad (1)$$

Dimana E_{OCV} adalah tegangan sirkuit terbuka pada eksperimen yang bisa diperoleh dari kurva karakteristik I-V sesuai dengan beban laju aliran bahan bakar yang diberikan, dapat dilihat pada Gambar 4, 5, dan 6. Laju aliran bahan bakar sangat mempengaruhi unjuk kerja sel bahan bakar, hal ini terkait dengan laju reaksi elektro-oksidasi bahan bakar di sisi anoda dan reaksi elektro-reduksi laju oksigen di sisi katoda, sebagaimana diberikan pada persamaan (2) dibawah ini:

$$S_i = \left(\frac{i_0}{n_i F} \right) \left(\frac{c_i}{c_{i,ref}} \right)^{S_i} \left[\exp\left(\frac{\gamma_a F y}{RT} \right) - \exp\left(-\frac{\gamma_c F y}{RT} \right) \right] \quad (2)$$

Dimana i_0 adalah perubahan rapat arus di dalam sel bahan bakar (*exchange current density*) pada konsentrasi bahan bakar $c_{i,ref}$, orde reaksi pada spesies “i” sebagai acuan langkah transfer muatan di dalam sel. γ_a dan γ_c adalah koefisien transfer muatan di anoda dan katoda, y adalah tegangan lebih (*activation over-voltage*), T adalah temperatur operasi sel, F adalah konstanta Faraday, dan R adalah konstanta gas universal.

Suplai oksigen dari udara sekitar menembus masuk melewati *gas diffusion electrode* (GDE) sebelum sampai pada lapisan katalis pada katoda. Melalui pendekatan kondisi batas dan memasukkan nilai ke persamaan (1) dan persamaan (2), maka konsentrasi oksigen yang melewati GDE dapat diketahui.

Pada reaksi elektrokimia sel bahan bakar, bahwa reaksi elektrokimia selalu terjadi pada sisi permukaan atas elektroda, dalam hal ini adalah lapisan katalis pada sisi anoda

dan lapisan katalis pada sisi katoda. Seperti diketahui bahwa, elektroda anoda dan katoda keduanya terbuat dari lapisan karbon berpori yang mana dilapisi dengan lapisan tipis pada sisi partikel katalis. Lapisan katalis ini diuji sebagai kondisi batas, dimana sesuai dengan reaksi elektrokimia yang terjadi pada sisi permukaan kondisi batas ini (lapisan katalis). Sehingga dari reaksi elektrokimia pada permukaan lapisan katalis terlihat pada konsentrasi spesies sebagaimana dikenal dengan istilah sumber (*source term, S*), istilah *source term* pada persamaan konservasi spesies adalah

$$S_i = \nabla \cdot (-D_i \nabla c_i + c_i \vec{u}) \quad (3)$$

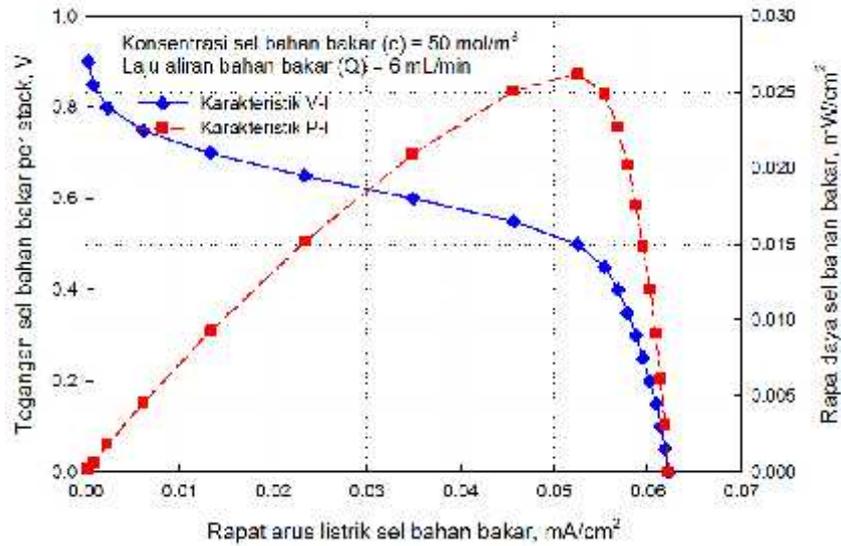
Dimana S_i adalah laju konsumsi spesies “i” per meter kubik diakibatkan oleh reaksi elektrokimia sepanjang permukaan lapisan katalis pada sisi anoda dan katoda. D_i adalah koefisien difusi spesies “i” untuk gas hidrogen pada sisi anoda dan oksigen pada sisi katoda sesuai dengan media berpori di elektroda. Nilai koefisien difusi spesies untuk reaksi pada anoda dan katoda ditunjukkan sebagai difusivitas gas hidrogen dan difusivitas oksigen yang melewati *gas diffusion electrode* (GDE) yang terbuat dari lapisan karbon.

Pada permukaan sepanjang lapisan katalis, hanya fluks normal terhadap permukaan elektroda dan bahan bakar mempengaruhi dan berkontribusi terhadap daya output sel bahan bakar seperti yang dituliskan pada persamaan (4) dibawah ini

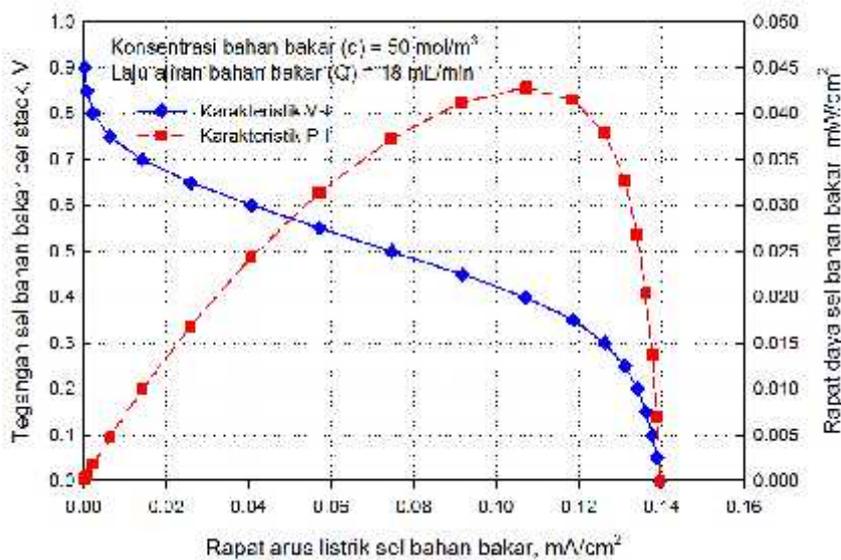
$$\vec{n} \cdot \nabla \cdot (-D_{ij} \nabla c_i + c_i \vec{u}) = S_i \quad (4)$$

Struktur berpori pada elektroda anoda dan katoda berdampak pada koefisien difusi biner yang dimanfaatkan di dalam elektroda sebagai media berpori untuk dikoreksi terhadap porositas electrode (ν) dan turtuositas atau kekasaran permukaan pada electrode (\ddagger) sebagai berikut

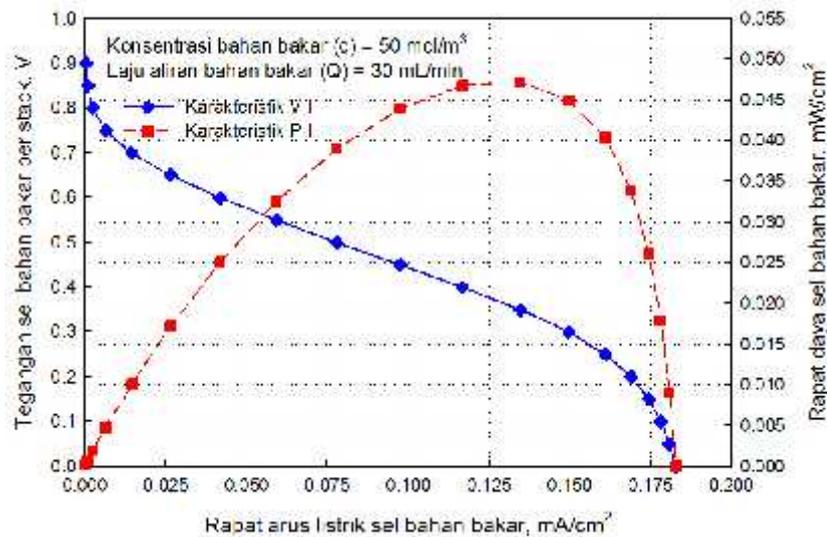
$$D_{ij}^{eff} = D_{ij} \frac{\nu}{\ddagger} \quad (5)$$



Gambar 4. Karakteristik PEMFC dengan konsentrasi bahan bakar hidrogen 50 mol/m³ dan laju aliran bahan bakar 6 mL/min



Gambar 5. Karakteristik PEMFC dengan konsentrasi bahan bakar hidrogen 50 mol/m³ dan laju aliran bahan bakar 18 mL/min



Gambar 6. Karakteristik PEMFC dengan konsentrasi bahan bakar hidrogen 50 mol/m³ dan laju aliran bahan bakar 30 mL/min

. Terkait dengan Penelitian sebelumnya sudah dilakukan oleh Lee, dkk (2014) dan Herlambang, dkk (2016), juga telah meneliti terkait unjuk kerja PV, PV electrolyzer dan microfluidic fuel cell yang terkait dengan penelitian ini. Namun unjuk kerja PV elektroliser pada kondisi summer solstice (SS) yaitu pada tegangan 71,03 V diperoleh arus 17,59 A dan laju rata-rata produksi gas hidrogen sebagai bahan bakar fuel cell pada elektroliser sekitar 8.22 liter per jam.

Simulasi unjuk kerja model PEMFC pada berbagai laju aliran bahan bakar yang berbeda 6 mL/min, 18 mL/min, dan 30 mL/min pada konsentrasi bahan bakar hidrogen 50 mol/m³, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4, gambar 5, dan gambar 6. Hasil simulasi menunjukkan bahwa laju aliran bahan bakar pada saluran sisi anoda yang semakin besar, akan meningkatkan akumulasi arus listrik yang diproduksi oleh sel bahan bakar. Demikian juga akan terjadi peningkatan daya sel bahan bakar yang dihasilkan. Oleh karena itu, salah satu cara untuk memperoleh unjuk kerja sel bahan bakar yang optimum adalah dengan cara mengetahui pada kondisi parameter laju aliran bahan bakar. Meskipun banyak parameter yang lain yang akan mempengaruhi kinerja sel bahan bakar, diantaranya adalah dengan memvariasikan konsentrasi bahan bakar, nilai konduktivitas membran, nilai permeabilitas membran dan elektroda, kecepatan aliran pada sisi saluran inlet, *catalyst loading*, temperatur, dan konsentrasi elektrolit.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan rangkaian terbuka (*open circuit voltage*) pada sel bahan bakar sedikit meningkat dengan meningkatnya laju aliran bahan bakar pada reaktan di dalam saluran mikro. Tegangan rangkaian terbuka bisa bervariasi pada kondisi variasi laju aliran bahan bakar yaitu sekitar 0.35 V. Disamping itu kondisi permukaan elektroda akan mempengaruhi perubahan arus. Tegangan rangkaian terbuka yang rendah akan memicu terbentuknya gelembung udara pada saluran bahan bakar. Saluran mikro sel bahan bakar memiliki lebar 1.0 mm, kedalaman 1.0 mm, dan panjang 20 mm. Tebal MEA (Membrane Elektrode Assembly) adalah 0.53 mm, termasuk lapisan difusi gas setebal 0.38 mm, Lapisan katalis setebal 0.05 mm dan lapisan membran setebal 0.10 mm. Rapat daya maksimum secara bertahap akan meningkat sebagaimana nilai Reynold yang meningkat. Maksimum rapat daya dicapai pada 0.026, 0.042, dan 0.047 mW/cm², untuk sel bahan bakar pada laju aliran 6, 18, dan 30 mL/min pada konsentrasi bahan bakar 50 mol/m³. Selanjutnya rencana penelitian kedepannya akan dikaji terkait unjuk kerja pemanfaatan bahan bakar, fenomena fuel crossover pada saluran bahan bakar di anoda, serta akan dikaji untuk optimasi fuel cell menggunakan metode algoritma genetik, jaringan syaraf tirun dan artificial neural network untuk mendapatkan unjuk kerja terbaik dari sel bahan bakar.

DAFTAR PUSTAKA

- Eikani M.H., Eliassi A., Khandan N., and Nafisi V.R. (2012). Design and fabrication of a 300 W PEMFC fuel cell test station. *Procedia Engineering*. 42: 406-413. 20th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2012, 25-29 August 2012, Prague, Czech Republic.
- Kjeang E., Djilali N., and Sinton D. (2009). Microfluidic fuel cells: A review. *Journal of Power Sources*. 186 (2): 353-369.
- Larminie, J and Dicks, A. (2003). *Fuel Cell Systems Explained*. Second dition. John Willey & Sons. West Sussex-UK.
- Nasharudin M.N., Kamarudin S.K., Hasran U.A., and Masdar M.S. (2014). Mass transfer and performance of membrane-less micro fuel cell: a review. *International Journal of Hydrogen Energy*. 39 (2): 1039-1055.
- Peighambaroust S.J., Rowshanzamir S., and Amjadi M. (2010). Review of the proton exchange membrane for fuel cell PEMFC application. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35: 9349-9384.
- Shaegh S.A.M., Nguyen N.T., and Chan S.H. (2012). Air-breathing microfluidic fuel cell with fuel reservoir. *Journal of Power Sources*. 209 (1): 312-317.

- Shaegh S.A.M., Nguyen N.T., Chan S.H., and Zhou W. (2012). Air-breathing membraneless laminar flow-based fuel cell with flow-through anoda. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37 (4): 3466-3476.
- Shyu J.C., Wang P.Y., Lee C.L., Chang S.C., Sheu T.S., Kuo C.H., Huang K.L., and Yang Z.Y. (2015). Fabrication and test of an air-breathing microfluidic fuel cell. *Energies*. 8: 2082-2096.
- Young, D.F., Munson, B.R., Okiishi, T.H., and Huebsch, W.W. (2011). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. Sixth edition. John Wiley & Sons. New York-USA.
- Youssef M.E., Amin R.S., and El-Khatib K.M. (2015). Development and performance analysis of PEMFC stack based on bipolar plates fabricated employing different designs. *Arabian Journal of Chemistry*, King Saud University. 5: 1-6.
- Zhang B., Ye D.D., Sui P.C., Djilali N., and Zhu X. (2014). Computational modeling of air-breathing microfluidic fuel cells with flow-over and flow-through anodas. *Journal of Power Sources*. 259 (2): 15-24.
- Zhang H., Xuan J., Xu H., Leung M.K.H., Wang H., Leung D.Y.C., Zhang L., and Lu X. (2012). A numerical study on microfluidic fuel cell: Improving fuel utilization and fuel operation concentration. *Energy Procedia*. 61: 250-253
- Lee, S.C., dan Herlambang, Y.D. (2014). Application of electrochemical supercapacitor to photovoltaic systems on unmanned flying machine. *Smart Grid and Renewable Energy*, 5, pp. 2151-4844.
- Herlambang, Y.D., Lee, S.C., Shyu, J.C., & Liu, C.J. (2007). Numerical study and modeling of the solar radiation measurement on tilted surface for the local behavior data base. *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers (CSME)*, 37, 441-448.
- Herlambang, Y.D., Lee, S.C., & Hsu, H.C. (2017). Numerical estimation of photovoltaic-electrolyzer systems performance on the basis of a weather database. *International Journal of Green Energy*, vol. xx, pp. 1543-5083. doi: 10.1080/15435075.2017.1307200.
- Herlambang, Y.D., Shyu, J.C., Lee, S.C. (2017). A numerical study on the performance of air-breathing microfluidic fuel cells, *Nano Letters*, pp. 503-508. ISBN: 978-1-5090-3058-3

**DISEMINASI TEKNOLOGI PERAJANG SAMPAH ORGANIK DALAM UPAYA
MENERAPKAN PRODUKSI BERSIH DAN EKOTEKNOLOGI****Eddy Triyono¹, Vonny SA Budiarti², Suparni Setyowati Rahayu³, Poedji Haryanto⁴**Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang^{2,3,4}eddytriyono@gmail.com**ABSTRACT**

General purpose of dissemination of Organic Waste Chopping Technology as an effort to implement cleaner production and ecotechnology for society, facilitate the process of downstream of waste utilization process of community research result, improve Polines institutional synergy at various level of central and regional, increase productivity of added value, quality and competitiveness of garment chopper product organic-based IPEKS, forming and strengthening the network between the producers of waste chopper technology for the welfare of the community with IPTEKS users, improving the welfare of the community, the utilization of technology waste, the use of waste chopsticks. While the specific purpose to accelerate the dissemination and utilization of technology of organic trash chopper potential from Polines research and development to the community. Special targets to be achieved is to disseminate the technology of organic trash chopper to get 6 pieces of garbage chopper and collect garbage collected in an integrated tub and then chopped. The method used is the stages in the application of technology to the community, the identification of community needs. The joint implementer of the partners identifies the need for organic waste chopper by means of FGD, Design, Calculation, TTG design drawing, drawing design, TTG manufacture, Operation Test, Operational Assistance Working Procedures to support the realization of offered methods, Problem Identification, Designing, , Equipment performance test, Assistance, Desimination, Layout mapping, garbage collection, Design of garbage chopper, Process of working procedure arrangement. The result obtained is a tool chopper with motor drive motor 5.5PK, 10 rotary cutting blades and 10 pieces of silent knife, 4kw / hour capacity.

Keywords: chopsticks, clean production, ecotechnology**ABSTRAK**

Tujuan umum Diseminasi Teknologi Perajang Sampah Organik sebagai upaya penerapan produksi bersih dan ekoteknologi bagi masyarakat, memfasilitasi proses hilirisasi proses pemanfaatan sampah hasil riset kemasyarakatan, meningkatkan sinergi kelembagaan Polines pada berbagai tingkatan pusat maupun daerah, meningkatkan produktifitas nilai tambah, kualitas maupun daya saing produk perajang sampah organik berbasis IPEKS, membentuk dan memperkuat jaringan antara penghasil teknologi perajang sampah untuk kesejahteraan masyarakat dengan pengguna IPTEKS, meningkatkan kesejahteraan masyarakat, pemanfaatan sampah hasil teknologi, penggunaan perajang sampah. Sedangkan tujuan khusus untuk mempercepat diseminasi dan pemanfaatan teknologi perajang sampah organik yang potensial dari hasil riset dan pengembangan Polines ke masyarakat. Target khusus yang ingin dicapai adalah mendiseminasikan teknologi perajang sampah organik untuk mendapatkan 6 buah perajang sampah dan melakukan pengumpulan sampah yang didapat ditampung disebuah bak terpadu kemudian dirajang. Metode yang digunakan adalah tahapan dalam penerapan teknologi kepada masyarakat, identifikasi kebutuhan masyarakat. Pelaksana bersama sama mitra mengidentifikasi kebutuhan tentang perajang sampah organik dengan cara FGD, Perancangan, Perhitungan, gambar desain TTG, pembuatan gambar rancangan, pembuatan TTG, Uji Operasi, Pendampingan Operasional Prosedur kerja untuk mendukung realisasi metode yang ditawarkan, Identifikasi Masalah, Perancangan, Pembuatan peralatan, Uji kinerja peralatan, Pendampingan, Desiminasi, Pemetaan layout, pengumpulan sampah, Desain perajang sampah, Proses penyusunan prosedur kerja. Hasil yang diperoleh adalah alat perajang sampah dengan penggerak motor bensin 5,5PK, pisau potong rotary 10 buah dan pisau potong diam 10 buah, kapasitas 4kw/jam.

Kata kunci : perajang sampah, produksi bersih, ekoteknologi

PENDAHULUAN

Persoalan sampah di desa Deres Kecamatan Bawen Kabupaten Semarang merupakan permasalahan tersendiri bagi desa. Besarnya sampah yang dihasilkan dalam suatu daerah tertentu sebanding dengan jumlah penduduk, jenis aktifitas dan tingkat konsumsi terhadap barang atau material. Di desa Deres terdapat kelompok peduli lingkungan yang bernama kelompok 'Hijau' yang mempunyai kegiatan mengelola sampah di desanya sendiri.

Limbah rumah tangga yang dihasilkan oleh warga, selama ini masih belum di manfaatkan dan belum ada pengelolaannya baik di tingkat RT/RW, tiap keluarga memiliki limbah /sampah rata-rata 2 kg /hari. Jumlah timbulan sampah setiap hari mencapai 9,8 Kuintal yang sampai saat ini belum diolah apapun juga. Warga masih membuang sampah di sembarang tempat (jalan, pekarangan yang kosong, saluran air/got), dan jika hujan tiba, terjadi penyumbatan pada saluran air /got tersebut.

Desa Deres Kecamatan Bawen Kabupaten Semarang merupakan desa yang dilalui oleh transportasi pembuangan sampah yang menggunakan truk sehingga banyak juga sampah yang tercecer disekitar permukiman penduduk.

Penerapan produksi bersih yang akan dilakukan secara terintegrasi dengan pengolahan sampah di desa Deres akan mampu mengurangi beban timbulan sampah yang akan diolah di TPA. Pengurangan beban akan mampu mengurangi biaya pengoperasian TPA. Pelaksanaan produksi bersih yang dilakukan dalam pengolahan sampah organik merupakan strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif, terpadu dan terapan secara terus menerus pada setiap kegiatan dari hulu sumber sampah sampai ke hilir yang terkait dengan proses pengelolaan sampah, dan untuk mencegah terjadi pencermaran lingkungan dan mengurangi terbentuknya limbah pada sumbernya sehingga dapat meminimalisasi resiko terhadap kesehatan dan keselamatan penduduk desa Deres serta kerusakan lingkungan. Selama ini upaya pengelolaan lingkungan desa Deres identik dengan biaya besar yang tidak memberikan keuntungan secara langsung untuk pelakunya. Oleh karena itu diperlukan adanya alternatif pengelolaan sampah yang berbeda berupa penerapan produksi bersih yang bisa memberikan beberapa keuntungan.

Dari aspek ekologi model pengelolaan sampah organik dengan model ekologis berorientasi optimalisasi pemanfaatan sumber daya sampah melalui siklus produksi tertutup guna menekan penggunaan input luar yang cenderung menggunakan bahan-

bahan anorganik. Pengolahan sampah secara teknoekologis mensyaratkan dukungan teknologi karena itu teknologi dan inovasi yang dapat dimanfaatkan masyarakat desa Deres untuk menyokong model teknoekologis dalam pengelolaan sampah dengan memanfaatkan mesin perajang sampah kemudian dilanjutkan pengomposan.

Fasilitas unit pengolahan sampah berbasis masyarakat skala kawasan yang membutuhkan mesin perajang sampah organik sangat dibutuhkan oleh masyarakat. Politeknik Negeri Semarang berhasil merealisasikan hasil penelitian unit pengolahan sampah organik menjadi Mesin-Mesin Tepat Guna. Mesin ini telah dimanfaatkan oleh berbagai pemerintahan kota maupun kabupaten dalam rangka pemberdayaan masyarakat di dalam pengolahan sampah.

Melihat realitas seperti ini sebagian petani kelompok Mitra Diseminasi Teknologi beranggapan bahwa pupuk organik mempunyai respon yang lambat dan kurang praktis, sehingga petani mulai beralih dan memilih pupuk anorganik (kimia). Adapun pupuk anorganik adalah pupuk yang terbuat dari bahan-bahan kimia, seperti urea, ZA, TSP, SP-36, KCl. dengan persentase kandungan hara yang relatif lebih tinggi dari pupuk organik dan penggunaannya lebih praktis. Namun, belakangan ini di wilayah Mitra Diseminasi Teknologi harga pupuk anorganik (urea, TSP, dan KCl) semakin meningkat dan sulit diperoleh baik di KUD maupun kios/toko pertanian. Hal ini tentu saja akan menambah beban biaya bagi petani yang menggunakan pupuk kimia. Untuk itu, perlu dicarikan pemecahannya. Alternatif pemecahan masalah yang baik adalah mengurangi ketergantungan atau penggunaan pupuk anorganik tersebut dan segera beralih ke kompos. Keputusan untuk beralih ke pupuk organik dilakukan tidak semata-mata karena harga pupuk anorganik yang naik, melainkan perlu diketahui pula bahwa penggunaan pupuk anorganik juga membawa dampak yang kurang baik. Dampak yang kurang baik akibat penggunaan pupuk anorganik/kimia misalnya tanah menjadi rusak (penggunaan yang berlebihan, dan terus menerus akan menyebabkan tanah menjadi keras), air tercemar, terjadi polusi udara, dan keseimbangan terganggu. maka ada beberapa permasalahan riil yang harus segera dipecahkan, yaitu antara lain

1. Mitra tidak menguasai system pengelolaan sampah secara benar dan ramah lingkungan.
2. Mitra tidak menguasai pengolahan sampah menjadi pupuk organik secara tepat dan benar.

3. Mitra tidak memahami aplikasi pupuk organik sebagai produk yang bernilai ekonomi tinggi

METODE PENELITIAN

Metode dan tahapan dalam penerapan teknologi kepada masyarakat

Sampah akan terus diproduksi dan tidak pernah berhenti selama manusia tetap ada. Di komunitas kelompok Mitra Peduli Lingkungan ‘Hijau’ aktivitasnya selalu meningkat sebagai konsekuensi volume sampahnya juga meningkat. Apabila tidak ditangan secara efektif dan efisien, eksistensi sampah tersebut akan mengganggu kehidupan di sekitarnya. Memang alam memiliki andil besar dalam pengolahan sampah secara otomatis, terutama pada sampah organik. Namun, kerja keras alam dalam mengurai sampah secara alami sangat tidak seimbang dibanding volume sampah yang diproduksi. Bagaimana pun peran serta kelompok Mitra dalam penanganan dan pengelolaan sampah sangat penting. Pengelolaan sampah dilakukan secara terpadu oleh pelaksana Diseminasi Teknologi dosen Politeknik Negeri Semarang dan masyarakat desa Deres Kecamatan Bawen Kabupaten Semarang yang tergabung dalam Kelompok Peduli Lingkungan ‘Hijau’.

- Identifikasi kebutuhan masyarakat

Secara sederhana, jenis sampah dapat dibagi berdasarkan sifatnya. Sampah dipilah menjadi sampah organik dan anorganik. Sampah organik atau sampah basah ialah sampah yang berasal dari makhluk hidup, seperti dedaunan dan sampah dapur. Sampah jenis ini sangat mudah terurai secara alami (*degradable*). Sementara itu, sampah anorganik atau sampah kering adalah sampah yang tidak dapat terurai (*undegradable*). Karet, plastik, kaleng dan logam merupakan bagian dari sampah kering). Pola pengelolaan sampah yang diterapkan oleh kelompok Mitra Diseminasi Teknologi, ada beberapa tahap atau proses yang diterapkan. Pola ini mengupayakan agar sampah tidak sampai terbentuk dengan menerapkan upaya cegah (*reduce*) dan upaya pakai ulang (*reuse*). Upaya ini dilakukan pada tingkat rendah, yaitu pemakai barang. Jika terlanjur, pengelolaan daur ulang (*recycle*) menjadi solusi. Yang menjadi pertimbangan pula dalam pengelolaan sampah adalah ketersediaan teknologi dari mulai pemilahan, pemisahan materi, dan pembuatan produk serta kesadaran bersama dalam menjaga kelestarian lingkungan.

- **Perancangan**

- **Identifikasi kebutuhan (Recognition of need)**

Proses perancangan dimulai dengan identifikasi suatu kebutuhan akan suatu produk alat pencacah sampah.

- **Perumusan masalah (Definition of problem)**

Pada tahap ini kegiatan yang dilakukan adalah merumuskan masalah tentang mesin pencacah sampah organik yang akan menghasilkan arahan perancangan, sekaligus menentukan spesifikasi mesin yang akan dirancang seperti prestasi kerja yang harus dicapai, fungsi dan lain-lain.

- **Sintesis (Synthesis)**

Tahap sintesis adalah tahap pencarian macam atau bentuk mesin yang dapat memenuhi kebutuhan sesuai yang telah didefinisikan di atas. Langkah ini mencoba untuk menemukan alternatif desain terbaik dari beberapa pilihan desain.

- **Analisis (Analysis)**

Beberapa alternatif konsep mesin pencacah sampah pada tahap sintesis kemudian dipilih untuk dianalisis lebih lanjut. Analisis ini meliputi analisis gaya, tegangan, deformasi dan lain-lain.

- **Evaluasi (evaluation)**

Hasil dari langkah sintesis dan analisis dievaluasi atau diukur terhadap spesifikasi yang telah ditentukan. Pada langkah ini dapat timbul keperluan dibuatnya model atau prototipe untuk maksud pengukuran kualitas, keandalan, dan beberapa kriteria lainnya.

Langkah pertama dalam rancang bangun mesin pencacah sampah adalah eksplorasi masalah. Langkah ini dilakukan untuk mencari informasi tentang permasalahan yang muncul, dari masalah tersebut nantinya dikembangkan sebagai dasar untuk membuat perencanaan. Perencanaan pembuatan mesin pencacah sampah ini diharapkan dapat memenuhi beberapa hal seperti yang telah ditulis pada perumusan masalah.

- **Pembuatan**

Setelah rumusan masalah didapat, langkah selanjutnya adalah pembuatan dan perakitan alat. Metode ini meliputi pembuatan komponen-komponen mesin dan merakitnya menjadi sebuah mesin rancangan yang diinginkan.

• **Uji Operasi**

Langkah selanjutnya adalah, pengujian mesin. Langkah ini dilakukan untuk mengetahui keberhasilan secara fungsional maupun operasional perancangan dan pembuatan mesin pencacah sampah. Apabila masih ada kekurangan maka mesin dapat diperbaiki dan disempurnakan kembali sehingga tujuan pembuatan mesin ini dapat tercapai. Proses terakhir adalah evaluasi dan revisi. Setelah alat sudah diuji maka harus diperbaiki kekurangan-kekurangannya sehingga menjadi alat yang lebih sempurna. Untuk mempermudah dalam melakukan aktivitas perancangan mesin pencacah sampah

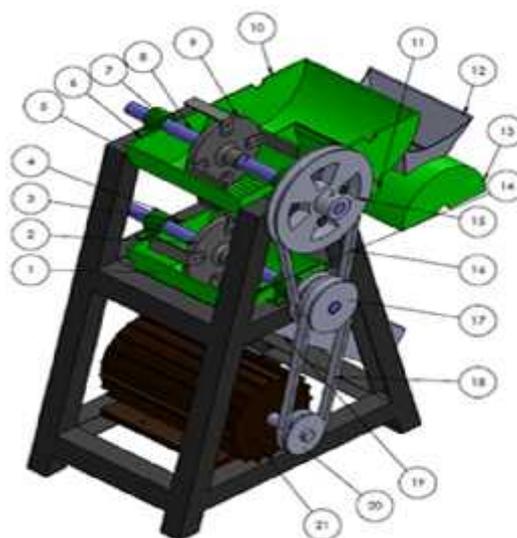
• **Pendampingan**

Dalam pelaksanaan program Diseminasi Teknologi ini pada Mitra menggunakan metode Penyuluhan, Tanya jawab, diskusi ,penugasan dan Praktek langsung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Luaran yang dihasilkan dari masing-masing solusi

Solusi	Luaran
1.Melakukan pengolahan sampah dari hulu sampai hilir menggunakan peralatan pencacah sampah dan komposting	1. Alat perajang sampah organik, dengan spesifikasi ukuran potongan 1 cm, putaran 1500 rpm, penggerak motor bensin 5PK, kapasitas 200 kg/jam



Gambar 1 Rancangan perajang sampah

Keterangan :

1. <i>Body</i> bawah	12. <i>Hopper</i> tengah
2. Pisau bawah	13. <i>Body</i> atas
3. Poros bawah	14. <i>Screening</i>
1. <i>Pillow block</i>	15. Puli atas
2. Rangka	16. Sabuk atas
3. <i>Body</i> bawah	17. Puli bawah
4. <i>Pillow block</i>	18. Sabuk bawah
5. Poros atas	19. <i>Outer</i>
6. Pisau atas	20. Puli motor
7. <i>Body</i> atas	21. Motor Listrik
8. <i>Hopper</i> atas	

Realisasi perajang sampah



Gambar 2 Perajang sampah tampak samping



Gambar 3 Perajang sampah tampak atas



Gambar 4 Perajang sampah tampak depan

SIMPULAN

Hasil yang diperoleh adalah alat perajang sampah dengan penggerak motor bensin 5,5PK, pisau potong rotary 10 buah dan pisau potong diam 10 buah, kapasitas 4kw/jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Fedia Restu. *REKAYASA MESIN PEMILAH DAN PENGHANCUR SAMPAH OTOMATIS DENGAN SISTEM KENDALI KONTROL SEDERHANA PADA SKALA INTERNAL POLITEKNIK NEGERI BATAM*, JURNAL INTEGRASI Vol. 5, No. 1, 2013, 67-75 ISSN: 2085-3858
- Rahayu Astuti dkk, *PENGELOLAAN SAMPAH ORGANIK PADA PASAR PEDURUNGAN KOTA SEMARANG*.
<https://media.neliti.com/media/publications/25548-ID-pengelolaan-sampah-organik-pada-pasar-pedurungan-kota-semarang.pdf> diakses tanggal 1 Nopember 2017
- Mohamad Yamin dkk. *PERANCANGAN MESIN PENCACAH SAMPAH TYPE CRUSHER*. Proceeding, Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelijen (KOMMIT 2008), Auditorium Universitas Gunadarma, Depok, 20-21 Agustus 2008

**PARAMETER MESIN EDM SINKING UNTUK MENGOPTIMALKAN
RESPON PADA MATERIAL AISI H13 MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI
– FUZZY**

Eko Yudo¹, Diah Kusuma Pratiwi²

¹Teknik Mesin, Polman Babel, Kawasan Industri Air Kantung, Bangka, 33211

²Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Palembang, 30139

¹email : yudamessi2207@gmail.com

²email : pratiwi.diahkusuma@gmail.com

ABSTRACT

Technological developments in manufacturing and market demand vary across complex product requirements and high degree of precision and hardness of high strength materials in which many non-conventional machines such as EDM sinking are used for the manufacturing process. The purpose of this study is to determine the contribution of EDM process parameters in order to be able to determine the value of the right process parameter setting and simultaneously. Parameters varied current, on time, off time and machining voltage. This study used an experimental design of the Taguchi method with an orthogonal L16 44 matrix. The Taguchi-Fuzzy combination was used as an optimization method by experimenting 2 times. The optimization results show that the contribution of each parameter on all responses simultaneously is 41.35% current, 37.90% on time energy, 10.11% off time and 5% machining voltage. KPA with a certain target, maximum LPM, LKE and KP are both obtained minimum values of current 15A, energy on time 300~s, off time 5~s and machining voltage 12V.

Keywords: EDM sinking, final cutting depth (KPA), electrode wear rate (LKE), material erosion rate (LPM), surface roughness (KP), Taguchi-Fuzzy method.

ABSTRAK

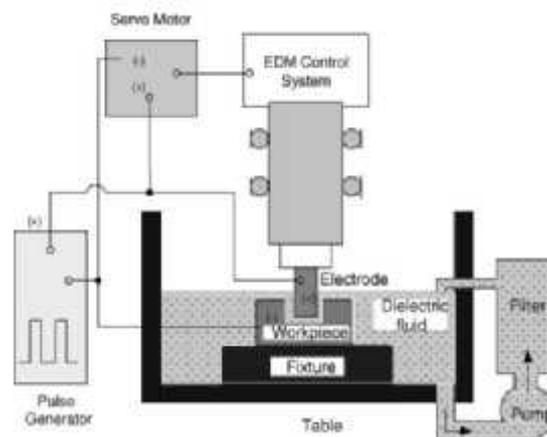
Perkembangan teknologi di bidang manufaktur dan permintaan pasar bervariasi di antara persyaratan produk yang kompleks dan tingkat presisi dan kekerasan yang tinggi dari bahan dengan kekuatan tinggi dimana banyak mesin non-konvensional seperti EDM sinking digunakan untuk proses pembuatannya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kontribusi parameter proses EDM agar dapat mengetahui nilai parameter proses yang tepat dan sekaligus. Parameter bervariasi saat ini, tepat waktu, off time dan machining voltage. Penelitian ini menggunakan rancangan eksperimen metode Taguchi dengan matriks L16 44 ortogonal. Kombinasi Taguchi-Fuzzy digunakan sebagai metode optimasi dengan melakukan percobaan 2 kali. Hasil optimasi menunjukkan bahwa kontribusi masing-masing parameter pada semua tanggapan secara simultan adalah arus 41,35%, energi pasang 37,90%, waktu tempuh 10,11% dan tegangan mesin 5%. KPA dengan target tertentu, LPM maksimum, LKE dan KP keduanya memperoleh nilai minimum arus 15A saat ini, energi pada waktu 300 μ s, off time 5 μ s dan voltase mesin 12V

Kata kunci: EDM sinking, kedalaman pemotongan akhir (KPA), tingkat keausan elektroda (LKE), tingkat erosi material (LPM), kekasaran permukaan (KP), metode Taguchi-Fuzzy.

1. PENDAHULUAN

Mesin non konvensional *EDM (Electrical Discharge Machining)* merupakan mesin yang menggunakan prinsip kerja melepas muatan listrik (*electric discharge*), pengikisan yang terjadi karena adanya sejumlah loncatan bunga api listrik. Loncatan bunga api listrik terjadi secara periodik pada celah di antara katoda (pahat) dengan anoda (benda kerja) di dalam cairan dielektrik.

Diproses *EDM*, pengaruh dari pemilihan parameter mesin untuk melakukan proses pengikisan dalam mencapai kinerja pemesinan yang tepat sangatlah penting. Parameter proses pemesinan yang biasa digunakan ditentukan berdasarkan buku manual mesin bawaan dan pengalaman operator mesin tersebut. Pada proses *EDM* tidak dipengaruhi oleh sifat mekanik benda kerja, tetapi dipengaruhi oleh sifat konduktifitas dan titik lebur (*melting point*).



Gambar 1. Skema proses EDM sinking (Lin et al. 2002)

Elektroda pada proses *EDM* berfungsi sebagai pahat pengikis, sehingga elektroda tersebut akan mengalami keausan. Besarnya keausan elektroda dipengaruhi oleh jumlah loncatan bunga api listrik dari elektroda menuju benda kerja. Jumlah bunga api listrik yang diperlukan untuk mengikis hingga kedalaman yang diinginkan tergantung dari lama dan besar energi yang dipancarkan pada setiap loncatan bunga api listrik. Loncatan bunga api dalam mesin *EDM sinking* diatur dengan merubah parameter-parameter proses mesin sesuai dengan hasil yang diinginkan, seperti laju keausan elektroda (LKE) dan laju pengikisan material (LPM) yang tepat atau optimal.

Sebuah metode *taguchi* dikembangkan oleh *Genichi Taguchi* untuk meningkatkan kualitas dari hasil produksi. Optimasi multi respon dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Taguchi* digabung dengan logika *fuzzy*. Logika *Fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh *Prof. Lotfi Zadeh* seorang kebangsaan Iran yang menjadi guru besar di *University of California at Berkeley* pada tahun 1965. Metode ini terbukti berguna untuk mencari informasi yang tidak pasti dan samar-samar. Definisi karakteristik respon seperti *smaller the better*, *higher the better* dan *nominal the best* mengandung tingkat ketidakpastian tertentu dan ketidak jelasan. Oleh karena itu, optimasi multi respon dengan logika *fuzzy* menjadi pertimbangan dalam penelitian ini.

Metode *Taguchi Fuzzy* digunakan oleh (Tzeng & Chen 2007) untuk melakukan penelitian mengenai optimasi multi parameter pada proses *EDM* berkecepatan tinggi. Penelitian ini juga menghasilkan kombinasi setting optimal dari parameter-parameter prosesnya, sehingga dapat meningkatkan prosentase *Multiple Performance Characteristics Index (MPCI)* hingga 54,21 %.

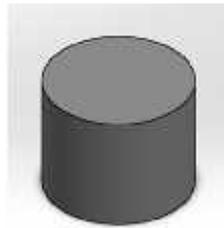
Penelitian tentang penentuan setting parameter proses pada *EDM sinking* dilakukan untuk mengoptimalkan laju keausan alat potong/elektroda (LKE), laju pengikisan material (LPM), kedalaman pemotongan akhir (KPA) dan kekasaran permukaan (KP). Material yang digunakan adalah baja AISI H13. Parameter yang divariasikan adalah *current*, *energi time (on time & off time)*, *machining voltage (gap voltage)*. Rancangan percobaan ditetapkan berdasarkan metode *Taguchi*. Metode optimasi yang digunakan adalah logika *fuzzy*.

Tujuan penelitian ini berdasarkan perumusan masalah yang ada untuk mengetahui besarnya kontribusi dari parameter proses *current*, *energi time (on time & off time)* dan *machining voltage (gap voltage)* dalam mengurangi variasi respon dari laju keausan alat potong/elektroda (LKE), laju pengikisan material (LPM), target kedalaman pemotongan akhir (KPA) dan kekasaran permukaan (KP) secara serentak. Menentukan kombinasi level parameter proses yang tepat pada proses pemesinan *EDM sinking* agar laju keausan alat potong /elektroda (LKE) yang minimal, laju pengikisan material (LPM) yang maksimal, memaksimalkan target kedalaman pemotongan akhir (KPA) dan kekasaran permukaan (KP) yang minimal.

2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

2.1 Bahan/material Penelitian

Bahan atau material yang digunakan pada penelitian ini material baja AISI H13 dengan dimensi $\varnothing 25 \times 19$.



Gambar 2. Benda kerja

Negara	Amerika Serikat	Jerman	Jepang
Standar	ASTM A681	DIN EN ISO 4957	JIS G4051
Kelas	H13	1.2344 / X40CrMoV5-1	SKD61

Tabel 1. Spesifikasi umum AISI H13

AISI H13 merupakan alat baja kombinasi yang sangat baik dari ketangguhan tinggi dan kelelahan resistensi, AISI H13 kerja panas baja alat yang digunakan lebih dari yang lain alat baja dalam aplikasi perkakas.

Tabel 2. Sifat Baja Teknik AISI H13

Properti	Metrik	Imperial
Kekuatan tarik, ultimate (@ 20 ° C / 68 ° F, bervariasi dengan perlakuan panas)	1200 - 1590 MPa	174.000-231.000 psi
Kekuatan tarik, yield (@ 20 ° C / 68 ° F, bervariasi dengan perlakuan panas)	1000 - 1200 MPa	145.000-220.000 psi
Perubahan daerah (@ 20 ° C / 68 ° F)	50.00%	50.00%
Modulus elastisitas (@ 20 ° C / 68 ° F)	210 GPa	31.100 ksi
rasio Poisson	0.27-0.30	0.27-0.30

2.2 Elektroda/Pahat

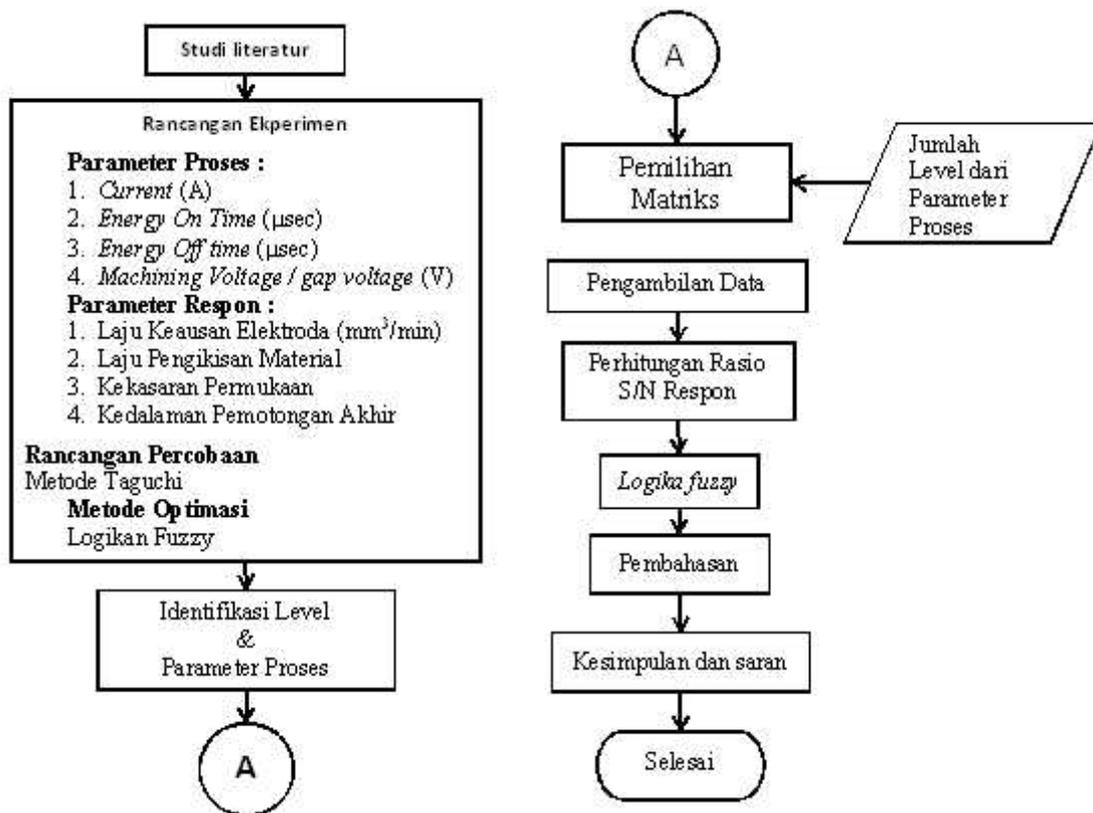
Material untuk elektroda atau pahat yang digunakan adalah tembaga. Dasar pemilihan elektroda tembaga memiliki sifat konduktor yang baik dan bisa digunakan untuk semua jenis logam. Tembaga mempunyai massa Jenis 8,9 g/cm³ dengan titik leleh 1.083⁰C dan tahanan jenis 0,0169 mm²/m.



Gambar 3. Elektroda (Pahat)

2.3 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahap yang digunakan untuk pedoman penelitian, langkah awal dimulai dari studi-studi literatur yang didapat dari jurnal ilmiah, internet, handbook, text book, manual book. Selanjutnya data-data studi literature dipelajari dan dijadikan referensi untuk melakukan penelitian. Uraian langkah-langkah tersebut tertuang pada diagram alir gambar 7.



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

2.4.1 Pemilihan matrik ortogonal

Pemilihan derajat kebebasan pada matriks ortogonal harus bernilai sama atau lebih besar dari pada total derajat kebebasan parameter proses dan level yang telah ditetapkan.

Tabel 1. Parameter & level proses

Parameter Proses		Level			
		1	2	3	4
A	<i>Current</i>	10	15	20	25
B	<i>On time</i>	100	150	200	300
C	<i>Off time</i>	5	10	15	20
D	<i>Machining voltage</i>	6	8	10	12

Tabel 2. Parameter konstan

Parameter Konstan		Nilai
1	HV Ampere	0
2	HV Voltage	2
3	Polarity	+

Tabel 3. Total derajat kebebasan

No	Parameter Proses	Jumlah Level (k)	n (k-1)
1	<i>Current (A)</i>	4	3
2	<i>On time (B)</i>	4	3
3	<i>Off time (C)</i>	4	3
4	<i>Energy voltage (D)</i>	4	3
Total derajat kebebasan			12

Total derajat kebebasan parameter dan level yang digunakan adalah 12, sehingga matriks ortogonal yang memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai rancangan percobaan adalah $L_{16} 4^4$. Rancangan percobaan matriks ortogonal $L_{16} 4^4$ memiliki 4 kolom dan 16 baris.

Tabel 4. Matrik ortogonal $L_{16} 4^4$

Eksperimen	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	1	4	4	4
5	2	1	2	3
6	2	2	1	4
7	2	3	4	1
8	2	4	3	2
9	3	1	3	4
10	3	2	4	3
11	3	3	1	2
12	3	4	2	1
13	4	1	4	2
14	4	2	3	1
15	4	3	2	4
16	4	4	1	3

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian

Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5 dimana setiap respon dilakukan duakali pengulangan percobaan atau replikasi.

Tabel 5. Hasil pengujian

Ke-	Parameter proses				Respon							
	Current	On time	Off time	Machining voltage	KPA		LKE		LPM		KP	
					1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	1	1	1,576	1,451	0,041	0,024	5,561	5,350	6,850	6,849
2	1	2	2	2	1,548	1,495	0,040	0,033	9,677	10,104	8,692	8,660
3	1	3	3	3	1,461	1,452	0,026	0,033	12,028	15,043	6,399	6,395
4	1	4	4	4	1,517	1,459	0,011	0,035	12,848	15,864	5,268	5,586
5	2	1	2	3	1,435	1,461	0,272	0,233	23,046	21,444	7,003	7,169
6	2	2	1	4	1,417	1,417	0,130	0,066	12,755	14,931	8,315	8,158
7	2	3	4	1	1,388	1,417	0,070	0,062	27,601	27,282	6,131	6,179
8	2	4	3	2	1,512	1,418	0,033	0,051	26,752	23,104	5,470	7,541
9	3	1	3	4	1,393	1,394	1,169	0,879	34,804	35,623	7,685	7,640
10	3	2	4	3	1,545	1,509	0,391	0,407	42,430	48,292	9,261	9,042
11	3	3	1	2	1,403	1,327	0,086	0,233	19,402	21,895	9,175	9,257
12	3	4	2	1	1,466	1,281	0,056	0,066	32,882	34,582	9,727	9,530

13	4	1	4	2	1,401	1,484	2,610	2,361	61,465	58,245	8,694	8,604
14	4	2	3	1	1,478	1,501	0,973	1,119	52,357	40,421	9,832	9,767
15	4	3	2	4	1,468	1,426	0,712	1,585	40,617	41,826	9,538	9,817
16	4	4	1	3	1,514	1,374	0,224	0,235	45,966	27,556	11,09	11,122

3.2 Rasio S/N

Rasio S/N merupakan rancangan yang digunakan untuk melakukan transformasi pengulangan data ke dalam suatu nilai ukuran variasi yang timbul. Nilai rasio S/N tergantung pada jenis karakteristik kualitas dari masing-masing parameter respon (Soejanto 2009). Perhitungan nilai rasio S/N pada penelitian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Untuk respon KPA yang memiliki Karakteristik kualitas dengan nilai atau target tidak nol dan terbatas. Atau dengan kata lain nilai yang mendekati suatu nilai yang ditentukan adalah yang terbaik (*nominal is the best*)

$$S/N = -\log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \right]$$

2. Untuk respon LKE yang memiliki karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik (*smaller is better*).

$$S/N = -\log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right]$$

3. Untuk respon LPM yang memiliki karakteristik kualitas semakin besar semakin baik (*larger is better*).

$$S/N = -\log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(1/y_i^2)}{n} \right]$$

4. Untuk respon KP yang memiliki karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik (*smaller is better*)

$$S/N = -\log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right]$$

Nilai rasio S/N yang diperoleh untuk masing-masing respon yang diamati pada masing-masing kombinasi *setting* parameter ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Rasio S/N masing masing respon

Ke-	Parameter proses				Rasio S/N respon			
	Current	On time	Off time	Machining voltage	KPA	LKE	LPM	KP
1	1	1	1	1	31,598	30,710	11,818	-15,785
2	1	2	2	2	36,698	30,425	14,449	-16,713
3	1	3	3	3	47,194	29,085	18,852	-16,120
4	1	4	4	4	31,294	19,703	20,741	-14,695
5	2	1	2	3	38,037	11,065	22,343	-17,009
6	2	2	1	4	295,024	18,306	18,459	-17,905
7	2	3	4	1	24,694	13,688	23,907	-18,766
8	2	4	3	2	28,924	28,716	23,844	-17,604
9	3	1	3	4	69,415	-1,763	27,199	-17,687
10	3	2	4	3	35,641	8,352	29,096	-19,231
11	3	3	1	2	28,021	19,879	22,409	-19,291
12	3	4	2	1	20,421	23,430	25,463	-19,672
13	4	1	4	2	27,811	-8,294	30,310	-18,740
14	4	2	3	1	39,364	0,422	27,536	-19,824
15	4	3	2	4	33,618	3,201	27,794	-19,716
16	4	4	1	3	23,301	13,853	25,362	-20,911
Sumber: Hasil hitungan				Maksimal	295,024	30,710	30,310	-14,695
				Minimal	20,421	-8,294	11,818	-20,911

Hasil proses *defuzzification* yang berupa nilai FRG untuk tiap-tiap kombinasi faktor ditunjukkan pada Tabel 8. FRG akan digunakan sebagai variabel respon yang mewakili parameter respon KPA, LKE, LPM dan KP secara serentak.

Tabel 8. FRG (*Fuzzy Reasoning Grade*)

No	Respon				FRG
	KPA	LKE	LPM	KP	
1	31,598	30,710	11,818	-16,713	0,428
2	36,698	30,425	14,449	-18,766	0,386
3	47,194	29,085	18,852	-16,120	0,542
4	31,294	19,703	20,741	-14,695	0,564
5	38,037	11,065	22,343	-17,009	0,470
6	295,024	18,306	18,459	-18,443	0,602
7	24,694	13,688	23,907	-15,785	0,547
8	28,924	28,716	21,853	-14,816	0,628
9	69,415	-1,763	27,199	-17,687	0,435

10	35,641	8,352	29,096	-19,231	0,438
11	28,021	19,879	22,409	-19,291	0,474
12	20,421	23,430	25,463	-19,672	0,490
13	25,270	-7,567	29,447	-18,407	0,342
14	39,364	0,422	27,536	-19,824	0,380
15	33,618	3,201	27,794	-19,716	0,407
16	23,301	13,853	25,362	-20,911	0,536

Sumber: Hasil perhitungan

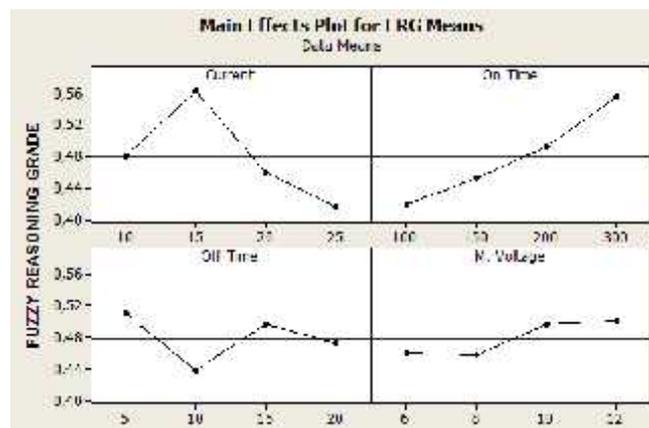
Penentuan kombinasi parameter terbaik diawali dengan membuat tabel parameter proses dari FRG. Perhitungan nilai FRG pada masing-masing level dari parameter proses ditunjukkan pada tabel 9.

Tabel 9. Rata rata FRG

Parameter proses	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
<i>Current</i>	0,480	0,562	0,459	0,416
<i>On Time</i>	0,419	0,452	0,474	0,555
<i>Off time</i>	0,510	0,438	0,496	0,473
<i>Machining Voltage / gap voltage</i>	0,461	0,458	0,497	0,502
Rata-rata:	0,478			

Sumber: Hasil perhitungan

Kemudian hasil FRG diplot menggunakan aplikasi Minitab. Plot untuk nilai FRG pada masing-masing level dari parameter proses, yaitu *Current* (A), *On Time* (μ s), *Off time* (μ s) dan *Machining Voltage/gap voltage* (V) ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Hasil plot FRG masing masing level proses

Berdasarkan nilai rata-rata dari FRG dan plotting nilai tersebut pada masing-masing level parameter proses, dapat ditentukan nilai level untuk kombinasi variabel yang menghasilkan respon yang optimum. Kombinasi parameter tersebut ditunjukkan pada tabel 10.

Tabel 10. Kombinasi parameter proses untuk respon optimum

Parameter proses	Level	Nilai level
<i>Current (A)</i>	Level 2	15 Ampere
<i>On time (~s)</i>	Level 4	300 μ s
<i>Off time (~s)</i>	Level 1	5 μ s
<i>Machining Voltage/gap voltage (V)</i>	Level 4	12 Volt

Sumber: Plot nilai FRG

Analisis variansi (ANOVA) digunakan untuk mengetahui parameter proses yang memiliki kontribusi dalam mengurangi variasi respon KPA, LKE, LPM dan KP benda kerja secara serentak. Pada penelitian ini, ANOVA dilakukan pada FRG yang merupakan parameter respon yang mewakili keseluruhan respon seperti ditunjukkan pada tabel 11.

Tabel 11. Anova pada FRG

Source	DF	SS	MS	F	SS'	% Kontribusi ()
<i>Current</i>	3	0,044703	0,014901	37,67	0,043515	41,35
<i>On time</i>	3	0,041074	0,013691	34,61	0,039886	37,90
<i>Off time</i>	3	0,011831	0,003944	9,97	0,010643	10,11
<i>Machining Voltage</i>	3	0,006449	0,002150	5,43	0,005261	5,00
<i>Error</i>	3	0,001187	0,000396			5,64
Total	15	0,105243				100

Sumber: *Analysis of Variance for SN ratios*

4. KESIMPULAN

1. Kombinasi level parameter proses yang tepat pada *EDM sinking* secara signifikan terhadap KPA, LKE, LPM dan KP secara serentak adalah parameter proses:

- *Current* 15A.
- *Energy on time* 300 μ s.
- *Energy off time* 5 μ s.

- *Machining voltage (gap voltage)* 12V.
2. Kontribusi dari parameter proses yang berpengaruh secara signifikan untuk memaksimalkan target KPA, memaksimalkan LPM dan meminimalkan LKE serta KP secara serentak adalah:
- *Current* memiliki kontribusi sebesar 41,35%.
 - *Energy on time* memiliki kontribusi sebesar 37,90%.
 - *Energy off time* memiliki kontribusi sebesar 10,11%.
 - *Machining voltage (gap voltage)* memiliki kontribusi hanya sebesar 5%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Kusumadewi, S. & Purnomo, H., 2010. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan* kedua ed., Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Lin, C.L., Lin, J.L. & Ko, T.C., 2002. Optimisation of the EDM Process Based on the Orthogonal Array with Fuzzy Logic and Grey Relational Analysis Method. *journal of Advance Manufacturing Technology*, pp.271–277.
- Lin, C.L., Lin, J.L. & Ko, T.C., 2002. Optimisation of the EDM Process Based on the Orthogonal Array with Fuzzy Logic and Grey Relational Analysis Method. *journal of Advance Manufacturing Technology*, pp.271–277.
- Lin, J.L. & Lin, C.L., 2002. The use of the orthogonal array with grey relational analysis to optimize the electrical discharge machining process with multiple performance characteristics. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42, pp.237–244.
- Lin, J.L. & Lin, C.L., 2005. The use of grey-fuzzy logic for the optimization of the manufacturing process. *Journal of Materials Processing Technology* 160, 160, pp.9–14.
- Lin, J.L. & Lin, C.L., 2005. The use of grey-fuzzy logic for the optimization of the manufacturing process. *Journal of Materials Processing Technology* 160, 160, pp.9–14.
- Lin, J.L. et al., 2000. Optimization of the electrical discharge machining process based on the Taguchi method with fuzzy logics. *journal of Material Processing Technology*, 102, pp.48–55.
- Soejanto, I., 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi Pertama.*, Yogyakarta: Graha Ilmu.

**INOVASI TEKNOLOGI BANTALAN REL KERETA API BERBAHAN BAKU
LIMBAH PLASTIK****Bambang Sugiyono Agus Purwono ^{1*}, Heru Purnomo ², Awan Setiawan ³, Masroni ⁴, Rahbini ⁵**^{1,4,5} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang³ Jurusan Teknik Listrik, Politeknik Negeri Malang² Praktisi *Green Technology*, Malang

Jl. Soekarno – Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia.

*Email: bambangsap2010@gmail.com.

ABSTRACT

The objective of this research are to describe, explain and to test the rail way sleeper using plastic waste raw material. The research variables are the dimension of plastic railway sleeper and field test. This research applies a qualitative and quantitative approaches. The finding of this research reveals is there is no cracking, shrinkage, water absorption, and fibre in plastic railway sleeper and the sleeper flexible is good, also flexural test is 16,33 MPa, torsion test is 45 CN m, tensile strength is 0,5041 N/mm², and shrinkage test is 85% with temperature 110 °C.

Key Words: railway sleeper, plastic, plastic waste.

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan dan menjelaskan serta menguji coba tentang inovasi teknologi bantalan rel KA berbahan baku limbah plastik. Variabel yang digunakan adalah dimensi bantalan plastik dan uji coba lapangan. Pendekatan kualitatif dan kuantitatif yang digunakan pada penelitian ini. Kesimpulan dari penelitian ini adalah Hasil uji coba bantalan rel limbah plastik pada rel KA di emplasemen Stasiun Kota Malang spoor 3 diperoleh kesimpulan sbb.: tidak diketemukan keretakan, tidak diketemukan kembang susut, tidak menyerap air, tidak berserat, dan mempunyai daya lentur yang baik, serta kondisi hujan maupun panas. besarnya *flexural test* adalah 16,33 MPa dengan menggunakan ASTM D790, *torsion test* sebesar 45 CN m dan *tensile strength* sebesar 0,5041 N/mm² dengan menggunakan ASTM E143, serta *shrinkage test* sebesar 85% pada suhu 110 °C dengan menggunakan ASTM D427 pada bantalan rel limbah plastik.

Kata kunci: bantalan rel KA, plastic, limbah plastik.

PENDAHULUAN

Limbah plastik di negeri tercinta ini sudah tersebar di seantero jagat Nusantara. Pantai atau sungai bagaikan tempat pembuangan akhir (TPA) sampah. Kesadaran untuk membuang sampah pada tempatnya masih diperlukan usaha yang sangat besar dari berbagai pihak.

Jenna Jambeck seorang peneliti dari Universitas Georgia (www.sciencema.org, 12 Februari 2015) menyatakan bahwa: “Indonesia membuang limbah plastik sebanyak 3,2 juta ton per tahun, dan berada di urutan kedua sebagai negara penyumbang sampah plastik ke laut setelah Cina. Plastik tidak mudah terurai dalam kurun waktu yang singkat, dibutuhkan waktu lebih dari 100 tahun dan akan

berubah menjadi butiran yang lebih kecil. Plastik dengan dimensi yang lebih kecil sangat berpotensi untuk merusak lingkungan.”

Sampah plastik yang mengalir ke laut ini menjadi perhatian dalam konferensi kelautan PBB pada awal Juni tahun 2017. Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk mengurangi sampah plastik di laut sampai 70% pada 2025 mendatang.

Banyak usaha yang telah dilakukan oleh pemerintah baik melalui berbagai macam peraturan dan sosialisasi. Hasilnya masih perlu ditingkatkan. Peran masyarakat baik secara individu maupun kelompok perlu diberi apresiasi.

Selain dapat digunakan untuk energi baru terbarukan, plastik juga dapat dimanfaatkan untuk peralatan rumah tangga, tas, mainan anak-anak, juga dapat digunakan bantalan rel Kereta Api (KA) dengan penanganan/perlakuan khusus.



Gambar 1. Penanganan sampah di kota Malang

Gambar 1 menjelaskan tentang salah satu penanganan sampah untuk ditampung di TPA

Tabel 1 menjelaskan tentang jumlah sampah yang muncul di seluruh Indonesia mencapai 38,5 juta ton per tahun. Dengan dominan sampah tersebut berada di Pulau Jawa (21,2 juta ton per tahun). Berikut adalah tabel yang berisi jumlah sampah yang muncul di beberapa bagian wilayah di Indonesia.

Tabel 2 menjelaskan tentang jumlah sampah plastik adalah 5,4 juta ton per tahun pada tahun 2008 atau sebesar 14% - cukup lumayan jumlahnya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti tertarik untuk menyusun makalah dengan judul: “Inovasi Teknologi Bantalan Rel KA Berbahan Baku Limbah Plastik.”

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan dan menjelaskan serta menguji coba tentang Inovasi Teknologi Bantalan Rel KA Berbahan Baku Limbah Plastik.

Tabel 1 Jumlah sampah di beberapa bagian wilayah di Indonesia tahun 2008

Kelompok Wilayah	Timbulan Sampah (juta ton/tahun)
Sumatera	8,7
Jawa	21,2
Balinusra	1,3
Kalimantan	2,3
Sumapapua	5,0
TOTAL	38,5

Sumber: <https://hedisasrawan.blogspot.co.id/2012/12/statistik-sampah-indonesia.html>.

Tabel 2. Total berat sampah berdasarkan jenis sampah

Jenis Sampah	Jumlah (juta ton/tahun)	Persentase (%)
Sampah Dapur	22,4	58%
Sampah Plastik	5,4	14%
Sampah Kertas	3,6	9%
Sampah Lainnya	2,3	6%
Sampah Kayu	1,4	4%
Sampah Kaca	0,7	2%
Sampah Karet/Kulit	0,7	2%
Sampah Kain	0,7	2%
Sampah Metal	0,7	2%
Sampah Pasir	0,5	1%
TOTAL	38,5	100%

Sumber: <https://hedisasrawan.blogspot.co.id/2012/12/statistik-sampah-indonesia.html>.

Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah merupakan penerapan teori-teori pengembangan dan pemanfaatan limbah plastik untuk digunakan pada bantalan rel kereta api.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Ada beberapa hal yang akan dibahas pada tinjauan pustaka.

Beberapa Definisi

Inovasi adalah kemampuan untuk menerapkan kreativitas dalam rangka mencari solusi terhadap permasalahan yang ada dan menemukan peluang (*doing new thing*). Ide kreatif akan muncul apabila para wirausahawan “*look at old and think something new and different thing or satisfaction.*”

Innovation is the specific tool of entrepreneurs, the means by which they exploit change as an opportunity for a different business or a different service (Peter F Drucker, 1984:17).

Teknologi artinya keseluruhan sarana untuk menyediakan barang-barang yang diperlukan bagi kelangsungan dan kenyamanan hidup manusia.

James G Bralla (2007: 147) mendefinisikan bahwa: “*Plastics are organic chemical compounds of high molecular weight that have a structure resulting from the repeated linking together of small molecules, called monomers. The resulting long-chain molecules are polymers.*”

Plastik adalah nama golongan zat-zat polimer tinggi buatan. Ada dua kelompok plastik (JT Black, 2007: 165), yaitu: *Thermosetting* dan *thermoplastic materials*. Thermoplastic yang paling populer adalah *polyethylene* (PE ada HDPE dan LD PE – *High Density and Low Density*), *polypropelene* (PP), *polystyrene* (PS) dan *polyvinyl chloride* (PVC).

Beberapa Karakteristik Plastik

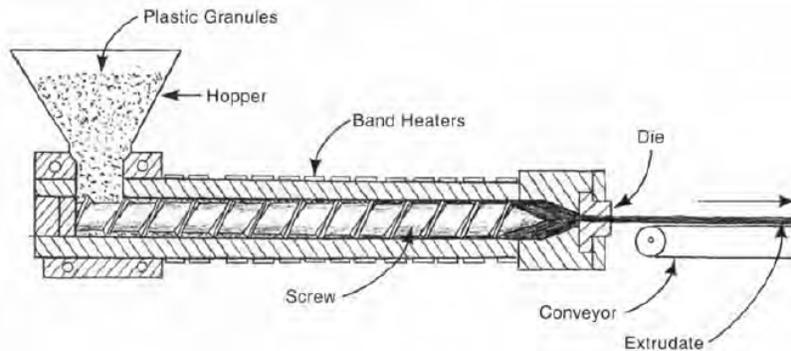
JT Black (2007: 166) menyatakan beberapa sifat plastik adalah:

- a. Ringan (*light weight*) dengan specific gravity adalah 1,1 s.d. 1,6.
- b. Tahan terhadap korosi (*corrosion resistance*).
- c. *Electrical resistance*.
- d. Konduktivitaas panas yang rendah (*Low thermal conductivity*).
- e. Variasi pewarnaan yang banyak (*variety of optical properties*).
- f. Mudah dibentuk dan difabrikasi (*formability and ease of fabrication*).
- g. *Surface finish*.
- h. Biaya yang murah (*comparatively low cost*).
- i. Kandungan energi yang rendah (*Low energy content*).

Pemrosesan

Ada beberapa macam pemrosesan biji plastik, misal: *injection molding*, *blow molding*, dan proses ekstrusi.

Gambar 2 menjelaskan tentang gambar skema dari proses ekstrusi. Biji plastik dalam bentuk granular dimasukkan melalui *hopper* dan ditransportasikan melalui *screw* (ulir) dan suhu dinaikkan dengan menggunakan *heater*. Hasil pemrosesan keluar melalui nosel, bisa dalam bentuk lembaran ataupun batangan.



Sumber: JT Black, 2007: 185.

Gambar 2. Cetak plastik proses ekstrusi

Keuntungan dan Kelemahan Plastik

Ada beberapa keuntungan dan kelemahan penggunaan komponen dengan bahan baku plastik.

Beberapa keuntungan penggunaan komponen dengan bahan baku plastik adalah:

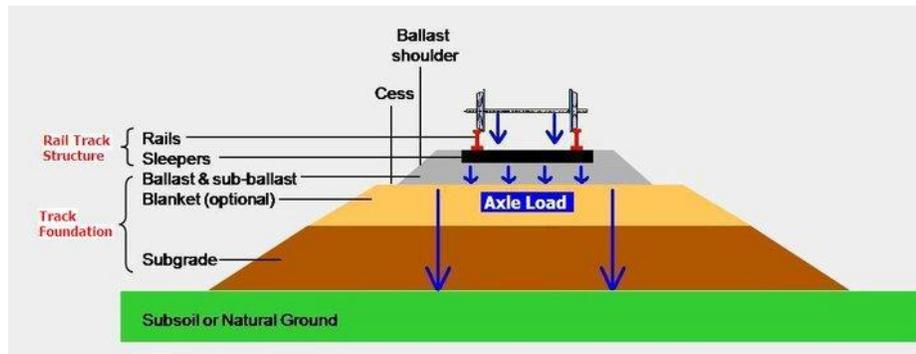
- Jenis plastik sangat beragam jadi mudah didapat serta memiliki harga relatif lebih murah.
- Plastik bersifat tahan lama (awet) dalam berbagai situasi sehingga dapat disimpan dan bertahan dalam waktu yang lama.
- Untuk menghindari semakin banyaknya sampah plastik yang tidak dapat terurai, maka diwujudkan dengan memanfaatkan gelas plastik yang sudah tidak terpakai agar gelas plastik sampah menjadi bahan yang lebih berguna.

Beberapa kelemahan bahan plastik yaitu tahan terhadap panas, sehingga untuk pembuatan busana bahan plastik tidak memerlukan penyetricaan atau pengepresan, sesuai sifat plastik yaitu memiliki daya penghantar panas yang sangat rendah. Jadi

sebisa mungkin jauhkan dari segala sesuatu yang memerlukan panas karena dapat meleleh.

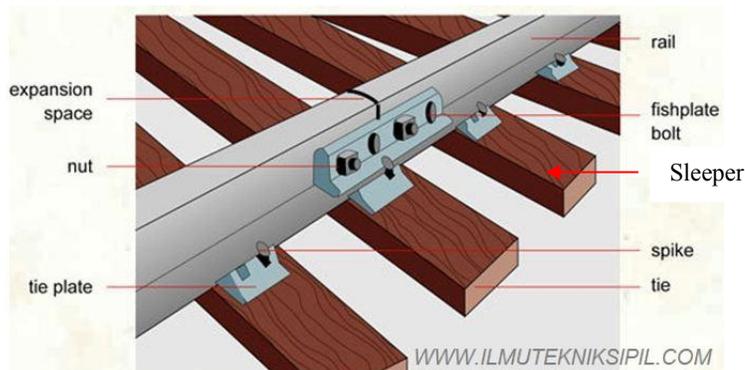
Bantalan Rel Kereta Api

Bagian lapisan landasan sebagai pondasi jalan rel kereta api (KA) selesai dibangun, tahap berikutnya adalah memasang trek rel KA. Perlu diketahui bahwa pada setiap komponen mempengaruhi kualitas rel KA itu sendiri. Gambar 4 menjelaskan tentang skema konstruksi jalan rel KA beserta komponen-komponennya.



Sumber: <http://www.forumku.com/showthread.php?t=25604>.

Gambar 3. Bagian-bagian penumpu Rel Kereta Api



Sumber: www.ilmuteknik.com.

Gambar 4. Bagian-bagian Rel Kereta Api

Bantalan rel KA (*sleepers*) dipasang sebagai landasan dimana batang rel KA diletakkan dan ditambatkan. Bantalan rel KA berfungsi sebagai:

- a. Meletakkan dan menambat batang rel.

- b. Menjaga kelebaran trek (*track gauge*, adalah ukuran lebar trek rel. Indonesia memiliki *track gauge* sebesar 1067 mm) agar selalu konstan, dengan kata lain agar batang rel tidak meregang atau menyempit.
- c. Menumpu batang rel agar tidak melengkung ke bawah saat dilewati rangkaian KA.
- d. Men-*transfer axle load* yang diterima dari batang rel dan plat landas untuk disebarkan ke lapisan batu *ballast* di bawahnya. Bantalan dipasang melintang dari posisi rel pada jarak antar bantalan maksimal 60 cm

Jenis Bantalan Rel KA

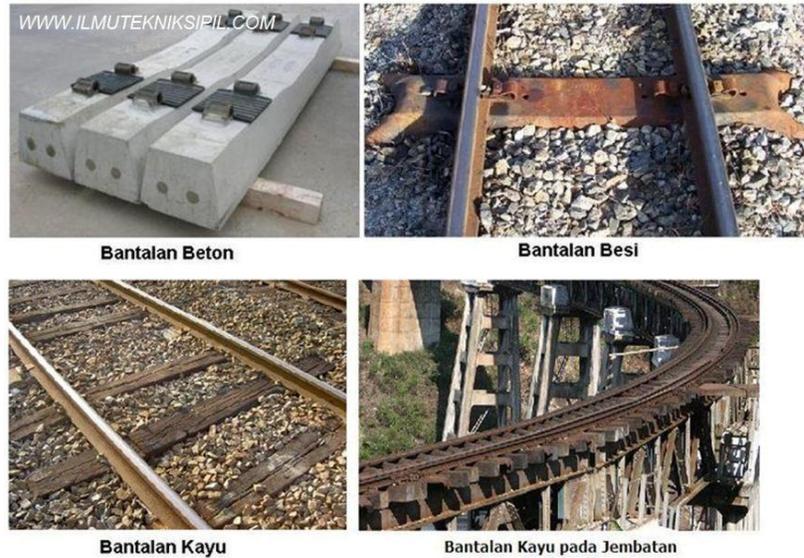
Ada tiga jenis bantalan (Gambar 5), yaitu:

1. Bantalan Kayu (*Timber Sleepers*), terbuat dari batang kayu asli maupun kayu campuran, yang dilapisi dengan *creosote* (minyak pelapis kayu) agar lebih awet dan tahan jamur.
2. Bantalan Plat Besi (*Steel Sleepers*), merupakan bantalan generasi kedua, lebih awet dari kayu. Bantalan besi tidak dipasang pada trek yang ter-eletrifikasi maupun pada trek yang menggunakan persinyalan elektrik.
3. Bantalan Beton Bertulang (*Concrete Sleepers*), merupakan bantalan modern saat ini, dan paling banyak digunakan karena lebih kuat, awet, murah, dan mampu menahan beban lebih besar daripada dua bantalan lainnya.

Usia Bantalan Rel KA

Perbandingan umur bantalan rel KA yang dipergunakan dalam keadaan normal dapat ditaksir sebagai berikut:

- a. Bantalan kayu yang tidak diawetkan: 3-15 tahun.
- b. Bantalan kayu yang diawetkan: 25-40 tahun.
- c. Bantalan besi baja: sekitar 45 tahun.
- d. Bantalan beton: diperkirakan 60 tahun.



Sumber: www.ilmuteknik.com.

Gambar 5. Bantalan Rel Kereta Api

Penelitian Terdahulu

Tabel 3. menjelaskan tentang daftar penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti.

Tabel 3. Daftar penelitian yang telah dilakukan

No.	Tahun	Peneliti	Metode	Uraian/Judul	Keterangan
1	2015	Raihan, Taufan Abadi, Irawati	<i>Descriptive Method</i>	Adanya hambatan jarak pandang antara masinis KA dan pengendara mobil. Jenis bantalan rel KA dengan bahan baku kayu, baja, dan beton	Penelitian
2	2016	Dwi Puspasari	<i>Quantitative approach</i>	Bantalan rel KA dengan bahan baku beton memenuhi spesifikasi AREMA tanpa terdapat keretakan structural dan beban pengujian sebesar 569,601 kN	Skripsi

METODE PENELITIAN

Analisis yang dilakukan dengan menggunakan metode pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 6.

HASIL DAN PEMBAHASAN

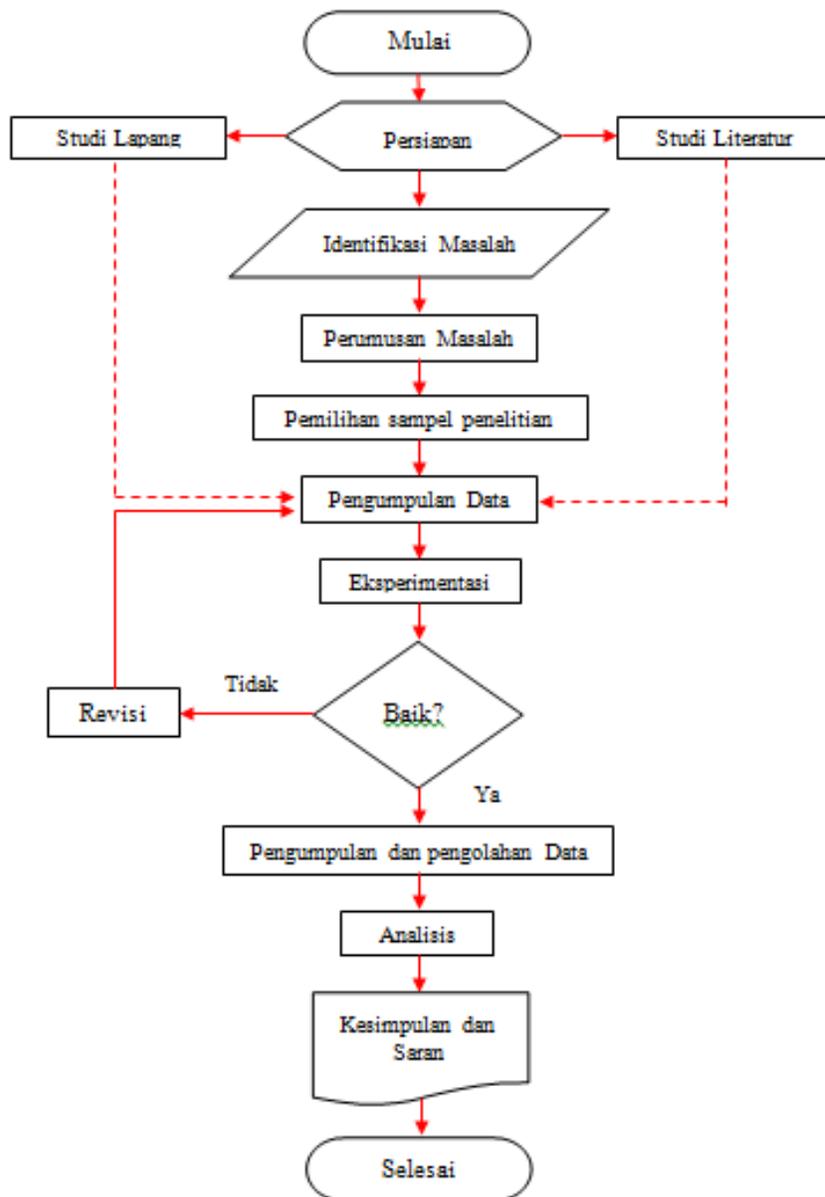
Beberapa tahapan yang dilakukan pada penelitian ini.

Tahapan Pembuatan Bantalan Rel KA

1. Pengumpulan bahan baku limbah plastik

Bahan baku yang digunakan adalah campuran dari HDPE, LDPE, PP, PS, dan PVC yang di pasaran dikenal dengan tutup botol plastik, tas “kresek,” mainan plastik, gelas plastik yang dipotong-potong kemudian dicampur dan diproses pada mesin granular atau agregat.

2. Bahan baku dicetak pada pencetak plastik ekstrusi dan dihasilkan bantalan rel KA dengan bahan limbah plastik. Di bagian tengah dari bantalan rel KA plastik diberi besi bertulang. Lakukan uji laboratorium pada bantalan KA.



Gambar 6. Diagram alir kegiatan penelitian



Gambar 7. Limbah plastik yang sudah dipilah-pilah



Gambar 8. Bantalan rel KA limbah plastik



Gambar 9. Bantalan rel KA limbah plastik



Gambar 10. Uji coba bantalan rel KA limbah plastik

Pendekatan Kualitatif

Hasil uji coba pada rel KA di emplasemen Stasiun Kota Malang spoor 3 diperoleh kesimpulan sbb.:

1. Tidak diketemukan keretakan
2. Tidak diketemukan kembang susut
3. Tidak menyerap air
4. Tidak berserat
5. Mempunyai daya lentur yang baik.
6. Kondisi hujan maupun panas.

Tabel 3 Laporan Pengujian (PT Sucofindo)

NO	TEST ITEM	TEST RESULT	METHOD
1	Flexural test	16.33 Mpa	ASTM D790
2	Torsion test - Dimension Length : 50 mm Diameter : 7.58 mm	45 CN.m	ASTM E143
3	Tensile strength	0.5041 N/mm ²	ASTM D638
4	Nail-Head Pull-Through Test	-	ASTM D 1037
	Nail size Ø 4.95 mm with depth 26.88 mm	93.42 Kgf	
	Nail size Ø 2.66 mm with depth 21.36 mm	55.97 Kgf	
	Nail size Ø 3.36 mm with depth 13.41 mm	22.82 Kgf	
	Nail size Ø 2.86 mm with depth 12.88 mm	13.42 Kgf	
5	Flame resistance	200°C (specimen melt)	IEC 695.2-1
6	Expansion test	100°C (specimen expand)	ASTM D1525
7	Shrinkage test with 110°C	0.85%	ASTM D427
8	Contamination test		
	Contamination to oil with temperature 100°C Contamination to water with temperature 100°C	No Contaminated, No happen dissolution No Contaminated, No happen dissolution	ASTM D350

Pendekatan Kuantitatif

Tabel 3 menjelaskan tentang laporan hasil pengujian. Besarnya *Flexural test* adalah 16,33 MPa dengan menggunakan ASTM D790, *Torsion test* sebesar 45 CN m dan *tensile strength* sebesar 0,5041 N/mm² dengan menggunakan ASTM E143, serta *shrinkage test* sebesar 85% pada suhu 110 °C dengan menggunakan ASTM D427.

SIMPULAN

Simpulan adalah sbb.:

1. Hasil uji coba bantalan rel limbah plastik pada rel KA di emplasemen Stasiun Kota Malang spoor 3 diperoleh kesimpulan sbb.: tidak diketemukan keretakan, tidak diketemukan kembang susut, tidak menyerap air, tidak berserat, dan mempunyai daya lentur yang baik, serta kondisi hujan maupun panas.
2. Besarnya *Flexural test* adalah 16,33 MPa dengan menggunakan ASTM D790, *Torsion test* sebesar 45 CN m dan *tensile strength* sebesar 0,5041 N/mm² dengan menggunakan ASTM E143, serta *shrinkage test* sebesar 85% pada suhu 110 °C dengan menggunakan ASTM D427 pada bantalan rel limbah plastik.

SARAN

Beberapa saran yang bisa disampaikan adalah:

Perlu melakukan penelitian bantalan rel KA dengan lapisan komposit dari bahan baku limbah plastik dan memberikan bantalan rel KA dengan pewarnaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Black, JT. (2007). *Materials and Processes in Manufacturing*. Tenth Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Bralla, James G. (2007). *Handbook of Manufacturing Processes: How Products, components and materials are made*. New York: Industrial Press, Inc.
- Creswell, J W. (2009). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Third Edition, New Delhi: Sage Publications.
- Drucker, Peter F. (1984). *Innovation and Entrepreneurship: Practice and Principles*. Claremont, California: Perfectbound.
- <http://www.forumku.com/showthread.php?t=25604>. Diakses 4 November 2017.
- <http://www.sciencema.org>, 12 Februari 2015.
- <https://hedisarawan.blogspot.co.id/2012/12/statistik-sampah-indonesia.html>. Diakses 4 November 2017.
- <https://www.ilmuteknik.com>. Diakses 4 November 2017.
- Kemp, WH. (2009). *The Renewable Energy Handbook*. Canada: Aztext Press.
- Puspasari, Dwi. (2016). *Kajian Kapasitas Lentur Dudukan Bantalan Rel Kereta Type Bt25 S35 E36*. Universitas Hasanudin. Makasar.

RANCANG BANGUN PERLENGKAPAN MESIN CNC ROUTER 3-AXIS GUNA MENDUKUNG PRODUKSI INDUSTRI KREATIF

Suharto¹, Suryanto², Sarana³, Sisworo⁴, Indriyanto⁵

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang^{1,2,4}

Jurusan Akuntansi, Politeknik Negeri Semarang³

pakharto58@gmail.com¹ suryanto_smg@yahoo.com² sarpolines@gmail.com³

ABSTRACT

Creative industry is an industry derived from the utilization of skills, creativity, and individual talents in creating prosperity and employment. Creativity rooted in the use of the Router 3-axis CNC machine for the manufacture of art products from wood, acrylic, natural stone, marble stone is expected to improve the quality and productivity. Problem this research there are not yet machine equipment. Equipment such as vacuum cleaners / chips, cooling, clamping, and closing of the machine are needed to optimize the performance of CNC Router 3-axis machine. The research method begins with a preliminary study through literature studies and field studies to determine the current machine weakness. The next phase of designing and manufacturing 3-axis router machine equipment and the last stage to test the performance of machine equipment. The results showed that the test of vacuum cleaner / power chips 380 W, 1300 r / min, flexible hose size $\phi 42 \times 2600$ able to suck dust / chip material waste of equal to 74,1%. The cooling test with dromus oil debit 0.033671 (liter / s) is able to give the best result compared to cooling with air media. Clamping job testing with clamping gives better performance than clamping with wood screws. Next testing of the machine encloser shows the result of Router 3-axis CNC machine from safety both when machine operation and are not used. Lighting illumination inside the machine encloser provides comfort during night machine operation.

Keywords: *Equipment, Router 3-axis CNC machine, Savety*

ABSTRAK

Industri kreatif merupakan industri yang berasal dari pemanfaatan keterampilan, kreatifitas, dan bakat individu dalam menciptakan kesejahteraan dan lapangan pekerjaan. Kreatifitas yang berakar dari penggunaan mesin CNC Router 3- axis untuk pembuatan produk seni dari bahan kayu, acrylic, batu alam, batu marmer diharapkan dapat meningkatkan kualitas dan produktifitas. Permasalahan ada pada perlengkapan mesin belum ada. Perlengkapan seperti penyedot debu/chip, pendinginan, penjepitan, dan tutup mesin sangat dibutuhkan untuk mengoptimalkan kinerja mesin CNC Router 3-axis. Metode penelitian dimulai dengan studi pendahuluan melalui studi literatur dan studi lapangan untuk menentukan kelemahan mesin saat ini. Tahap berikutnya melakukan perancangan dan pembuatan perlengkapan mesin router 3-axis dan tahap terakhir melakukan pengujian kinerja perlengkapan mesin. Hasil penelitian menunjukkan pengujian penyedot debu/chip daya 380 W, 1300 r/min, ukuran slang fleksibel $\phi 42 \times 2600$ mampu menghisap debu/chip material yang terbuang sebesar 74,1%. Pengujian pendingin dengan media dromus oil debit 0.033671 (liter/s) mampu memberikan hasil terbaik dibandingkan pendingin dengan media udara. Pengujian pencekaman benda kerja dengan *clamping* memberikan hasil pengerjaan lebih baik daripada penjepitan dengan skrup kayu. Pengujian tutup mesin menunjukkan hasil mesin CNC 3-axis tertutup dari keamanan baik saat pengoperasian mesin maupun tidak digunakan. Pemberian lampu penerangan di dalam tutup mesin memberikan kenyamanan saat pengoperasian mesin di malam hari.

Kata kunci: *Perlengkapan, Mesin CNC Router 3-axis, Keamanan*

PENDAHULUAN

Perkembangan ipteks yang semakin pesat mendorong manusia untuk berfikir kreatif dalam melakukan inovasi. Produk-produk kreatif yang dibuat dengan cara manual

dapat diupayakan dengan mesin agar dapat meningkatkan kualitas dan produktifitas. Mesin CNC Router 3-axis dapat menghasilkan karya inovasi dalam pembuatan cap batik. (Suryanto,dkk. 2015). Industri kreatif memiliki pengertian yaitu industri yang berasal dari pemanfaatan keterampilan, kreatifitas, dan bakat individu dalam menciptakan kesejahteraan dan lapangan pekerjaan. Industri ini akan berfokus untuk memperdayakan daya cipta dan daya kreasi suatu individu. (*Departemen Perdagangan RI :2009*). Hal yang paling mendasar dari perkembangan ipteks adalah penggunaan teknologi CNC (*computer numerical control*) pada mesin-mesin produksi pada industri kreatif.

Mesin CNC router 3-Axis merupakan suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (perintah gerakan dengan menggunakan huruf dan angka). Kegunaan mesin CNC ini sama seperti pada mesin frais konvensional pada umumnya tetapi gerakan mesin dapat dikendalikan melalui suatu program komputer. (Salam, A. Rohman. 2013) (Kristianto,2006) (Nanda Afrilyan,2015). Mesin CNC Router 3-axis hasil kegiatan program Hi-Link dikembangkan untuk meningkatkan kualitas cap batik dengan biaya murah melalui inovasi bahan-bahan alternatif seperti aluminium, kayu, acrylic (Suharto,dkk. 2016).



Frame	: Steel, finishing with Powder Coating
Machine Dimensi	: 1540 x 1005 x 1500 mm
Working area / Travel	: 600 x 400 x 150 mm
Spindle Motor	: 3 kW, 18000 rpm, Aircooled
Axis Drive	: Stepper Motor (X :8.7 Nm, Y :8.7 Nm, Z :7.7 Nm)
Resolution	: 0.01 mm
Tool holder	: Collet ER20, max tool diameter 13 mm
Power	: AC 220V /50Hz, 3.5 kW
Komputer	: Dualcore, 2GB RAM, 15" Touchscreen LCD Monitor
Software	: Mach3 CNC control (www.machsupport.com)

Gambar 1. Mesin CNC Router 3-axis sebelum pengembangan

Permasalahan dalam penelitian ini adalah kondisi mesin CNC *router 3-Axis* saat ini (1) *collant* atau pendingin yang digunakan adalah pendinginan udara akibatnya *cutting tools* cepat panas sehingga *cutting tool* berumur pendek; (2) *dust collector* atau penyedot debu atau chip material yang dibuang akibat proses pemesinan belum disediakan

sehingga debu/chip bertebaran disekitar *cutting tools* dan di sekitar mesin menjadi kotor berdebu; (3) penjepit atau pencekam benda kerja saat proses pemesinan digunakan landasan sebidang kayu dengan pengikat skrup sehingga penjepitan tidak kuat dan mudah bergeser akibatnya terjadi ketidakteelitian bahkan rusaknya produk yang dihasilkan maupun rusaknya *cutting tools*; (4) *Encloser* atau penutup mesin belum ada sehingga tingkat keamanan dan keselamatan operator yang dirasa kurang karena bentuk mesin yang terbuka tanpa adanya penutup.

Tujuan penelitian ini adalah untuk rancang bangun perlengkapan Mesin CNC Router 3-axis meliputi sistem pendingin (*collant*), penyedot debu/chip (*dust collector*), modifikasi meja mesin T-slot dengan klem penjepit, dan tutup mesin (*encloser*) untuk memberikan keamanan baik bagi operator, komponen elektronik, dan produk yang dibuat.

METODE PENELITIAN

Pelaksanaan Rancang Bangun Perlengkapan Mesin Cnc Router 3-Axis guna Mendukung Produksi Industri Kreatif terdiri dari perancangan, pembuatan dan pengujian.

1. Perancangan, kegiatannya merancang tutup mesin (*enclosure*), sistem pendinginan (*coolant*), sistem penyedot debu (*dust collector*), dan sistem pencekaman (*clamping*) yang dapat menjawab permasalahan dan memberikan inovasi yang menyangkut nilai ekonomi dan ergonomi. Dengan mengemukakan alternatif desain, menentukan desain yang dipilih, dan menentukan dimensi dari desain yang akan dibuat.
2. Pembuatan, proses membuat tutup mesin (*enclosure*), sistem pendinginan, sistem penyedot debu (*dust collector*), dan sistem pencekaman sesuai dengan alternatif rancangan yang telah dipilih. Pembuatan mengacu pada gambar kerja komponen berdasarkan alternatif desain yang telah dipilih. Komponen standar diadakan melalui proses pembelian sesuai kebutuhan rancangan terpilih.
3. Pengujian; kegiatannya uji fungsi dan kinerja tutup mesin (*enclosure*), *coolant* atau sistem pendinginan, sistem penyedot debu (*dust collector*), dan *clamping*.
4. Iterasi; proses perbaikan pada langkah-langkah mundur untuk menghasilkan terbaik.

Lokasi, Waktu, Bahan, dan Peralatan

Tempat pelaksanaan perancangan, pembuatan, dan pengujian fungsi dan kinerja dilakukan di Politeknik Negeri Semarang dan di CV. Retro Kreasi Machinery Semarang. Waktu pelaksanaan kegiatan berlangsung mulai bulan April sd Agustus 2017. Bahan yang digunakan antara lain Pipa persegi 20 x 20 x 1 (mm), pelat baja tebal 1.5 (mm); bahan acrylic. Peralatan yang digunakan antara lain mesin bubut, mesin las, kerja bangku, cat oven, dan gerinda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Tutup Mesin (*Enclosure*)

Rancang bangun *Encloser* atau penutup mesin dilakukan dengan mengukur panjang, lebar, dan tinggi mesin CNC router bagian atas dengan memberikan ruang bebas untuk keperluan pengoperasian dan reparasi yang aman. Ukuran mesin awalnya 1540 x 1005 x 1500 (mm) menjadi 2200 x 2200 x 1600 (mm). Pemberian lampu LED di dalam ruang kerja menjadi terang karena ada cahaya dari lampu LED yang dipasang pada bagian atas. Bagian penyedot debu (*dust collector*) dan pendingin (*coolant*) disediakan lubang pada tutup mesin bagian bawah sehingga slang penyedot debu dan pendingin tertata dengan rapi dan aman. Dari beberapa desain 1, desain 2, dan desain 3 dipilih desain terbaik menurut pertimbangan praktisi dan akademisi melalui diskusi kelompok terfokus. Gambar: 2 ditunjukkan desain terpilih dan realisasinya, berikut ini.



(b) desain



(a) Hasil pembuatan

Gambar 2. Mesin CNC Router setelah Pengembangan

Tutup mesin didesain sedemikian rupa dengan fungsi untuk menambah tingkat keamanan kenyamanan bagi operator, keamanan terhadap benda kerja serta menjaga cipratan air *coolant* agar tidak keluar dari lingkup kerja mesin. Dengan *enclosure* atau tutup mesin ini juga memberikan jaminan kabel dan komponen elektronik aman terhadap gangguan luar, *Machine dimension* 2200 x 2200 x 1600 (mm).

Desain *enclosure* atau tutup mesin ini menggunakan sistem *knockdown* yang memungkinkan tutup mesin dari bahan acrylic ini mudah untuk di lepas ketika melakukan perawatan dan perbaikan secara berkala. *Enclosure* ini terbagi menjadi empat bagian yakni bagian depan, bagian belakang, bagian samping kanan, dan samping kiri dimana masing-masing bagian ini dapat dilepas sesuai kebutuhan. Pintu mesin terbuat dari akrilik bening yang dikombinasikan dengan frame besi dimana sistem buka tutupnya menggunakan engsel yang dipasang di atas pintu dan didukung menggunakan dua gas spring 1000 (newton) untuk meringankan membuka dan menutup pintu itu sendiri, hal ini memberikan fungsi pintu yang dapat mengunci saat ditutup meski tanpa menggunakan pengunci seperti halnya pintu bagasi mobil.

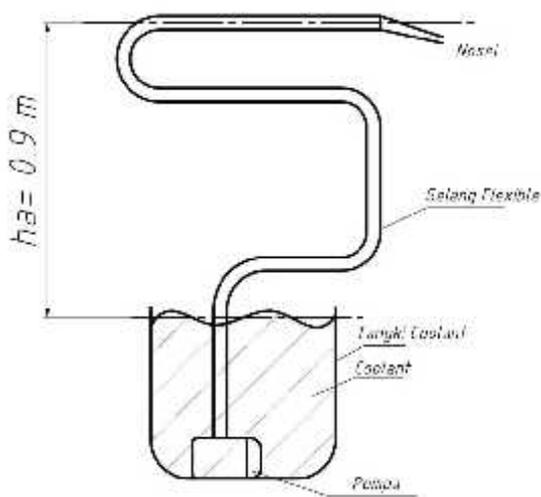
Keunggulan *enclosure* ini (1) menggunakan sistem *knockdown* yang memudahkan dalam melakukan *maintenance* berkala ; (2) Gaya yang digunakan untuk membuka pintu yang cukup kecil karena terdapat 2 (dua) gas spring kiri dan kanan; (3) Ruang mesin yang cukup lebar, memudahkan dalam memasang benda kerja; (4) Memiliki desain bentuk dan finishing *powder coating* yang menjual dengan estetika lebih baik; (5) Lampu LED dipasang untuk menerangi bagian dalam yang dilengkapi dengan sakelar on/off; (6) mencegah debu/chip material yang dibuang saat pemesinan keluar dari encloser sehingga sekitar mesin tidak kotor. Hal ini membuat hasil rancang bangun lebih baik dari kondisi mesin sebelumnya. (Suharto,dkk:2016)

2. Sistem pendinginan (*coolant*)

Sistem pendinginan (*coolant*) menggunakan jenis cairan yakni cairan *dromus l* (*semisynthetic fluids*) untuk beberapa alasan, antara lain : untuk memperpanjang umur pahat, mengurangi deformasi benda kerja karena panas, meningkatkan kualitas permukaan hasil pemesinan, dan membersihkan beram dari permukaan potong. Cairan pendingin yang digunakan dapat dikategorikan dalam empat jenis: *Straight Oils*

(Minyak murni); *Soluble Oils*; *Semisynthetic fluids* (Cairan semi sintetis); *Synthetic fluids* (Cairan sintetis)

Cara Pemberian cairan pendingin pada proses pemesinan Disemprotkan (*Jet Application of Fluid*), pada proses pendinginan dengan cara ini cairan pendingin disemprotkan langsung ke daerah pemotongan (pertemuan antara pahat dan benda kerja yang terpotong). Sistem pendinginan benda kerja adalah dengan cara menampung cairan pendingin dalam suatu tangki yang dilengkapi dengan pompa yang dilengkapi filter pada pipa penyedotnya. Pipa keluar pompa disalurkan melalui pipa/selang yang berakhir di beberapa selang keluaran yang fleksibel (Gambar 3). Cairan pendingin yang sudah digunakan disaring dengan filter pada meja mesin kemudian dialirkan ke tangki *coolant* penampung.



(a) Instalasi pendingin



(b) Nozel pendingin

Gambar 3. Sistem Pendingin (*Coolant*)

Pengaruh cairan pendingin pada proses pemesinan Cairan pendinginan pada proses pemesinan memiliki beberapa fungsi yaitu fungsi utama dan fungsi kedua. Fungsi utama yaitu fungsi yang dikehendaki oleh perencana proses pemesinan dan operator mesin perkakas. Fungsi kedua yaitu fungsi tak langsung yang menguntungkan dengan adanya penerapan cairan pendingin tersebut. Fungsi cairan pendingin tersebut adalah :

- a) Fungsi utama dari cairan pendingin pada proses pemesinan adalah :
 - Melumasi proses pemotongan khususnya pada kecepatan potong rendah

- Mendinginkan benda kerja khususnya pada kecepatan potong tinggi
- Membuang beram dari daerah pemotongan

b) Fungsi kedua cairan pendingin adalah :

- Melindungi permukaan yang disayat dari korosi
- Memudahkan pengambilan benda kerja, karena bagian yang panas telah didinginkan

Penerapan cairan pendingin pada proses pemesinan ternyata memberikan efek bagi proses pemesinan yaitu terhadap pahat dan benda kerja yang sedang dikerjakan.

Pengaruh proses pemesinan menggunakan cairan pendingin yaitu :

- Memperpanjang umur pahat
- Mengurangi deformasi benda kerja karena panas
- Permukaan benda kerja menjadi lebih baik (halus) paa beberapa penerapannya
- Mengurangi penanganan beram

Jadi berdasarkan praktikum pengukuran debit aliran *coolant* yang mampu memberikan fungsi pendinginan baik telah dilakukan seperti tabel 1. Besarnya didapat debit yang terukur adalah 0.03367 [l/s]. Dikonversikan menjadi 0.000034 [m³/s] = 0.00204 [m³/min].

Tabel 1. Hasil Pengukuran Debit Aliran *Coolant*

Volume Gelas Ukur [liter]	Waktu [detik]	Debit [l/s]	Debit Rata-rata [l/s]
1.00833	30	0.03361	
1.01167	30	0.03372	0.03367
1.010	30	0.03367	

Cairan pendingin akan menurun kualitasnya sesuai dengan lamanya waktu pemakaian yang diakibatkan oleh pertumbuhan bakteri, kontaminasi dengan minyak pelumas yang lain, dan partikel kecil logam hasil proses pemesinan. Apabila perawatan rutin sudah tidak ekonomis lagi maka sebaiknya dibuang. Sistem pendinginan dengan cairan (*fluids*) memberikan hasil pendinginan lebih baik dibandingkan pendinginan udara sehingga lebih baik dari kondisi mesin sebelumnya. (Suharto, dkk:2016)

3. Sistem penyedot debu (*dust collector*)

Dust collector , penyedot debu atau chip hasil pemotongan pada proses pemesinan sangat diperlukan agar bersih lingkungan kerja dan meningkatkan kualitas pemotongan. Hasil uji kinerja sistem penyedot debu ini lebih baik dari kondisi mesin sebelumnya.



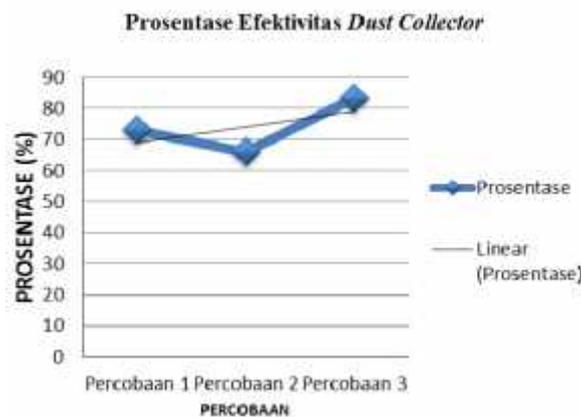
Gambar 4. *Dust Collector* Mesin CNC Router

Data *dust collector*:

- Spesifikasi Blower : 380 W, 1300 r/min
- Selang *Dust Collector* : 2600 mm, ø42 mm, Fleksibel
- Tangki *Dust Collector* : 60 liter

Tabel 2. Hasil pengujian *dust collector*

Percob	Massa Awal (G1) (gram)	Massa Akhir (G2) (gram)	G (G1-G2)	Massa yang Terhisap	Prosentase efektifitas
1	500,33	485,44	14,89	10,87	73 %
2	428,34	402,86	25,48	16,81	66 %
3	474,52	461,25	13,27	11,07	83,4 %



Gambar 5. Prosentase Efektivitas *Dust Collector*

4. Sistem penjepitan (*Clamping*)

Besarnya torsi yang terjadi pada saat pemotongan dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan torsi pada clamping, dimana pemberian torsi pada clamping harus lebih besar dari torsi yang terjadi pada pemotongan.

Perhitungan Torsi Pemotongan: $F = T_g \times A \times g$ (Sularso, 1987)

Jadi torsi yang terjadi pada saat pemotongan sebesar 2,329 [Nm].

Pengukuran Torsi pada Klem, dalam hal ini diambil momen dari skala kunci momen sebesar 25 [kg.cm] = 0,25 [kg.m]
 $= 0,25 \text{ [kg.m]} \times 9,81 \text{ [m/s}^2]$
 $= 2.452 \text{ [Nm]}$



Gambar 6. Pencekaman Benda Kerja

Dimana torsi yang diberikan baut lebih besar dari torsi pemotongan, dengan demikian maka torsi sebesar 25 [kg.cm] pada setiap baut klem telah mampu menahan benda kerja agar tidak bergerak pada saat proses pemesinan. Hasil ini menyimpulkan bahwa penjepitannya lebih kuat dan aman dibandingkan kondisi mesin sebelumnya. (Suharto,dkk:2016)

SIMPULAN

Berdasarkan data rancang bangun perlengkapan mesin CNC Router 3-axis maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berhasil merancang dan membuat *encloser* (tutup mesin) *Machine dimension* 2200 x 2200 x 1600 (mm), *Working area / Travel* 600 x 400 x 150 (mm) yang mampu digunakan untuk melindungi mesin saat dioperasikan
2. Terwujudnya sistem pendinginan (*coolant*) dengan pompa air 40 W , H Max 2000 mm, Q Max 2000 l/h, debit rata-rata 0,03367 [l/s] mampu mendinginkan cutting tools selama proses pemesinan.

3. Selesai rancang bangun sistem penyedot debu (*dust collector*) Spesifikasi Blower 380 [W], 1300 [r/min]; Selang panjang 2600 [mm], ϕ 42 [mm], Fleksibel, volume tangki penampung debu/chip 60 [liter]
4. Berhasilnya merancang dan membuat sistem penjepitan (*clamping*) pada meja mesin ukuran 600 x 400 [mm] dengan gaya penjepitan lebih besar dari gaya pemotongan.

SARAN

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan mengembangkan aplikasi Mesin CNC router untuk pembuatan produk kreatif seperti bahan- bahan kaca, acrylic, batu alam, marmer untuk meningkatkan produktifitas, efektifitas, dan efisiensi.

Ucapan Terimakasih

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada yang terhormat DRPM Kemenristekdikti, Direktur Politeknik Negeri Semarang (Polines), Kepala P3M Polines, Tim Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, CV Retro Kreasi Machinery Semarang, atas kerjasamanya sehingga program ini bisa berjalan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Nanda Afrilyan. 2015. *Pemodelan Mesin CNC Engraving Untuk Pembuatan PCB. Fakultas Teknik Program Studi S-1 Teknik Mesin*. Universitas Diponegoro. Skripsi.
- Salam, A. Rohman. 2013, *Proses Pembuatan Part RIB AT STN WFX 365.514 Komponen dari Sayap Pesawat Airbus A380*, Laporan Kerja Praktek, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Suharto, Suryanto, Sarana. 2016. *Pengembangan Rancang Bangun Canting Batik Cap Berkualitas Biaya Murah*. Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Semarang, 15 – 16 Oktober 2016, PROSIDING Vol. 01, Tahun 2016. ISSN: 2477 – 2097. pp.344-352
- Sularso, Haruo Tahara. 1987. *Pompa dan Kompresor*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Suryanto, Suharto, VS Tri Priyo, Sarana, Iwan Hermawan, & Agus Suwondo. 2015. *Pembuatan Canting Batik Cap (CBC) Menggunakan Mesin CNC Router Berbasis Software Mastercam*. Science And Engineering National Seminar 1 (SENS 1) UPGRIS - Semarang, 8 Agustus 2015. Prosiding ISBN : 978-602-0960-12-8. pp.95-100.
- 2009. *Studi Industri Kreatif Indonesia (2009-2025)*. Departemen Perdagangan Republik Indonesia. Depdag RI.

**PENGUJIAN AWAL PROTOTIPE MESIN PENDINGIN ADSORPSI
INTERMITTENT ENERGI SURYA**

Nyoman Sugiarta¹⁾ dan I Made Sugina¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali
E-mail: nyoman.sugiarta@yahoo.co.uk

Abstract

Adsorption cooling machines require thermal energy to produce cooling effect. The thermal energy may come from renewable energy resources, such as solar radiation with abundant availability. Adsorption cooling system is an alternative cooling technology, which having very low demand on electrical energy. Vapour compression cooling systems consume huge electrical energy, thus development of the adsorption cooling system is necessary in an attempt of energy savings. This paper discusses preliminary experimental testing of a solar intermittent adsorption cooling machine to characterise system's pressure and temperature changes during adsorption cycle. The testing is also focused on investigating minimum temperatures of evaporator and water under no load and water load of 1 kg conditions. The adsorption cooling machine employs granular activated carbon-ethanol as working pair and halogen lamps of 2 x 500 watt as heat source to simulate solar energy. The test results show that adsorber temperature and pressure peak at 98.3 °C and -63 cmHg and 100.2 °C and -62.5 cmHg for no cooling load and water load of 1 kg, respectively. Accordingly, evaporator temperature and pressure reached the lowest at 15.3 °C and -73 cmHg and at 20.1 °C of water temperature and -72.5 cmHg for respective load conditions.

Keywords: *adsorption cooling machine, intermittent, testing, indoor, activated carbon-ethanol*

Abstrak

Mesin pendingin adsorpsi membutuhkan energi termal untuk menghasilkan efek pendinginan. Sumber energi termal dapat berasal dari energi terbarukan berupa radiasi matahari yang tersedia melimpah. Sistem pendingin adsorpsi adalah salah satu alternatif teknologi pendingin dengan konsumsi energi listrik yang sangat kecil. Tingginya konsumsi energi listrik pada mesin pendingin konvensional dengan siklus kompresi uap mendorong upaya pengembangan mesin pendingin adsorpsi dalam rangka penghematan energi. Makalah ini membahas tentang pengujian eksperimental awal pada prototipe mesin pendingin adsorpsi *intermittent* energi surya yang dimaksudkan untuk

mengetahui karakteristik perubahan temperatur dan tekanan selama siklus adsorpsi berlangsung. Pengujian ini juga dititikberatkan untuk mengetahui temperatur terendah yang mampu dicapai oleh evaporator untuk kondisi tanpa beban pendinginan dan dengan beban air 1 kg. Mesin pendingin menggunakan karbon aktif granular dan etanol sebagai pasangan kerja dan lampu halogen 2 x 500 watt sebagai simulator sumber panas energi surya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa temperatur dan tekanan maksimum adsorber mencapai 98.3 °C dan -63 cmHg serta 100.2 °C dan -62.5 cmHg, masing-masing untuk kondisi tanpa beban dan dengan beban air. Temperatur dan tekanan evaporator terendah mencapai 15.3 °C dan -73 cmHg untuk kondisi tanpa beban air. Sedangkan untuk kondisi dengan beban air 1 kg temperatur air dan tekanan evaporator terendah mencapai 20.1 °C dan -72.5 cmHg.

Kata Kunci: mesin pendingin adsorpsi, intermitten, pengujian, indoor, karbon aktif-etanol

PENDAHULUAN

Dorongan untuk memanfaatkan sumber-sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan dan murah sebagai pengganti energi fosil tidak dapat dihindarkan saat ini, terlebih untuk aplikasi pengkondisian udara dan refrigerasi. Salah satu yang menjadi perhatian adalah energi matahari. Bagi daerah yang beriklim tropis, ketersediaan energi radiasi matahari begitu melimpah sepanjang tahun. Di sisi lain, ketersediaan energi radiasi matahari ternyata bersamaan dengan waktu beban pendinginan puncak sistem pendingin yaitu pada pada siang hari (Fernandes *et al.*, 2014).

Berdasarkan data DEN (2016) potensi energi matahari di Indonesia cukup tinggi dengan intensitas radiasi rata-rata sekitar 4.8 kWh/m² per hari. Sedangkan untuk sebagian besar wilayah Bali intensitas radiasi matahari sebesar 6-6.5 kWh/m² per hari dengan lama penyinaran matahari selama 7-8 jam per harinya (Matias, 2011). Dengan demikian energi matahari memungkinkan untuk dieksploitasi baik untuk keperluan konversi energi termal maupun pembangkitan energi listrik.

Sistem pendingin adsorpsi adalah salah satu alternatif teknologi pendingin yang dapat memanfaatkan energi termal dari radiasi matahari maupun energi sisa hasil suatu proses. Meskipun performansinya jauh lebih rendah dibandingkan dengan sistem pendingin kompresi uap namun memiliki penghematan energi primer lebih tinggi karena sistem adsorpsi hanya diaplikasikan untuk memanfaatkan energi sisa. Di samping itu sistem kontrol yang sederhana, tidak ada komponen yang bergerak, tidak ada getaran dan

penggunaan refrigeran yang tidak polutif adalah beberapa kelebihanannya (Wang *et al.*, 2006).

Amonia, air, metanol dan etanol adalah refrigeran ramah lingkungan yang umum dipakai pada sistem pendingin adsorpsi. Etanol tidak bersifat korosif dibandingkan amonia, tidak beracun dan resiko mudah terbakar lebih rendah dibandingkan dengan metanol (Alghoul *et al.*, 2007). Sedangkan zat penyerap atau adsorben adalah karbon aktif, silika gel dan zeolit. Pemilihan pasangan adsorben-refrigeran tergantung pada aplikasinya yaitu untuk pengkondisian udara, penyimpanan bahan makanan atau obat-obatan maupun untuk pembuatan es. Attan *et al.* (2011) menjelaskan bahwa adsorben karbon aktif fiber memberikan waktu desorpsi/adsorpsi yang lebih cepat dan kapasitas adsorpsi lebih besar per kg adsorben dibandingkan dengan adsorben yang lain.

Beberapa peneliti sudah melakukan pengujian sistem pendingin adsorpsi menggunakan pasangan adsorben berbasis karbon aktif untuk aplikasi penyimpanan makanan dan pembuatan es. Telto dan Critoph (1997) menggunakan pasangan karbon aktif-ammonia dan hasil pengujian prototipe menunjukkan bahwa temperatur evaporator terendah $-18.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ mampu dicapai pada temperatur desorpsi $108.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Li *et al.* (2004) menguji eksperimental untuk membandingkan performansi antara karbon aktif-metanol dan karbon-aktif-etanol. Diperoleh bahwa pasangan karbon aktif-metanol mampu menghasilkan es sedangkan karbon aktif-etanol hanya mampu mencapai temperatur air $2-4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

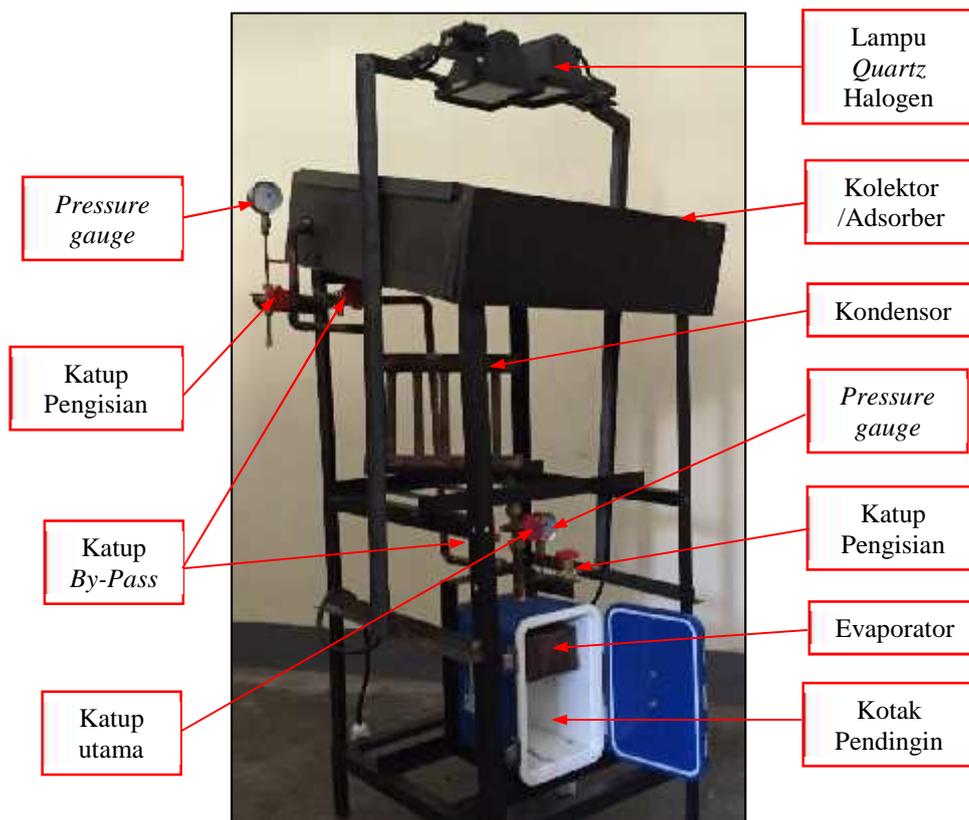
Makalah ini membahas tentang uji eksperimental pendahuluan pada sebuah prototipe mesin pendingin adsorpsi *intermittent* energi surya yang menggunakan karbon aktif-etanol sebagai pasangan kerja. Pengujian dilakukan di dalam ruangan sebelum diaplikasikan di ruang terbuka dengan tujuan untuk mengetahui apakah sistem pendingin adsorpsi dapat bekerja dengan baik. Pengujian dikondisikan untuk operasi tanpa beban pendinginan dan dengan beban air 1 kg. Karakteristik perubahan temperatur dan tekanan pada sistem diidentifikasi selama proses desorpsi-kondensasi dan evaporasi-adsorpsi berlangsung. Pengujian juga dititikberatkan untuk mengetahui temperatur terendah yang mampu dicapai oleh evaporator.

METODE PENELITIAN

Alat Uji

Konstruksi prototipe mesin pendingin adsorpsi *intermittent* energi surya ditunjukkan pada Gambar 1. Prototipe dilengkapi dengan lampu *quartz* halogen sebagai sumber energi panas dan simulator energi radiasi matahari untuk pengujian kinerja di dalam ruangan. Terdapat 4 (empat) komponen utama yaitu kolektor/adsorber, kondensator, evaporator dan kotak pendingin. Pasangan adsorben-refrigeran adalah karbon aktif-etanol.

Kotak kolektor surya dengan adsorber di dalamnya berfungsi sebagai medium transfer kalor dari radiasi matahari ke adsorber berdasarkan prinsip efek rumah kaca. Adsorber memiliki fungsi yang sama dengan kompresor pada sistem kompresi uap dimana sirkulasi refrigeran berdasarkan proses desorpsi dan adsorpsi antara karbon aktif dan etanol.



Gambar 1. Prototipe mesin pendingin adsorpsi *intermittent* energi surya

Proses desorpsi merupakan pelepasan etanol dari karbon aktif di dalam adsorber dengan cara pemanasan. Uap etanol dari adsorber mengalir ke kondensator dan mengalami kondensasi, selanjutnya etanol cair dari kondensator mengalir menuju evaporator. Sedangkan proses adsorpsi adalah diserapnya etanol kembali ke adsorber yang berasal

dari dari penguapan etanol di evaporator. Efek pendingin terjadi pada evaporator dengan menyerap kalor dari media yang didinginkan, dalam hal ini udara di dalam kotak pendingin atau air.

Adsorber terdiri dari susunan pipa di dalam pipa yang terbuat dari tembaga dengan ukuran pipa luar OD 41.3 mm dan pipa dalam OD 19.05 mm. Pipa dalam dibuat berpori berdiameter 2 mm di 4 (empat) kwadran penampang sepanjang longitudinal pipa dan dibungkus dengan *wire mesh* ukuran 1 mm. Kedua pipa disusun konsentrik dengan karbon aktif berada di antara pipa luar dan pipa dalam. Panjang pipa adsorber adalah 0.42 m berjumlah 10 buah disusun vertikal yang dihubungkan dengan sebuah pipa *header* OD 41.3 mm pada salah satu ujungnya.

Kotak kolektor terbuat dari pelat baja karbon tebal 1.5 mm, berukuran 0.55 m x 0.55 m x 0.175 m dan diisolasi dengan *polyurethane* setebal 0.04 m di keliling samping dan 0.06 m di bagian bawah. Seluruh permukaan kolektor/adsorber dicat hitam untuk meningkatkan absorptansi adsorber terhadap radiasi sinar matahari. Kemiringan kolektor adalah 9° menghadap ke utara sesuai dengan posisi lintang di Pulau Bali.

Kondensor menggunakan pipa tembaga OD 19.05 mm disusun vertikal berjumlah 5 buah, panjang masing-masing 0.175 m dan 2 buah pipa header horisontal OD 41.3 mm, panjang 0.32 m. Luas permukaan perpindahan panas sebesar 0.135 m^2 . Pendinginan kondensor menggunakan hembusan udara alami.

Evaporator berbentuk kotak dengan penampang beralur trapesium terbuat dari pelat tembaga tebal 1.5 mm. Luas permukaan perpindahan panas 0.115 m^2 . Wadah penampung untuk beban air di bagian bawah evaporator kapasitas 2 liter. Kotak pendingin menggunakan kontainer pendingin minuman berkapasitas 12 liter dengan dimensi 0.275 m x 0.205 m x 0.175 m.

Pengujian di Dalam Ruangan

Langkah-langkah dalam pengujian awal kinerja prototipe mesin pendingin adsorpsi *intermittent* energi surya di dalam ruangan meliputi:

a) Persiapan

Setelah proses integrasi atau perakitan komponen dan sistem bebas dari kebocoran maka dilakukan proses *degassing* yaitu penghilangan gas-gas yang terikat pada karbon

aktif selama proses pembuatan yaitu dengan memanaskan adsorber pada temperatur 150-200 °C sambil dilakukan pemvakuman selama 3 jam. Pemanasan dilakukan menggunakan lampu *quartz* halogen. Tekanan di adsorber dan evaporator diamati agar tercapai tekanan vakum -76 cmHg. Selanjutnya pengisian etanol dilakukan ke dalam sistem melalui pentil pipa saluran pemvakuman dan diamati keseimbangan akhir tekanan sistem. Jumlah volume etanol yang diisikan sebesar 320 ml.

b) Pengujian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Kontrol, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali. Sensor termokopel dipasang pada masing-masing komponen utama sebagai berikut: adsorber (3 buah, yaitu di permukaan pipa di ruas bagian kiri, tengah dan kanan), kondensor (2 buah, yaitu di bagian masukan dan keluaran) dan evaporator (3 buah, yaitu di bagian masukan, permukaan bawah dan air).

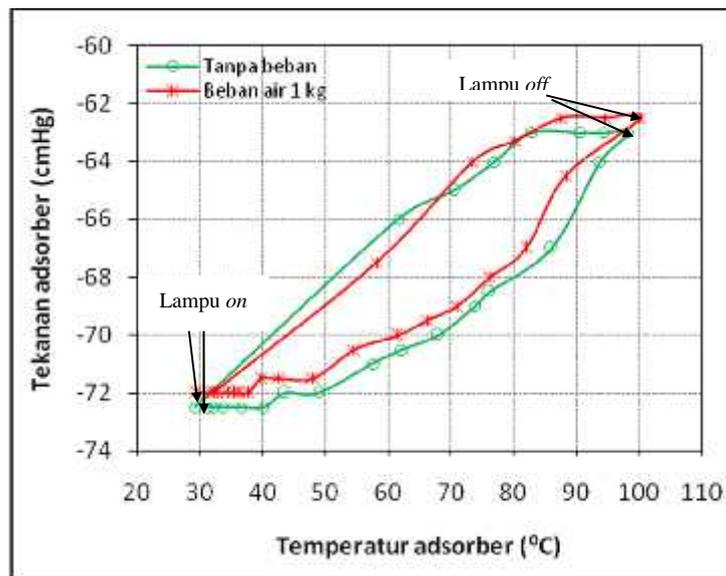
Pengukuran tekanan menggunakan *pressure gauge* vakum yang berjumlah 2 buah dan ditempatkan di dekat adsorber dan evaporator. Pengujian menggunakan sumber panas yang berasal dari cahaya lampu *quartz* berjumlah 2 buah dengan daya listrik masing-masing 500 W dan diletakkan pada posisi 0.35 m di atas permukaan kaca kolektor. Sedangkan pengukuran jumlah etanol yang bersirkulasi tidak dapat dilakukan karena adanya keterbatasan fabrikasi alat ukur.

Pengujian awal kinerja sistem dilakukan untuk kondisi tanpa beban pendinginan dan dengan beban air sebesar 1 kg. Data-data yang diambil adalah tekanan dan temperatur di adsorber, kondensor dan evaporator yang dicatat setiap 10 menit sekali. Pemanasan selama proses desorpsi dihentikan dengan mematikan lampu setelah temperatur adsorber rata-rata mencapai sekitar 100 °C dan selanjutnya selama proses pendinginan dan adsorpsi kaca penutup kolektor dibuka untuk mempercepat laju pendinginan dan adsorpsi etanol di adsorber serta efek pendinginan di evaporator.

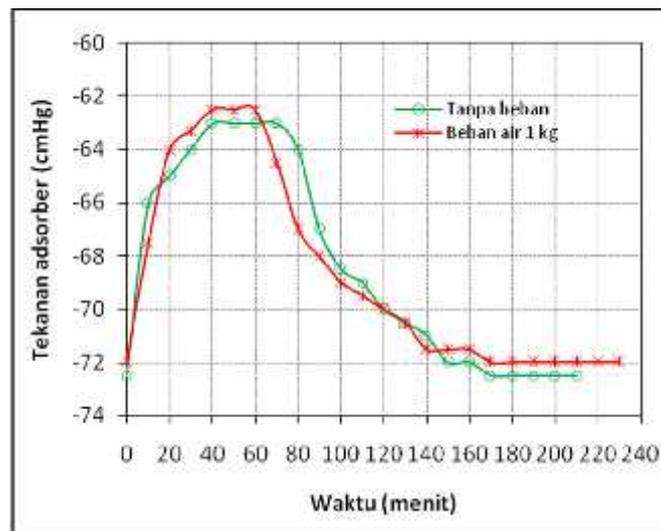
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 menunjukkan siklus adsorpsi aktual, yaitu berupa diagram hubungan antara temperatur dan tekanan adsorber untuk kondisi pengujian tanpa beban pendingin dan dengan beban air 1 kg. Diagram tersebut memperlihatkan bahwa siklus proses

desorpsi-kondensasi dan adsorpsi-evaporasi pada sistem sudah berlangsung dengan baik. Pada pengujian tanpa beban pendinginan, temperatur dan tekanan adsorber tertinggi mencapai 98.3 °C dan -63 cmHg, tekanan selama proses desorpsi-kondensasi naik drastis dari -72.5 cmHg dan relatif konstan pada -63 cmHg sedangkan tekanan selama proses adsorpsi-evaporasi menurun berangsur-angsur dan relatif konstan pada -73 cmHg. Sementara itu pada pengujian dengan beban air 1 kg diperoleh bahwa temperatur dan tekanan adsorber mencapai maksimum pada 100.2 °C dan -62.5 cmHg, tekanan saat proses desorpsi-kondensasi meningkat drastis dari -72 cmHg dan relatif stabil pada -62.5 cmHg sedangkan tekanan selama proses adsorpsi-evaporasi menurun perlahan dan mencapai kestabilan pada -72.5 cmHg. Jika dibandingkan dengan kondisi tanpa beban maka operasi sistem dengan beban air akan memerlukan input energi termal yang lebih besar untuk melepaskan gas etanol yang terikat oleh karbon aktif pada adsorber sehingga sesuai dengan kaidah termodinamika maka temperatur dan tekanan gas etanol pada adsorber juga menjadi lebih besar.

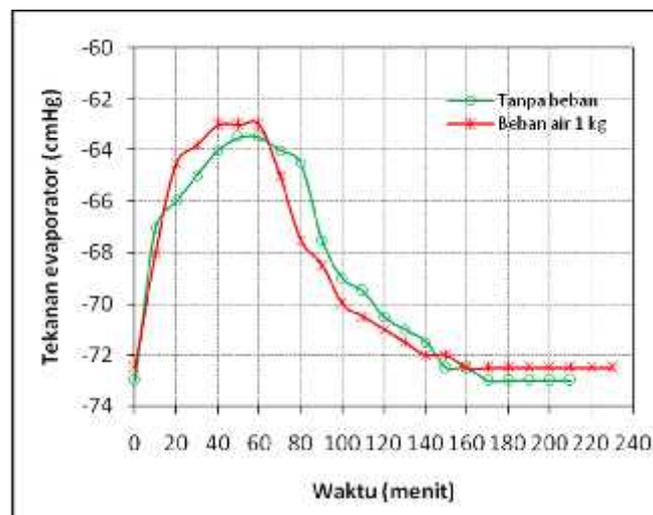


Gambar 2. Siklus pendinginan adsorpsi aktual



Gambar 3. Variasi tekanan adsorber terhadap waktu

Gambar 3 menunjukkan variasi tekanan adsorber sebagai fungsi waktu. Pada pengujian tanpa beban pendinginan tekanan adsorber tertinggi sebesar -63 cmHg relatif stabil selama 40 menit sedangkan pada pengujian dengan beban air 1 kg tekanan adsorber sedikit lebih tinggi dan relatif stabil pada -62.5 cmHg selama kurang lebih 30 menit. Secara teoritis, rentang waktu relatif stabilnya tekanan adsorber untuk kedua kondisi tersebut mengindikasikan bahwa telah berlangsung proses kondensasi gas etanol dari ikatan karbon aktif.

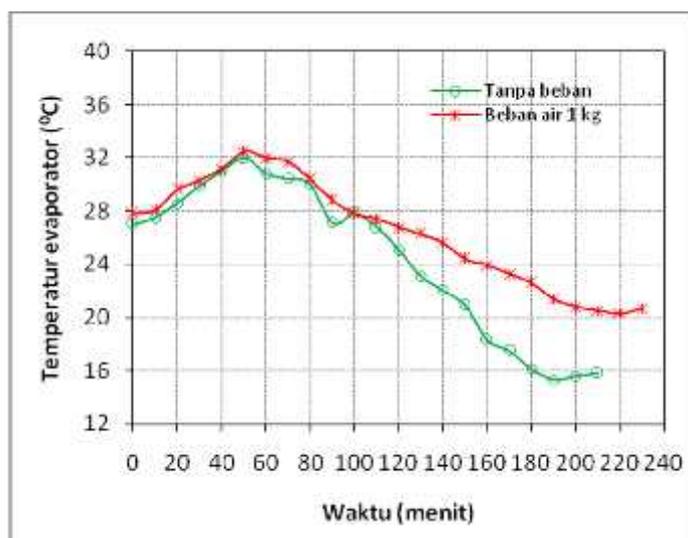


Gambar 4. Variasi tekanan evaporator terhadap waktu

Gambar 4 menunjukkan variasi tekanan evaporator sebagai fungsi waktu. Oleh karena katup di antara kondensator dan evaporator diposisikan terbuka selama pengujian

maka profil perubahan tekanan pada evaporator mengikuti adsorber dengan kenaikan tekanan sepanjang jalur pemipaan menjadi sebesar ± 0.5 cmHg pada evaporator. Pada pengujian tanpa beban pendinginan, tekanan evaporator relatif stabil pada -73 cmHg selama 50 menit sedangkan pada pengujian dengan beban air 1 kg, tekanan evaporator sedikit lebih tinggi dan relatif stabil pada -72.5 cmHg selama kurang lebih 80 menit. Dapat diperkirakan bahwa proses penguapan cairan etanol pada evaporator sudah berlangsung pada periode tersebut. Energi termal yang lebih besar pada kondisi dengan beban air 1 kg menyebabkan tekanan evaporator lebih besar dibandingkan dengan tanpa beban pendinginan. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi hembusan dan temperatur udara ruangan di sekitar kondensor yang relatif sama selama pengujian.

Gambar 5 menunjukkan perubahan temperatur evaporator sebagai fungsi waktu. Temperatur awal evaporator sebelum dilakukan pengujian untuk kedua kondisi hampir sama sekitar $27-28$ °C. Pada pengujian tanpa beban pendinginan, temperatur evaporator mencapai terendah pada 15.3 °C dalam waktu 120 menit setelah lampu dimatikan, sedangkan pada pengujian dengan beban air 1 kg, pencapaian temperatur evaporator terendah lebih tinggi yaitu 20.1 °C dalam waktu 160 menit ke-220 setelah lampu dimatikan. Dengan adanya massa termal oleh air maka kalor dari air akan diserap oleh evaporator dan efek pendinginan tersimpan lebih lama, sedangkan keseimbangan temperatur evaporator dan air yang terjadi menjadi lebih tinggi jika dibandingkan dengan tanpa adanya beban air.



Gambar 5. Variasi temperatur evaporator terhadap waktu

Dari kedua pengujian tersebut terlihat bahwa temperatur terendah evaporator belum mampu mencapai temperatur evaporator untuk aplikasi penyimpanan makanan yaitu sekitar 0 °C (Allouhi *et al.*, 2015). Untuk mencapai temperatur evaporator tersebut dibutuhkan tekanan evaporator yang lebih rendah sampai dengan ± -74.5 cmHg. Tidak tercapainya tekanan evaporator tersebut kemungkinan disebabkan oleh jumlah pengisian etanol ke dalam sistem yang kurang tepat sehingga tekanan sistem dalam kesetimbangan naik. Salah satu kemungkinan lain adalah laju penyerapan gas etanol oleh karbon aktif di adsorber berjalan sangat lambat karena jumlah pori di pipa bagian dalam adsorber sebagai laluan gas etanol masih kurang banyak. Di samping itu jumlah gas etanol yang bisa ditangkap oleh karbon aktif pada adsorber atau dengan kata lain kapasitas adsorpsi dari pasangan karbon aktif granular-etanol yang digunakan pada prototipe ini kemungkinan jauh lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas adsorpsi oleh Tiansuwan *et al.* (1998) yang digunakan sebagai basis dalam perhitungan rancangan prototipe.

SIMPULAN

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari makalah ini adalah sebagai berikut:

1. Perubahan temperatur dan tekanan adsorber selama siklus adsorpsi menunjukkan bahwa proses desorpsi-kondensasi dan adsorpsi-evaporasi pada sistem sudah berlangsung dengan baik dan mendekati profil siklus pendingin adsorpsi idealnya dimana proses kondensasi dan evaporasi terjadi pada tekanan adsorber dan tekanan evaporator yang relatif konstan.
2. Temperatur dan tekanan adsorber tertinggi pada pengujian tanpa beban pendinginan mencapai 98.3 °C dan -63 cmHg, tekanan selama proses desorpsi-kondensasi naik drastis dari -72.5 cmHg dan relatif konstan pada -63 cmHg sedangkan tekanan selama proses adsorpsi-evaporasi menurun berangsur-angsur dan relatif konstan pada -73 cmHg. Sementara itu pada pengujian dengan beban air 1 kg diperoleh bahwa temperatur dan tekanan adsorber mencapai maksimum pada 100.2 °C dan -62.5 cmHg, tekanan saat proses desorpsi-kondensasi meningkat drastis dari -72 cmHg dan relatif stabil pada -62.5 cmHg sedangkan tekanan selama proses adsorpsi-evaporasi menurun perlahan dan mencapai kestabilan pada -72.5 cmHg.

3. Tekanan adsorber tertinggi sebesar -63 cmHg relatif stabil selama 40 menit pada pengujian tanpa beban pendinginan sedangkan pada pengujian dengan beban air 1 kg tekanan adsorber sedikit lebih tinggi dan relatif stabil pada -62.5 cmHg selama kurang lebih 30 menit.
4. Tekanan evaporator relatif stabil pada -73 cmHg selama 50 menit pada pengujian tanpa beban pendinginan sedangkan pada pengujian dengan beban air 1 kg, tekanan evaporator sedikit lebih tinggi dan relatif stabil pada -72.5 cmHg selama kurang lebih 80 menit.
5. Temperatur terendah yang mampu dicapai oleh evaporator untuk kondisi tanpa beban pendinginan adalah sebesar 15.3 °C dalam waktu 120 menit setelah lampu dimatikan dan 20.1 °C untuk kondisi dengan beban air 1 kg dalam waktu 160 menit setelah lampu dimatikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alghoul, M.A., Sulaiman, M.Y., Azmi, B.Z. dan Wahab, MAbd. (2007). Advances on multi-purpose solar adsorption systems for domestic refrigeration and water heating. *Applied Thermal Engineering*, 27: 813–822.
- Allouhi, A., Kousksou, T., Jamil, A., El Rhafiki, T. Mourad, Y. dan Zeraouli, Y. (2015). Optimal working pairs for solar adsorption cooling applications. *Energy*, 79:235-247.
- Attan, D., Alghoul, M.A., Saga, B.B., Assadeq, J., Sopian, K. (2011). The role of activated carbon fiber in adsorption cooling cycles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15:1708-1721.
- DEN. (2016). *Outlook Energi Indonesia 2016*, Sekretariat Jendral Dewan Energi Nasional, Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (KESDM).
- Fernandes, M.S., Brites, G.J.V.N., Costa, J.J., Gaspar, A.R., Costa, V.A.F. (2014). Review and future trends of solar adsorption refrigeration systems. *Renewable and Sustainable Energy reviews*, 39:102-123.
- Li, M., Huang, H.B., Wang, R.Z., Wang, L.L., Cai, W.D., Yang, W.M. (2004). Experimental study on adsorbent of activated carbon with refrigerant of methanol and ethanol for solar ice maker. *Renewable Energy*, 29:2235-2244.
- Matias, D.M. (2011). *Low-carbon development in South East Asia*, Bonn, West Germany: Germanwatch e.V.
- Sur, A., & Das, R.K. (2010). Review on solar adsorption refrigeration cycle. *Int J Mech Eng Technol*, 1(1):190-226.
- Telto, Z.T., & Critoph, R.E. (1997). Adsorption refrigerator using monolithic carbon-ammonia pair. *Int J Refrig*, 20(2):146-155.
- Tiansuwan, J., Hirunlabh, J. dan Kiatsiriroat, T. (1998). Mathematical model of an activated carbon-ethanol refrigerator. *Int J Sci Technol*, 3(1):66-71.
- Wang, R.Z., & Oliveira, R.G. (2006). Adsorption refrigeration-an efficient way to make good use of waste heat and solar energy. *Prog Energy Combust Sci*, 32(4):424-458.

**ANALISA KINERJA BUBUT DOALL LT13 DITINJAU DARI PENYIMPANGAN
KETELITIAN GEOMETRI MESIN DAN KEBULATAN BENDA KERJA****Ariyanto¹, Husman², Yuli Dharta³**¹Teknik Mesin, Polman Babel, Kawasan Industri Air Kantung, Bangka, 33211²Teknik Elektronika, Polman Babel, Kawasan Industri Air Kantung, Bangka, 33211³Teknik Mesin, Polman Babel, Kawasan Industri Air Kantung, Bangka, 33211Ariyanto2176@gmail.com, hushmanamat@gmail.com, dartayuli@gmail.com**ABSTRACT**

In industry, a high resolution production machine is essential for obtaining high quality work pieces. However, the better the quality of the machine, the more expensive the price of the machine will be offered. Besides, the users must use the machine very carefully and also pay more attention on maintenance. At the moment, there are six turning machines named DoAll Lt13 in the Mechanical Engineering Laboratory at State Polytechnic Manufacture of Bangka Belitung. These machines had been used by students for educational purposes and producing spare parts for more than twenty two years. This long period of use might cause deviation on machine geometry, which is the quality of product resulted will decrease. This research aims to check the feasibility of the machines by measuring the geometry deviation of the machine and the roundness of the work pieces. The geometry was measured through several steps or sections which are measurement of periodic axial slip, Camming of the face plate, run-out spindle nose centring, run-out of axis of centre, pararelism of longitudinal cariage, and run-out of centre. The geometric measurement was referred to ISO/DR 1708 standard, while the roundness was analized by using minimum area circle method. Based on the result of geometric measurements, it was obtained that all machines do not suit the standard. In term of roundness measurement, the highest value out of roundness was 82 μm and the lowest value out of roundness was 17 μm

Keywords: *Turning Machine, Geometric measurement, ISO/DR1708, minimum area circle , out of roundness*

ABSTRAK

Industri memerlukan mesin produksi dengan ketelitian tinggi untuk mendapatkan kualitas benda kerja yang baik, Mesin dengan kualitas tinggi mempunyai harga yang mahal, Disamping itu pengguna mesin harus menggunakan mesin dengan hati-hati dan juga memerlukan perhatian perawatan yang lebih. Sekarang ini. Politeknik Manufaktur Bangka Belitung mempunyai enam unit mesin bubut DoAll Lt13, mesin ini sudah digunakan untuk keperluan pendidikan dan memproduksi suku cadang selama 22 tahun. Selama periode tersebut kemungkinan terjadi penyimpangan geometri mesin, yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas benda kerja. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan mesin dengan cara mengukur penyimpangan geometri mesin dan kebulatan benda kerja. Pengukuran geometri yang dilakukan beberapa langkah yaitu measurement of periodic axial slip, Camming of the face plate, run-out spindle nose centring, run-out of axis of centre, pararelism of longitudinal cariage, and run-out of centre. Pengujian geometrik mengacu pada standard ISO/DR 1708, sedangkan kebulatan dianalisa dengan menggunakan metoda lingkaran daerah minimum. Berdasarkan hasil pengukuran geometrik, semua mesin sudah keluar dari standard. Dari pengujian kebulatan nilai tertinggi ketidakbulatan adalah 82 μm dan nilai terendah ketidakbulatan adalah 17 μm .

Kata Kunci: *Mesin Bubut, Pengukuran geometrik, ISO/DR1708,Lingkaran daerah minimum, ketidakbulatan*

PENDAHULUAN

Pemakaian peralatan secara terus menerus dapat mengakibatkan penurunan kualitas mesin. Penurunan kualitas mesin dapat disebabkan oleh peningkatan penyimpangan geometri mesin itu sendiri. Peningkatan penyimpangan ini dapat diartikan sebagai penurunan kemampuan mesin perkakas, penurunan ini tentunya tidak diinginkan oleh pengguna mesin, dan jika hal ini tidak ditanggulangi akan mengakibatkan terus menurunnya kualitas hasil produk proses pemesinan. Penyimpangan geometrik yang telah melampaui batas toleransi mengakibatkan mesin tidak laik digunakan untuk membuat produk. Selain disebabkan oleh mesin perkakas penyimpangan geometrik produk juga dapat disebabkan oleh jenis dan kondisi alat potong, *tool holder*, kecepatan potong, *feed* dan *chipsection*, material yang dipotong, bentuk ukuran dan kekakuan benda kerja, peralatan pencekaman, keterampilan operator (Schelesinger. G, 1970).

Penggunaan mesin perkakas bubut DoAll Lt13 di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung sejak tahun 1995 hingga tahun 2017 atau setara dengan usia 22 tahun. Penggunaan yang sudah sangat lama pada mesin tersebut tentu akan berdampak terhadap perubahan geometrik mesin. Suatu pengamatan yang dilakukan pada mesin perkakas yang berusia 30 tahun, mendapati penyimpangan yang terjadi sudah mendekati batas maksimum dari *standard* yang diizinkan (Darius Suhas dkk, 2016).

Pengujian kebulatan untuk mengetahui kemampuan mesin perkakas pernah dilakukan pada mesin gerinda yang ditempelkan pada dua unit mesin bubut manual yang berbeda (erwansyah, 2013) dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa mesin gerinda tersebut mampu memproses benda kerja dengan ketidakbulatan minimal sebesar 7,9 μm dan maksimal 14 μm pada mesin 1 sedangkan pada mesin 2 ketidakbulatan minimal 10,5 μm dan maksimal 37,6 μm . Untuk mengetahui hal yang sama yaitu kemampuan dalam proses pemesinan maka dilakukan pengujian kebulatan hasil pembubutan pada mesin Doall Lt 13. Pengujian dilakukan dengan melakukan proses pembubutan sehingga didapat ukuran benda kerja yang diinginkan dan dilakukan analisis dengan menggunakan metoda lingkaran daerah minimum. Dari hasil pengukuran geometrik mesin dan kebulatan hasil pemotongan akan diketahui besar kesalahan penyimpangan geometrik mesin dan besar nilai ketidakbulatan yang dihasilkan untuk membubut benda kerja.

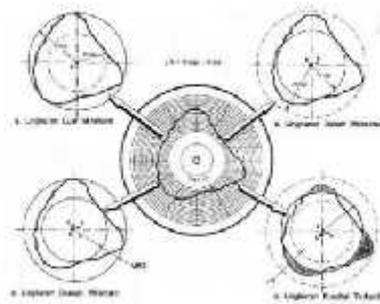
Penelitian bertujuan untuk mengetahui penyimpangan geometrik mesin yang terjadi setelah digunakan untuk proses belajar mengajar dan pembuatan suku cadang selama 22 tahun, serta mengetahui kelayakan mesin bubut jika digunakan untuk memproses benda kerja dengan toleransi ukuran tertentu

Telah dilakukan beberapa penelitian sebelumnya oleh beberapa peneliti yang mencoba menggali tentang pengaruh usia pakai suatu mesin perkakas dengan penyimpangan geometrik yang terjadi. Dari berbagai hasil penelitian terlihat adanya pengaruh usia pakai mesin terhadap penyimpangan geometrik mesin, penyimpangan yang terjadi dapat berupa gelombang ketidakrataaan, gelombang ketidak lurusan atau penyimpangan kesejajaran. Penyimpangan yang terjadi bisa berada didaerah yang diijinkan atau berada diluar daerah yang diijinkan, seperti pengujian pada mesin perkakas (jenis milling) yang mendapati ada bagian pengujian yang tidak masuk kedalam daerah yang diizinkan , sehingga untuk pekerjaan presisi sudah tidak direkomendasikan lagi (Krisna Tolosi dkk, 2013). Penyimpangan hasil pengukuran tersebut dibandingkan dengan *standard* yang telah ditetapkan.

Kebulatan adalah suatu harga yang dapat dihitung berdasarkan profil kebulatan relatif terhadap lingkaran referensinya (Rochim, 2001). Pengamatan kebulatan hasil proses pemesinan dapat dilakukan dengan cara melakukan pengamatan kebulatan benda uji yang dihasilkan oleh proses pemotongan pada mesin perkakas, pengamatan kebulatan dilakukan dengan merubah parameter pemotongan (Erizal Hamdi dkk, 2015).

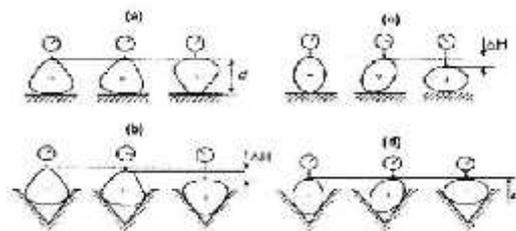
Parameter kebulatan dapat dihitung berdasarkan profil kebulatan relatif terhadap lingkaran referensi. Lingkaran referensi yang digunakan untuk menganalisa kebulatan dapat dilakukan dengan 4 cara (Taufic Rochim, 2001) yaitu lingkaran luar minimum, lingkaran dalam maksimum,lingkaran daerah minimum dan lingkaran kuadrat terkecil. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.

Standard ISO menganjurkan menggunakan MRZ, karena sesuai dengan makna toleransi. Nilai ketidakbulatan adalah selisih dari radius kedua lingkaran tersebut (R) dan dinamakan sebagai *minimum radial zone* (MRZ).



Gambar 1. Grafik polar dari 4 cara pengukuran kebulatan (Taufk Rochim, 2001)

Pengukuran kebulatan hasil pemotongan benda uji dapat dilakukan dengan berbagai macam cara salah satunya adalah dengan menggunakan dial indikator. Pengukuran dengan menggunakan dial indikator sudah sering digunakan untuk mengukur kebulatan benda hasil proses bubut, seperti pengukuran kebulatan benda uji hasil proses bubut CNC (M yaris, 2013). Penerapan pengukuran kebulatan dengan menggunakan dial indikator juga dilakukan ketika melakukan pengukuran hasil pemotongan mesin bubut manual dengan menggunakan benda uji berupa poros yang terbuat dari baja JIS S45C (Emil dwiyono, 2014). Pengukuran kebulatan benda uji dengan dial indikator dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengukuran kebulatan dengan menggunakan dial indikator dan block V

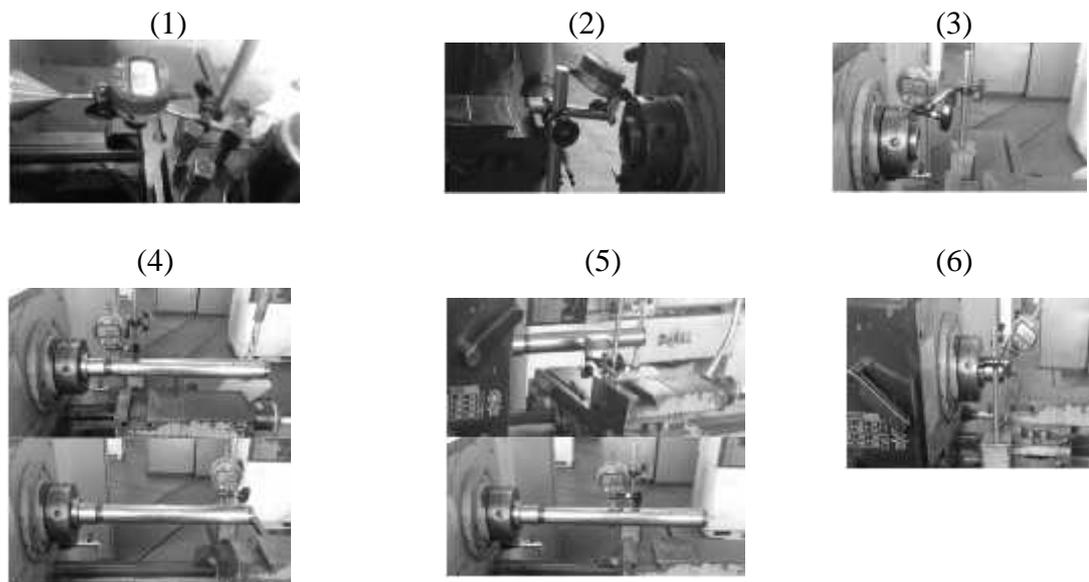
METODE PENELITIAN

Untuk melakukan penelitian ini maka diperlukan peralatan yaitu mesin bubut Doall Lt13, *dial indicator* digital dengan ketelitian $1\mu\text{m}$ dan *stand Holder*, *test bar* dan *center* tetap, alat potong *carbide negatif ISO standard insert* dengan radius 0,8 mm, baja diameter 30 x 200 mm, *Bench Center + Indicator clam*.

a. Pengujian Geometrik

Pengujian geometrik yang dilakukan adalah pengukuran *periodic axial slip*, *camming of the face plate*, *run-out spindle nose centring sleeve*, *run-out of axis of*

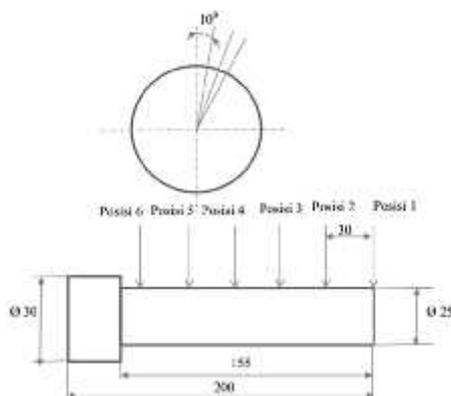
centre, pararelsim of spindle axis to carriage longitudinal movement, run-out of center. Ke-enam pengujian tersebut mengikuti pengujian geometrik mesin bubut ISO/DR 1708, hasil pengukuran tersebut akan dibandingkan dengan deviasi yang diijinkan. Enam jenis pengujian geometrik tersebut dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Enam pengujian geometrik mesin yang dilakukan 1. *Periodic axial slip* 2. *Camming of the face plate*, 3. *Run-out spindle nose centring sleeve*, 4. *Run-out of axis of centre*, 5. *pararelsim of spindle axis to carriage longitudinal movement* 6. *Pengukuran Run-out of Center*

b. Pengujian Kebulatan

Untuk memperoleh kemampuan mesin bubut menghasilkan besar kesalahan geometrik yang terjadi pada benda kerja, maka dilakukan pengujian kebulatan. Pengujian dilakukan dengan cara benda uji dibubut dari diameter nominal 30 mm hingga mencapai diameter nominal 25 mm. Parameter-parameter pemotongan benda uji disesuaikan dengan kondisi mesin bubut yang digunakan. Parameter-parameter tersebut adalah putaran *spindle* mesin = 1000 rpm, kedalaman pemakanan = 0,4 mm dan 0,04 mm, *feeding* yang digunakan adalah 0.077mm/put, Setelah selesai dipotong kemudian dilakukan proses pengukuran kebulatan. Pengukuran kebulatan dilakukan dengan menggunakan *bench center* dan *dial indicator*. Hasil kebulatan dianalisa dengan metoda lingkaran daerah minimum. Posisi dan titik pengukuran benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Posisi pengukuran benda uji hasil bubutan

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian Geometrik mesin

Pengujian geometrik yang dilakukan pada mesin bubut mengacu pada ISO/DR 1708, seperti yang telah dilakukan oleh Rendi revo runtuk dkk (2014). Form pengujian ISO/DR 1708 sudah dilampirkan oleh pembuat mesin pada *Manual Book*.

a. Pengukuran *periodic axial slip*

Pengukuran dilakukan pada *spindle* mesin bubut dan menggunakan alat ukur yaitu *dial indicator*, *stand dial* dan *center*. Hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 1. Nilai pengukuran *Periodic axial slip* pada semua mesin mempunyai rentang nilai 2-3µm dan semua nilai memenuhi nilai *deviasi* yang diizinkan.

Tabel 1. Hasil pengujian *periodic axial slip*

No	No mesin	Hasil pengukuran (µm)	Deviasi yang diizinkan (µm)
1	BU 2	2	10,16
2	BU 3	3	10,16
3	BU 5	2	10,16
4	BU 6	3	10,16
5	BU 7	2	10,16
6	BU 8	2	10,16

Sumber: Hasil pengukuran

b. Pengukuran *camming of the face plate*

Pengukuran *Camming of the face plate* menggunakan *dial indicator* dan *stand dial*. Hasil pengukuran yang dilakukan memperlihatkan bahwa mesin bubut dengan nomor

mesin BU-3 mempunyai nilai pengukuran yang paling besar, dan sudah melewati nilai deviasi yang diizinkan. Mesin dengan no mesin BU-2 mempunyai nilai yang sudah mendekati batas nilai maksimum deviasi yang diizinkan sehingga perlu perhatian, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil pengujian *camming of the face plate*

No	No mesin	Hasil pengukuran (μm)	Deviasi yang diizinkan (μm)
2	BU 2	9	10,16
3	BU 3	32	10,16
5	BU 5	6	10,16
6	BU 6	7	10,16
7	BU 7	5	10,16
8	BU 8	6	10,16

Sumber: Hasil pengukuran

c. Pengukuran *Run-out spindle nose centring sleeve*

Alat pengukuran yang digunakan adalah *dial indicator* dan *stand dial*. Hasil pengukuran terdapat pada Tabel 4. Dari hasil pengukuran semua mesin bubut yang diukur diperoleh nilai rentang antara $8\mu\text{m}$ sampai $4\mu\text{m}$, jika hasil pengukuran dibandingkan dengan deviasi yang diizinkan maka kondisi mesin masih dapat diterima.

Tabel 3. Hasil pengukuran *Run-out spindle nose centring sleeve*

No	No mesin	Hasil pengukuran (μm)	Deviasi yang diizinkan (μm)
1	BU 2	8	10,16
2	BU 3	6	10,16
3	BU 5	7	10,16
4	BU 6	5	10,16
5	BU 7	4	10,16
6	BU 8	6	10,16

Sumber: Hasil pengukuran

d. Pengukuran *Run-out of axis of centre*

Pengukuran ini dilakukan pada dua posisi yaitu posisi pertama terletak pada posisi dekat dengan posisi *spindle* mesin dan posisi ke dua pada jarak 300 mm dari posisi *spindle*. Peralatan ukur yang digunakan adalah *dial indicator*, *stand dial* dan *test bar*.

Pemasangan *test bar* diusahakan sebaik mungkin untuk menghindari kesalahan, untuk mengurangi kesalahan pengukuran maka dilakukan pembersihan pada permukaan dudukan test bar di *spindle nose* dengan cara diampelas dengan amplas kasar dan dilap hingga bersih. Hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 4., hasil pengukuran tersebut pada posisi dekat dengan posisi *spindle* mempunyai *range* nilai 1 sampai 10 μm dan posisi pada jarak 300 mm adalah 52-19 μm .

Tabel 4. Hasil pengukuran *Run-out of axis of centre*

No	No mesin	Hasil pengukuran (μm)	Deviasi yang diizinkan (μm)	Hasil pengukuran	Deviasi yang diizinkan (μm)
		didekat spindle (μm)		pada jarak 300 mm (μm)	
1	BU 2	3	10,16	37	20,32
2	BU 3	6	10,16	39	20,32
3	BU 5	10	10,16	54	20,32
4	BU 6	2	10,16	36	20,32
5	BU 7	1	10,16	19	20,32
6	BU 8	6	10,16	52	20,32

Sumber: Hasil pengukuran

Dari hasil pengukuran terlihat bahwa semua mesin pada posisi pengukuran didekat *spindle* mempunyai nilai yang masih memenuhi deviasi yang diijinkan akan tetapi pada jarak 300 mm sudah keluar batas deviasi yang diizinkan, kecuali pada mesin BU 7. Akan tetapi mesin BU 7 sudah mendekati batas nilai deviasi yang diizinkan sehingga perlu perhatian.

e. Pengukuran *pararelism of spindle axis to carriage longitudinal movement*

Pengukuran pada pengujian ini dilakukan pada 2 posisi yaitu pada posisi *horizontal* dan posisi *vertikal*. Alat yang digunakan adalah *dial indicator*, *dial stand* dan *test bar*. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Hasil pengukuran *pararelism* sumbu *spindle* terhadap pergerakan longitudinal *carriage* posisi *horizontal*

No	No mesin	Jarak pengukuran (mm)							Deviasi yang diizinkan (μm)/300mm
		0	50	100	150	200	250	300	
		Hasil pengukuran(μm)							

1	BU 2	0	17	39	46	53	56	63	15,24
2	BU 3	0	-36	-88	-141	-141	-239	-292	15,24
3	BU 5	0	-25	-51	-69	-95	-109	-124	15,24
4	BU 6	0	-32	-59	-75	-88	-98	-95	15,24
5	BU 7	0	-34	-52	-64	-82	-106	-110	15,24
6	BU 8	0	-6	2	25	42	80	124	15,24

Sumber: Hasil pengukuran

Tabel 6. Hasil pengukuran *pararelism* sumbu *spindle* terhadap pergerakan longitudinal *cariage* posisi *vertikal*

No	No mesin	Jarak pengukuran (mm)							Deviasi yang diizinkan (μm)/300mm
		0	50	100	150	200	250	300	
		Hasil pengukuran(μm)							
1	BU 2	0	-13	-5	4	22	44	73	20,32
2	BU 3	0	18	49	55	69	69	71	20,32
3	BU 5	0	39	61	69	70	76	78	20,32
4	BU 6	0	43	60	75	87	87	87	20,32
5	BU 7	0	14	35	54	63	71	78	20,32
6	BU 8	0	34	50	60	58	66	58	20,32

Sumber: Hasil pengukuran

Dari hasil pengukuran tersebut terlihat bahwa semua mesin pada setiap posisi, baik pada posisi *horizontal* dan posisi *vertikal* sudah melampaui nilai deviasi yang diizinkan. Nilai deviasi yang diizinkan sebesar $15,24\mu\text{m}/300\text{ mm}$ diposisi *horizontal* dan $20,32\mu\text{m}/300\text{ mm}$ diposisi *vertikal*. Nilai-nilai hasil pengukuran pada tabel 6 dan 7 mempunyai kecenderungan semakin menjauh dari titik nol (titik didekat *spindle* mesin) nilai pengukuran semakin besar, hal ini dapat mengindikasikan terjadi penyimpangan komponen yang semakin besar.

f. Pengukuran *run-out centre*

Proses pengukuran *run-out centre* dilakukan dengan menggunakan alat *dial indicator*, *dial stand*, dan *center*. Hasil pengukuran yang didapat dapat dilihat pada Tabel 7 berikut. Dari nilai hasil pengukuran yang dibandingkan dengan nilai *deviasi* yang diizinkan maka mesin bubut dengan nomor mesin BU-2, 3, 6, 7 dan 8 sudah melampaui batas yang diizinkan, sedangkan mesin bubut dengan nomor mesin BU-5 sudah mendekati nilai batas maksimum, sehingga memerlukan perhatian.

Tabel 7 Hasil pengukuran *run-out centre*

No	No mesin	Hasil pengukuran (μm)	Deviasi yang diizinkan (μm)
1	BU 2	34	15,24
2	BU 3	32	15,24
3	BU 5	15	15,24
4	BU 6	46	15,24
5	BU 7	26	15,24
6	BU 8	19	15,24

Sumber: Hasil pengukuran

2. Hasil Pengujian Kebulatan

Untuk melihat kemampuan mesin bubut Doall LT-13 menghasilkan suatu produk maka dilakukan pengujian kebulatan pada benda hasil proses pemesinan tersebut, seperti yang dilakukan oleh M yaris. Pengujian kebulatan dilakukan dengan cara memotong benda uji pada masing-masing mesin bubut dan kemudian hasil pemotongan mesin diukur dengan menggunakan alat ukur *dial indicator*. Penyimpangan kebulatan yang terjadi pada benda uji dapat dilihat pada Tabel 8 berikut.

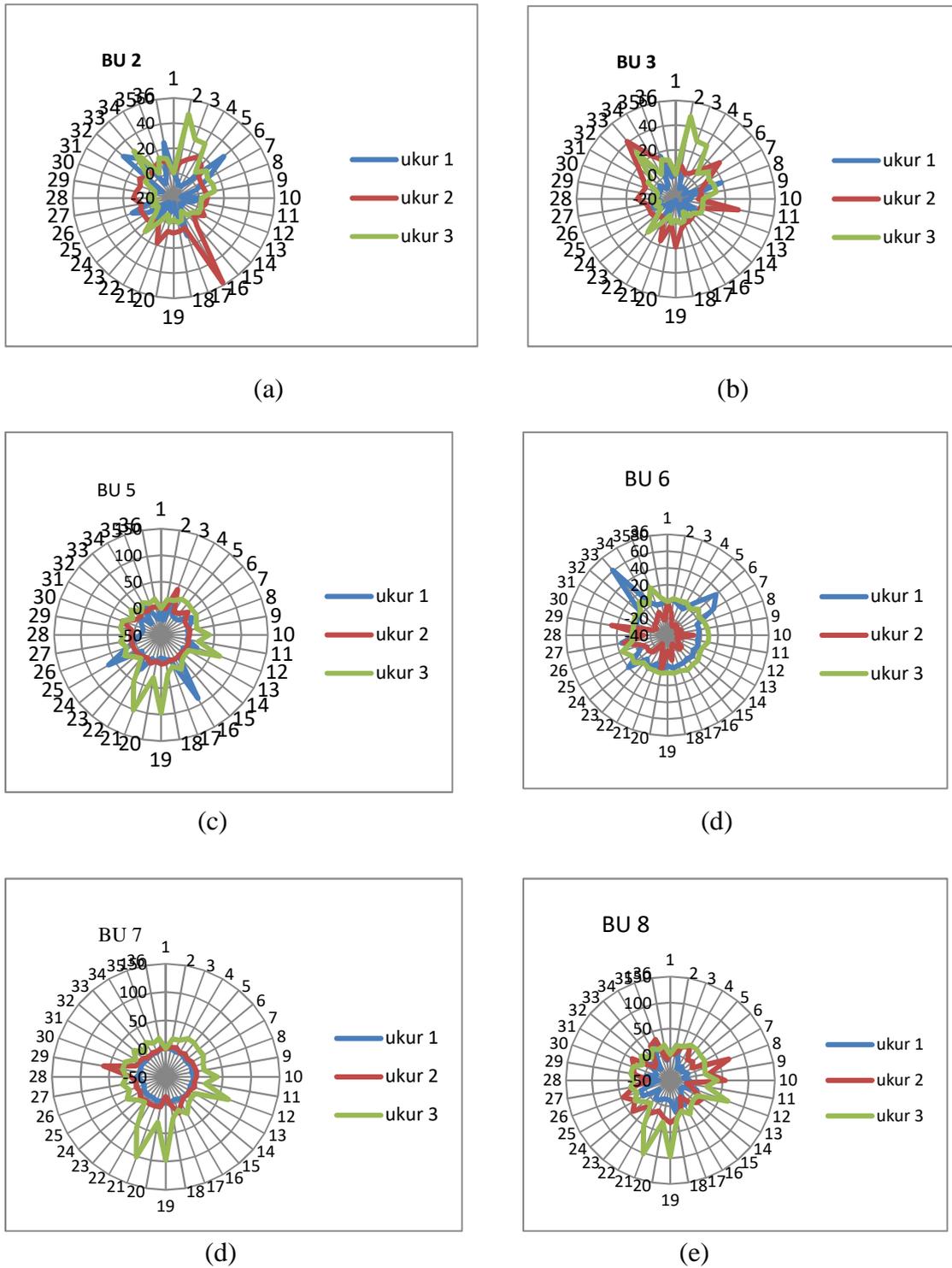
Tabel 8. Ketidakbulatan benda uji

No	No mesin	Ketidakbulatan μm					
		Posisi 1	Posisi 2	Posisi 3	Posisi 4	Posisi 5	Posisi 6
1	BU 2	51	36	24	21	17	17
2	BU 3	46	26	20	12	14	20
3	BU 5	73	46	35	27	34	40
4	BU 6	42	36	31	29	45	48
5	BU 7	57	30	21	28	32	37
6	BU 8	82	67	53	43	46	48

Sumber: Hasil pengukuran

Dari data tabel 8 tersebut dapat diketahui bahwa yang mempunyai nilai ketidakbulatan terbesar pada posisi 1 adalah pada benda uji mesin bubut No 8 dengan nilai sebesar 82 μm dan terkecil pada benda uji bu 6 dengan nilai sebesar 42 μm . Pada posisi 6, yang memiliki nilai ketidakbulatan terbesar adalah pada benda uji mesin bubut nomor 8 dan 6 dengan nilai sebesar 48 μm dan terkecil pada benda uji mesin bubut

nomor 2 dengan nilai sebesar 17 μm . Data hasil pengukuran diplot kedalam diagram polar pada gambar 5.



Gambar 5. a,b,c,d,dan e adalah hasil pengukuran yang digambarkan menggunakan grafik polar

Sumber: Hasil pengukuran

KESIMPULAN

Mesin Bubut doall Lt 13 yang diuji telah digunakan selama kurang lebih 22 tahun, semua mesin yang dilakukan pengujian geometrik mempunyai beberapa nilai penyimpangan yang telah keluar dari batas *deviasi* yang diizinkan berdasarkan *ISO/DR1708*, sehingga harus dilakukan perbaikan atau penyetelan. Kemampuan masing-masing mesin untuk membubut dengan toleransi penyimpangan kebulatan pada mesin bubut nomor 2 = 51 μm , mesin bubut nomor 3 = 46 μm , mesin bubut nomor 5 = 73 μm , mesin bubut nomor 6 = 48 μm , mesin bubut nomor 7 = 57 μm , dan mesin bubut nomor 8 = 82 μm .

Dikarenakan mesin tersebut masih digunakan untuk kegiatan pendidikan sebaiknya dilakukan perbaikan terhadap mesin-mesin tersebut agar performanya lebih baik

DAFTAR PUSTAKA

- Bagiasna K.(2000). *Pengantar Pengetesan Ketelitian Geometrik Mesin Perkakas*. Teknik Produksi Mesin ,ITB
- Darius Yuhas, Ade Sumpena, Rudy Edial. (2016). Pengukuran Statis Ketelitian Gepmetrik Mesin Bubut Maximat V13 Di Bengkel Teknik Mesin PNJ Menurut Referensi. *Jurnal Politeknologi* Vol 15.No 3. September 2016.
- DoAll Company.(1995). *Machine Manual*. 254,North Laurel Avenue, Des Plaines Illinois 60016.
- Erizal Hamdi,Dodi Sofyan Arief, Adhy Prayitno. (2015). Pengujian Kebulatan Hasil Pembuatan Poros Aluminium Menggunakan Emco T.U CNC -2A SMKN2 Pekanbaru Dengan Roundness Tester Machine. *JOM Fteknik*, Volume 2 no 2, Oktober 2015.
- Erwansyah. (2013). Pengaruh Kecepatan Pemakanan dan Kedalaman Pemotongan terhadap Kekasaran Permukaan dan Kebulatan Hasil Penggerindaan Menggunakan Alat Bantu Khusus(Special Attachment) Penggerindaan di Mesin Bubut. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Terapan*,Volume 1A.No.1. Oktober 2013.
- George Schelesinger. (1970). *Testing Machine Tools*. London: The Machining Publishing Co.
- Muhamad Yanis,(2013), Analisis Profil Kebulatan Untuk Menentukan Kesalahan Geometrik pada pembuatan Komponen Menggunakan Mesin Bubut CNC,*ejournal unsri*,vol 19,no 1.
- Rendi Revo Runtu, Jan Soukotta, Rudy Poeng (2014), Analisis Kemampuan Dan Keandalan Mesin Bubut Weiler Primus Melalui Pengujian Karakteristik Statik Menurut Standar ISO 1708. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin* Volume 4 Nomor 1, UNSRAT.
- Taufic Rochim. (2001). *Spesifikasi, Metrologi, dan Kontrol Kualitas Geometrik* 1, Bandung, ITB.

**PENERAPAN TEKNOLOGI PRESSTOOL SEDERHANA PADA UMKM PEMBUAT
PISAU STAINLESS STEEL DI KABUPATEN KUDUS**

Aryo Satito¹ dan Supandi²

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Sudarto, SH. Tembalang, Semarang
aryosatito@gmail.com , pandyss@gmail.com

ABSTRACT

One of the potential product of Kabupaten Kudus's SMEs is stainless steel knife. Location of knife craft center is in Desa Hadipolo, Kelurahan Jekulo, Kecamatan Jekulo. "UD.HASIL LOGAM" and "NURI" as a knife producer make the stainless steel's knife in a very simple way, so the appearance of the knife product is less attractive and need up to 30 minutes to produce each blade. This causes the products price's higher than such imported which have a uniform shape and attractive appearance. In order for the knife craft products to compete with such products of import origin, IbM Program 2017 is done the effort to improve the quality and quantity of craftsmen's products by applying simple press tool technology. This effort is done by realizing the design of a simple press tool equipment unit with 10 ton's hydraulic pressure apparatus to manufacture the stainless steel blades can be done progressively. Thus the knife products of the craftsmen will be able to compete with imported origin knife, because the quality of uniformity of product shape and appearance of kitchen knife can be achieved. The original blade production process takes 30 minutes each blade, using the press tool tool takes only 30 seconds.

Keywords : *SMEs, stainless steel, knife, quality, press tool*

ABSTRAK

Salah satu dari potensi produk unggulan industri kecil Kabupaten Kudus adalah kerajinan logam yang menghasilkan pisau dapur yang berpusat di desa Hadipolo / Bareng, kelurahan Jekulo, kecamatan Jekulo, kabupaten Kudus. Pelaku usaha kecil menengah (UMKM) di bidang produksi pisau dapur dengan bahan baku baja tahan karat (*stainless steel*) di sentra ini antara lain adalah “ HASIL LOGAM ” yang beralamat di Desa Hadipolo (Bareng) RT. 02 / RW. I, ini melakukan pembuatan produk pisaunya dengan cara yang masih sangat sederhana, sehingga secara umum penampilan pisau kurang menarik dan memerlukan waktu proses yang lama. Hal ini menyebabkan harga jual produk menjadi murah dan tidak mampu bersaing dengan pisau dapur produk import yang memiliki bentuk seragam dan penampilan produk yang menarik. Agar produk pisau perajin mampu bersaing dengan pisau dapur produk import, maka melalui program Program Iptek Bagi Masyarakat (IbM) ini dilakukan upaya peningkatan kualitas dan kapasitas produk mereka. Tujuan dari kegiatan program ini adalah untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas produk maka melalui program ini dirancangkan sebuah unit peralatan press tool bertenaga hidraulik untuk membuat bilah pisau stainless steel secara progresif . Sehingga produk pisau para perajin akan dapat bersaing dengan pisau dapur import, baik kualitas keseragaman bentuk produk dan penampilan pisau dapur yang lebih bervariasi.

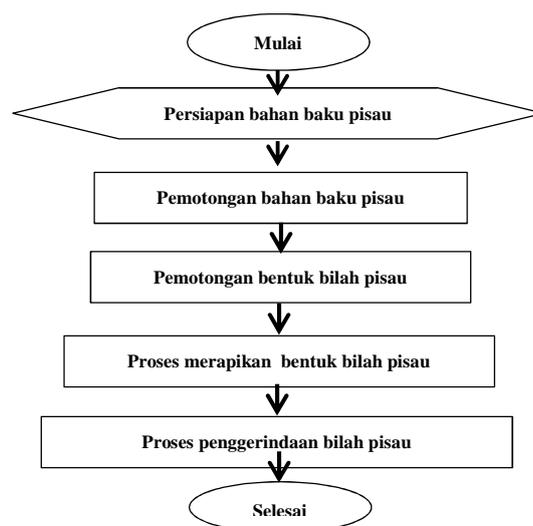
Kata kunci : *stainless steel, pisau dapur, press tool*

PENDAHULUAN

Efisiensi proses produksi yang akan menghasilkan penghematan pada bahan baku, energi, dan tenaga kerja masih belum banyak dilakukan oleh para pelaku UMKM. Karena dalam melakukan proses produksi para pelaku UMKM masih sangat mengandalkan tenaga manusia yang mengakibatkan kualitas produk tidak terjaga.

Walaupun perkembangan pesat yang terjadi di bidang UMKM saat ini turut berperanserta dalam memacu pertumbuhan industri dan ekonomi di suatu daerah, seringkali pelaku UMKM terkendala pada keterbatasan sumber daya untuk penyelesaian produk ketika menghadapi kontrak pesanan produk dalam jumlah banyak yang dibatasi waktu penyelesaian pesanan. Untuk mengatasi kendala keterbatasan kemampuan menyelesaikan produk dalam jumlah banyak dan dibatasi oleh waktu penyelesaian, maka **infrastruktur penunjang produksi perlu dibenahi agar kemampuan pelaku UMKM di bidang pembuatan pisau *stainless steel* meningkat.**

Pelaku usaha kecil menengah (UMKM) di bidang produksi pisau dapur dengan bahan baku baja tahan karat (*stainless steel*) di sentra ini antara lain adalah “ HASIL LOGAM” yang beralamat di Desa Hadipolo (Bareng) RT. 02 / RW. I, ini melakukan pembuatan produk pisaunya dengan cara yang masih sangat sederhana. Meskipun demikian klaster industri kecil di bidang pembuatan pisau *stainless steel* yang masih termasuk kategori industri kecil atau industri rumah tangga, memiliki tenaga kerja sejumlah 8 orang. Pemasaran produk meliputi kota-kota besar diseluruh pulau Jawa, seperti Solo, Semarang, Yogyakarta, Bandung, Surabaya, dan Jakarta. Diagram alir pengerjaan produk pisau *stainless steel* dapat Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir proses pembuatan bilah pisau *stainless steel*

Sedangkan produk pisau yang dihasilkan UMKM “ HASIL LOGAM “ dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Aneka jenis produk pisau *stainless steel*

SUMBER INSPIRASI

Kapasitas produksi rata-rata untuk berbagai macam produk setiap bulan adalah 200 kodi (@ 20 buah) , dengan harga jual antara Rp 5.000,- s/d. Rp 200.000,- per buah. Hal ini belum sesuai dengan jumlah permintaan rata-rata setiap bulan yang mencapai 600 kodi. Sehingga untuk mencukupi jumlah pesanan yang meningkat tersebut diperlukan tenaga paruh waktu (jawa : pocokan) dengan upah lembur. Kondisi yang terjadi berulang-ulang ini menyebabkan ongkos/biaya produksi menjadi lebih mahal, sehingga keuntungan menurun.

Proses produksi yang masih menggunakan peralatan sangat sederhana dan sepenuhnya dioperasikan secara manual memerlukan waktu lama dan kualitas/mutu yang rendah, sehingga menyebabkan harga jual lebih murah.

Penataan ruang kerja (*lay out*) yang asal-asalan menyebabkan suasana kerja yang tidak nyaman, tidak sehat, dan dapat menimbulkan kecelakaan kerja. Hal ini juga dapat mempengaruhi semangat kerja yang berakibat pada penurunan produktifitas tenaga kerja.

Manajemen keuangan yang diterapkan berdasarkan kekeluargaan juga kurang baik pada saat pelaporan keuangan. Pembelian bahan, pembayaran ongkos kerja, biaya listrik, pajak, pemasukan uang, dan lain-lain, tidak tercatat sesuai ketentuan yang sebenarnya.

Dengan adanya permasalahan-permasalahan tersebut di atas diperlukan suatu solusi atau strategi untuk mencegah atau mengurangi kerugian-kerugian yang terjadi dan

meningkatkan efisiensi proses produk melalui upaya-upaya : penggunaan alat bantu untuk meningkatkan kapasitas dan kualitas produksi, penataan *lay out* atau denah lokasi kerja yang lebih baik, dan penanganan manajemen keuangan yang benar.

a. Permasalahan produksi

Proses pembentukan/pembuatan bilah pisau *stainless steel* diawali dengan pemotongan material lembaran *stainless steel* menjadi bentuk segi empat sesuai ukuran bilah pisau dengan menggunakan alat potong plat manual atau bahkan kadang kala pemotongan plat *stainless steel* menggunakan gunting plat biasa.



Gambar 3. Proses pemotongan, penipisan, dan penajaman plat stainless steel menjadi bilah pisau secara manual.

Proses kemudian dilanjutkan dengan pemipihan plat untuk menjadikan plat lebih tipis dengan cara dipukul dengan menggunakan palu. Proses ini bertujuan mengurangi proses penajaman bilah pisau.

Cara-cara tersebut akan menyebabkan antara lain :

- Hasil pembentukan bilah pisau tidak seragam, karena hanya mengandalkan keahlian operatornya
- Pembentukan bilah pisau terbatas hanya pada plat dengan ketebalan terbatas, maksimum 0,6 mm saja. Sehingga apabila ada pesanan pisau dengan ketebalan yang lebih besar dari 0,6 mm, akan ditolak oleh para pelaku UMKM pembuat pisau *stainless steel*.
- Waktu pembentukan bilah pisau *stainless steel* rata-rata adalah 20 s/d 30 menit, karena kecepatan pemotongan alat potong plat manual sangat rendah.

Dengan demikian proses pembentukan bilah pisau dengan menggunakan alat potong plat manual tersebut menyebabkan hasil pembuatan / pembentukan bilah pisau tidak seragam dan membutuhkan waktu lama.

b. Permasalahan Manajemen

Permasalahan manajemen yang dihadapi perajin pisau stainless steel adalah :

- Penataan *lay out* atau denah lokasi kerja yang asal-asalan akan dapat menurunkan kualitas kerja, yang berdampak pada penurunan kapasitas dan mutu hasil produk.
- Manajemen keuangan yang diterapkan secara kekeluargaan, seperti: pembelian bahan baku, pengeluaran untuk upah, listrik pajak, dan lain-lain, pemasukan uang hasil penjualan produk, dan sebagainya, menjadikan kurang sehat, karena dapat menyulitkan dalam pembuatan laporan keuangan.



Gambar 4. Suasana kerja di UMKM “HASIL LOGAM”

METODE

Kegiatan penerapan Program Iptek bagi Masyarakat 2017 dilaksanakan melalui 3 (tiga) tahapan yang merupakan satu kesatuan rangkaian kegiatan, yakni,

- a. Tahap 1 : Kegiatan Pendahuluan (*Introduction*)
- b. Tahap 2 : Kegiatan Penilaian (*Assesment*)
- c. Tahap 3 : Kegiatan Pelaksanaan (*Implementasi*)

1. Tahapan Pelaksanaan Kegiatan

Tahapan pelaksanaan dalam melaksanakan solusi yang ditawarkan untuk mengatasi permasalahan di bidang produksi dan manajemen pada prinsipnya ada 4 (empat) kegiatan utama, yaitu : (1) *workshop*, (2) pendampingan, (3) *technical meeting*, dan (4) *network meeting*.

2. Metode Pendekatan

Pada umumnya sistem kerja yang terdapat di UMKM mainan dari kayu adalah seperti majikan-pekerja yang langsung memasarkan produknya ke pasar dan juga ikut langsung dalam kegiatan produksi. Oleh karena itulah jadwal kegiatan pendampingan maupun *workshop* yang harus dihadiri perajin disesuaikan dengan kegiatan UMKM.

- a. *Workshop* 1
- b. Pendampingan (*Technical Assistance*) 1 dan 2
- c. *Technical Meeting* 1
- d. *Networking Meeting* 1
- e. *Workshop* 2
- f. Pendampingan (*Technical Assistance*) 3, 4 dan Tambahan
- g. *Technical Meeting* 2
- h. *Networking*

KARYA UTAMA

1. Pemecahan Masalah Produksi

1.1 Pembuatan bilah pisau stainless steel

Proses pembuatan bilah pisau stainless steel secara manual di UMKM membutuhkan waktu proses yang lama, karena melalui beberapa tahapan sebagai berikut :

- Persiapan bahan baku bilah pisau
- Pemotongan bahan baku pisau (lihat Gambar 3)
- Pemotongan bentuk bilah pisau (lihat Gambar 3)
- Proses merapikan bentuk bilah pisau (lihat Gambar 4)
- Proses pengerindaan bilah pisau

1.2 Peralatan *press tool* pembuat bilah pisau hasil program IbM 2017

Progressive press tool adalah serangkaian proses pemotongan plat logam dalam 1 unit peralatan *punch* dan *dies* (Bhawar et al [1]). Dan pembuatan unit peralatan *press tool* yang dilengkapi dengan peralatan press berkekuatan 10 ton ditujukan untuk memangkas jumlah tahapan proses produksi secara manual. Karena menurut Ameresh et al [4] dengan menggunakan unit peralatan ini tahapan proses produksi bilah pisau menjadi singkat sebagai berikut :

1. Persiapan bahan baku pisau stainless steel

2. Proses pebuaran bilah pisau.
3. Selesai.



Gambar 5. Unit peralatan *press tool* pembuat bilah pisau *stainless steel* ukuran besar dan produk bilah pisau (Zani et al, [3])

Agar pihak UMKM dapat mengoperasikan unit peralatan *press tool* pembuat bilah pisau *stainless steel* secara aman dan benar, maka perlu diberikan :

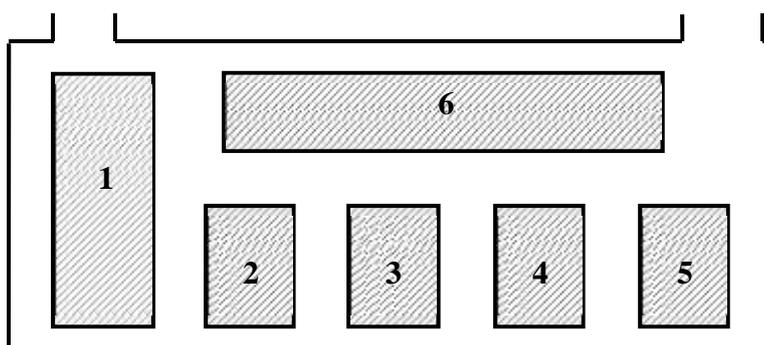
- a. Pelatihan produksi
- b. Pelatihan perawatan peralatan, dan
- c. Pelatihan K3 yang menyangkut proses produksi

2. Pemecahan Masalah Manajemen

Perbaikan manajemen yang diterapkan pada UMKM mitra pembuatan bilah pisau *stainless steel* adalah :

- a. Membuat *lay out* ruang produksi

Pembenahan *lay out* atau tata ruang produksi pada UMKM akan berdampak pada meningkatnya produktifitas UMKM.



Gambar 6. Denah ruang kerja UMKM pembuat pisau *stainless steel*

Keterangan :

- | | |
|-------------------------|---------------------------------------|
| 1 = Bahan baku | 4 = Mesin gerinda/ ampelas |
| 2 = Mesin pemotong plat | 5 = kontrol kualitas ketajaman pisau. |

3 = Mesin *press tool*

6 = Bahan jadi

b. Membuat Laporan Keuangan

Manajemen keuangan yang diterapkan untuk pembelian bahan baku, upah karyawan, listrik, pajak, dan lain-lain serta penerimaan hasil penjualan pada UMK mitra dilakukan secara sederhana. Pada pelaksanaan program IbM 2017 ini dibenahi antara lain dengan memberikan pelatihan pembukuan sederhana dan diajarkan untuk membuat catatan pengeluaran dan pemasukan seperti tertera pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Buku Kas Harian

Periode bulan..... tahun.....

No.	Tanggal	URAIAN	PENERIMAAN (Rp)	PENGELUARAN (Rp)	SALDO (Rp)
Jumlah					

3. Hasil Rancang Bangun Program IbM 2017

Menurut Parmindersingh et al [2] penggunaan unit peralatan *press tool* pembuat bilah pisau *stainless steel* yang direalisasikan pada program IbM 2017 ini diyakini akan mampu meningkatkan produktifitas UMKM pembuat pisau *stainless steel*. Hal ini dikarenakan proses produksi bilah pisau dilakukan secara progresif dalam 1 (satu) langkah kerja. Apabila sebelumnya pembuatan bilah pisau secara manual membutuhkan waktu proses antara 20 menit sampai dengan 30 menit per bilah pisau, maka dengan menggunakan unit peralatan *press tool* hasil program IbM 2017 ini hanya membutuhkan waktu proses **maksimal 1 menit**.



Gambar 7. Hasil rancang bangun program IbM 2017 berupa 1 unit peralatan *press tool* pembuat bilah pisau stainless steel (Zani et al [3]), yang terpasang pada unit penekan hidraulik kapasitas 20 ton dan contoh produk bilah pisau.

ULASAN KARYA

Hasil program Program Iptek Bagi Masyarakat (IbM) 2017 ini berupa :

- a. 1 unit **peralatan *press tool* pembuat bilah pisau stainless steel** yang tidak memerlukan tenaga listrik yang disertai dengan pelatihan pengoperasian/perawatan peralatan dan pelatihan K3.
- b. Pelatihan manajemen keuangan pembukuan harian sederhana.

Dari hasil pelaksanaan program IbM 2017 ini tercatat peningkatan produktifitas dalam pembuatan bilah pisau *stainless steel*. Apabila sebelumnya pembuatan bilah pisau secara manual membutuhkan waktu proses antara 20 menit sampai dengan 30 menit per bilah pisau, maka dengan menggunakan unit peralatan *press tool* hasil program IbM 2017 ini hanya membutuhkan waktu proses **maksimal 1 menit**. Selain dari pengurangan waktu proses pembuatan bilah pisau, kualitas bentuk pisau juga terjaga, karena setiap bilah pisau produk unit peralatan *press tool* mempunyai bentuk dan ukuran yang sama.

KESIMPULAN

Dari serangkaian kegiatan IbM 2017 ini dapat disimpulkan bahwa terdapat peningkatan dalam hal kuantitas dan kualitas produk pisau *stainless steel*, yang dapat diuraikan sebagai berikut :

- Proses pemotongan bilah plat bakalan pisau dapat dihilangkan karena dapat diproses dalam sekali langkah kerja.
- Bentuk bilah pisau siap digerinda lebih seragam.
- Dari sisi keselamatan kerja, penggunaan *presstool* sederhana lebih aman karena tidak menggunakan alat pemotong tajam yang terbuka.
- Peralatan *presstool* sederhana tidak membutuhkan daya listrik karena menggunakan penekan hidraulik jenis manual.
- Sarana kerja menjadi lebih nyaman dan aman.
- Pelaporan keuangan lebih teliti dan lebih dapat dipertanggungjawabkan.

Saran – saran yang perlu disampaikan dalam pelaksanaan kegiatan IbM 2017 ini antara lain :

- Perlu adanya peran serta yang lebih sungguh-sungguh dari dinas terkait yang ada pada pemerintah daerah setempat terutama dalam membantu pemasaran produk UKM.
- Perlu dibentuk kesadaran pada UKM obyek pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat untuk membagikan pengetahuan yang didapat kepada UKM lainnya.
- Diperlukan inovasi lebih lanjut agar produk pisau lebih beragam.

DAMPAK DAN MANFAAT KEGIATAN

Dengan adanya kegiatan Program Iptek Bagi Masyarakat (IbM) 2017 ini diyakini akan mampu memberikan dampak dan manfaat yang positif pada sektor kerajinan pembuatan pisau di Kabupaten Kudus, khususnya pada kelompok UMKM pembuat pisau di Desa Bareng, Kadipolo, Kabupaten Kudus. Dampak positif tersebut antara lain adalah :

- Peningkatan mutu produk
- Peningkatan pengetahuan proses produksi dan keterampilan karyawan UMKM.
- Peningkatan penghasilan karena produktifitas yang meningkat.
-

PENGHARGAAN

Penulis menghaturkan penghargaan dan terimakasih kepada :

1. Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Ditjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kemenristekdikti yang telah mendanai kegiatan ini.

2. Ir. Supriyadi selaku Direktur Politeknik Negeri Semarang
3. Dr. Eng. Sidiq Syamsul Hidayat, ST, MT selaku Kepala P3M Politeknik Negeri Semarang.
4. Bapak Syahri Baedlowi selaku pemilik **UD. HASIL LOGAM** sebagai UMKM mitra kegiatan.
5. Segenap rekan dosen, teknisi dan mahasiswa yang telah membantu terlaksananya kegiatan program IBM 2017 ini.

Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan pelaksanaan dan pelaporan program IBM 2017 ini.

RENCANA SELANJUTNYA

Berkaitan dengan perkembangan yang ada pada UMKM obyek kegiatan IBM 2017, maka direncanakan untuk melanjutkan program ini ke Program Pengembangan Produk Eksport (PPPE).

DAFTAR PUSTAKA

- Bhawar, P.B., Shubangi A Dongare, Subham R Bhamare, 2017 :” *Design and Manufacturing of Progressive Die* ”, International Journal of New Technology and Research, ISSN : 2454-4116, Issue-4, April 2017, p.81-84.
- Parmindersingh, K, Chirag Hiremath, Bharat Odugoudar, Sana Haveri, 2015 : “*Design and Manufacturing of Progressive Press Tool* “, International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering, ISSN : 2394-2827, vol. 2, Issue-1, Feb-2015.
- Zani, Ahmad R, Ali Mahmudi, Muhammad Faisol, 2014: “ Rancang Bangun Presstool Sistem progressive Bakalan Pisau Dapur Dengan Bahan Stainless Steel AISI 304 Tebal 0,8 mm” Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang.
- Ameresh, H, P. Hari Shankar, 2013 : “*Progressive Tool Design and Analysis for 49 Lever 5 Stage Tools*”, International Journal of Computer Trend and Technology, vol. 4 Issue 7-July 2013.

PENINGKATAN KUALITAS PASIR ZIRKON ($ZrSiO_4$) MENGGUNAKAN METODE CARBOTHERMAL DAN PELINDIAN DENGAN DESAIN TAGUCHI**Muhammad Subhan¹), Zaldy Kurniawan²), dan Ilham Ary Wahyudie³)**^{1,2,3}Teknik Mesin, Polman Babel, Jl. Timah Raya, Sungailiat, 33211

zaldy.kurniawan@yahoo.com

ABSTRACT

Zirconia (ZrO_2) is one of the most useful oxides in a variety of advanced ceramic industries. Zircon sand can be purified into zirconia by various methods such as thermal dissociation, decomposition by fusion, Chlorination, Mechanical Processing, Hydrothermal Decomposition, and others. Nevertheless each method has advantages and disadvantages so it is necessary to research the use of other alternative methods in the purification. In this research, the quality of zircon sand ($ZrSiO_4$) into zirconia is done by carbothermal method. Anthracite is used as a carbon source which is added to zircon sand with an appropriate stoichiometry ratio. A mixture of zircon and anthracite sand is heated in the furnace heating room until it reaches the temperature of $1000^{\circ}C$. The process of leaching the sample using the $L_{27}(3^{13})$ orthogonal matrix experimental design. The leaching process variation consists of 4 factors and 3 levels. The leaching results were tested using X-Ray Diffraction (XRD) and X-Ray Fluorescence to determine the amount of zirconia formed. The test results were analyzed statistically using ANOVA and showed that carbothermal process followed by acid leaching process can increase zirconia levels. Optimum conditions of leaching process were the concentration of 6M solution, 2 hours stirring time, $50^{\circ}C$ temperature, and 1500 rpm rotation with error of 0.25% between confirmatory experiments with Taguchi predictions.

Keywords: Zircon sand ($ZrSiO_4$), zirconia (ZrO_2), carbothermal method, Taguchi, ANOVA**ABSTRAK**

Zirconia (ZrO_2) adalah salah satu oksida yang sangat bermanfaat dalam berbagai industri keramik maju. Pasir zirkon dapat dimurnikan menjadi zirconia dengan berbagai metode seperti *thermal dissociation, decomposition by fusion, Chlorination, Mechanical Processing, Hydrothermal Decomposition*, dan lainnya. Namun demikian setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan sehingga perlu dilakukan penelitian penggunaan metode alternatif lainnya dalam pemurnian tersebut. Tujuan penelitian ini peningkatkan kualitas pasir zirkon ($ZrSiO_4$) menjadi zirconia dilakukan dengan metode carbothermal. Antrasit digunakan sebagai sumber karbon yang ditambahkan ke dalam pasir zirkon dengan rasio stokiometri yang sesuai. Campuran pasir zirkon dan antrasit dipanaskan dalam ruang tungku pemanas hingga mencapai temperatur $1000^{\circ}C$. Proses pelindian sampel menggunakan rancangan percobaan matrik ortogonal Taguchi $L_{27}(3^{13})$. Variasi proses pelindian terdiri dari 4 faktor (konsentrasi larutan, waktu pelindian, temperatur, dan putaran) dan tiap-tiap faktor terdiri dari 3 level. Hasil pelindian diuji menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* dan *X-Ray Fluorescence (XRF)* untuk mengetahui jumlah zirconia yang terbentuk. Hasil pengujian tersebut dianalisis secara statistik menggunakan ANOVA dan menunjukkan bahwa proses carbothermal yang dilanjutkan dengan proses pelindian asam mampu meningkatkan kadar zirconia. Kondisi optimal proses pelindian adalah konsentrasi larutan 6M, waktu pengadukan 2 jam, temperatur $50^{\circ}C$, dan putaran 1500 rpm dengan kesalahan sebesar 0,25% antara eksperimen konfirmasi dengan prediksi Taguchi.

Kata Kunci: Pasir zirkon ($ZrSiO_4$), zirconia (ZrO_2), metode carbothermal, Taguchi, ANOVA

PENDAHULUAN

Zirkon Silikat ($ZrSiO_4$) atau pasir zirkon mengandung berbagai mineral berat seperti ilmenite, rutile, monazite, dan beberapa mineral pengotor lainnya (Srikanth, 2015), sehingga untuk mendapatkan kadar zirkon silikat yang lebih tinggi atau untuk mengurangi unsur pengotor dibutuhkan beberapa peralatan seperti *shaking table*, *magnetic separator*, *electrostatic separator* dan *high tension separator* (Pownceby, 2015).

Srikanth (2015) menyampaikan bahwa konsentrat zirkon merupakan bahan dasar untuk memproduksi zirconia (ZrO_2). Zirconia adalah oksida keramik penting yang memiliki sifat-sifat unggul seperti ekspansi termal rendah ($4.10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), konduktivitas listrik dan thermal yang rendah, temperatur cair dan kekerasan yang tinggi (7,5 Mohs), serta tahan terhadap kimia (Gauna, 2017). Keunggulan-keunggulan zirconia tersebut menyebabkan pemanfaatan dan aplikasinya sangat luas. Fabbri (2014) dan Yadav (2016) menyampaikan bahwa aplikasi bahan zirconia salah satunya pada bidang kesehatan sebagai bahan dental dan *Hard Tissue Replacement* implan. Selain itu, zirconia dimanfaatkan pula dalam bidang industri elektronika, otomotif, pesawat, pembangkit listrik tenaga nuklir, dan lainnya.

Zirconia dapat dihasilkan dari proses pemurnian pasir zirkon. Metode produksi zirconia yang telah diteliti dan dikembangkan antara lain metode chlorinasi, fusi sodium hidroksit, fusi sodium karbonat, campuran alkali fusi, dan pelindian sodium hidroksit. Silva (2012) memproduksi zirconyl sulphate solution dari pasir zirkon Brazil menggunakan metode alkali fusi. Pengaruh reaksi rasio massa NaOH dengan pasir zirkon, temperatur dan waktu dipelajari dalam penelitian tersebut. Proses diakhiri dengan pelindian menggunakan air.

Song, J. (2015) melakukan dekomposisi pasir zirkon dalam memproduksi hydrate zirconium oxychloride menggunakan kombinasi alkali-fusi dengan NaOH dan pelindian air. Metode Alkali fusi menggunakan NaOH sangat banyak digunakan karena penggunaan NaOH mampu bereaksi pada temperatur rendah.

Klajajevic, Lj. (2011) mensintesis serbuk zirconia/silicon carbide dan zirconia menggunakan metode reduksi carbothermal dari mineral zirkon. Pada eksperimen

yang dilakukannya telah dipelajari pengaruh rasio karbon dengan mineral zircon serta temperatur terhadap hasil sintesa. Partikel MgO ditambahkan dalam serbuk untuk menganalisis kemungkinan penurunan temperatur proses. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa produksi zirconia bergantung pada rasio carbon dengan mineral zircon.

Upaya untuk merekayasa proses pemurnian terus dilakukan setelah diketahui keunggulan sifat-sifat zirconia. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dan optimalisasi beberapa faktor terhadap proses peningkatan kadar Zirconia yang diproduksi menggunakan kombinasi proses carbothermal dan pelindian H₂SO₄. Metode Taguchi digunakan dalam eksperimen dan data eksperimen dianalisis dengan ANOVA.

METODE PENELITIAN

Zirkon yang digunakan dalam eksperimen ini merupakan mineral ikutan penambangan timah di Pulau Bangka. Sampel tersebut berukuran diameter rata-rata 140 μ m dengan komposisi kimia ditunjukkan pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1
Komposisi Kimia Zirkon (ZrSiO₄)

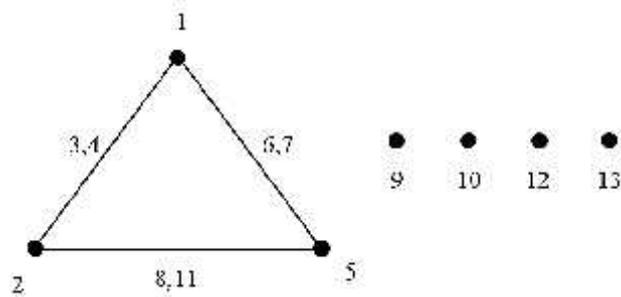
Unsur	Zr	Si	Fe	Sn	Hf	Ti	Lain-lain (<0,5%)
(%)	78,60	1,20	1,89	13,70	1,23	0,66	-

Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Proses *carbothermal* dilakukan dengan menambahkan carbon ke dalam zirkon dengan kesetimbangan stokiometri: $2\text{ZrSiO}_4 + \text{C} \rightarrow 2\text{ZrO}_2 + 2\text{SiO} + \text{CO}_2$. Sampel dicampur dengan antrasit sebagai sumber carbon dan dipanaskan hingga suhu 1000^oC selama 60 menit di dalam tanur induksi. Tujuan pemanasan sampel dengan antrasit adalah untuk memecah ikatan zirconia dan silika. Sampel yang telah dipanaskan selanjutnya dilindi menggunakan asam sulfat untuk memisahkan unsur pengotor sehingga didapatkan kadar zirconia yang lebih tinggi.

Proses pelindian dilakukan dengan variasi konsentrasi larutan asam sulfat, waktu pengadukan, temperatur, dan putaran motor pengaduk. Faktor tersebut masing-masing

dibuat 3 level dengan 2 interaksi sehingga matrik ortogonal yang digunakan adalah OA $L_{27}(3^{13})$. Matrik ortogonal tersebut menggunakan skema pemetaan grafik linear seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 sedangkan variasi level tiap faktor ditunjukkan pada tabel 2 berikut ini.



Gambar 1. Grafik linear $L_{27}(3^{13})$

Sumber: *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*, 1996

Tabel 2
Variasi Level Tiap Faktor

Kode	Faktor	Level			Derajat Kebebasan
		1	2	3	
A	Konsentrasi Larutan	4	5	6	2
B	Waktu Pengadukan	2	2,5	3	2
C	Temperatur	50	60	70	2
D	Putaran	500	1000	1500	2
E	Konsentrasi x Waktu	-	-	-	4
F	Konsentrasi x Temperatur	-	-	-	4
Total					16

Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Hasil pelindian disaring sehingga didapatkan residu. Residu dikeringkan dan dikarakterisasi menggunakan XRF dan XRD. Rangkaian proses eksperimen ditunjukkan dalam gambar 2 dimulai dari persiapan sampel (a) hingga sampel siap dikarakterisasi (f).



Gambar 2. Rangkaian Langkah Eksperimen (a hingga f)
Sumber: eksperimen, 2017

Hasil karakterisasi berupa persentase zirconia yang terbentuk merupakan respon eksperimen. Data respon tersebut diolah dengan tujuan mendapatkan nilai Rasio *Signal to Noise* dan digunakan untuk mereduksi sensitivitas karakteristik kualitas respon terhadap faktor gangguan (*noise*). Respon eksperimen adalah besarnya persentase unsur akibat perlakuan sehingga rasio S/N yang tepat untuk respon eksperimen tersebut adalah semakin nilai respon besar maka respon tersebut semakin baik. Fungsi objektif yang digunakan untuk rasio S/N (η) semakin besar-semakin baik tersebut adalah :

$$\eta = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

dengan n adalah jumlah eksperimen dan y adalah data observasi.

Analisis data hasil eksperimen dilakukan menggunakan analisis varian (ANOVA). Beberapa perhitungan digunakan seperti derajat kebebasan, jumlah kuadrat, rerata jumlah kuadrat, dan F-rasio. Beberapa rumus yang digunakan seperti :

$$SumSquare_A = \left[\sum_{i=1}^{n_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2)$$

dengan n_A adalah jumlah level faktor A, A_i adalah faktor A level ke-i, n_{Ai} adalah jumlah eksperimen faktor A level ke-i, T adalah jumlah seluruh nilai data dan N adalah jumlah data observasi.

$$Mean\ Square_A = \frac{Sum\ Square_A}{Level_A - 1} \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pembakaran pasir zircon di dalam tanur induksi dengan penambahan sejumlah carbon bertujuan untuk memecah ikatan antara zirconium dengan silica. Penggunaan suhu hingga 1000°C diharapkan mampu mereaksikan zircon dengan carbon tersebut. Perbedaan pasir zircon sebelum diberi perlakuan pemanasan dan pelindian dengan setelah diberi perlakuan ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini.



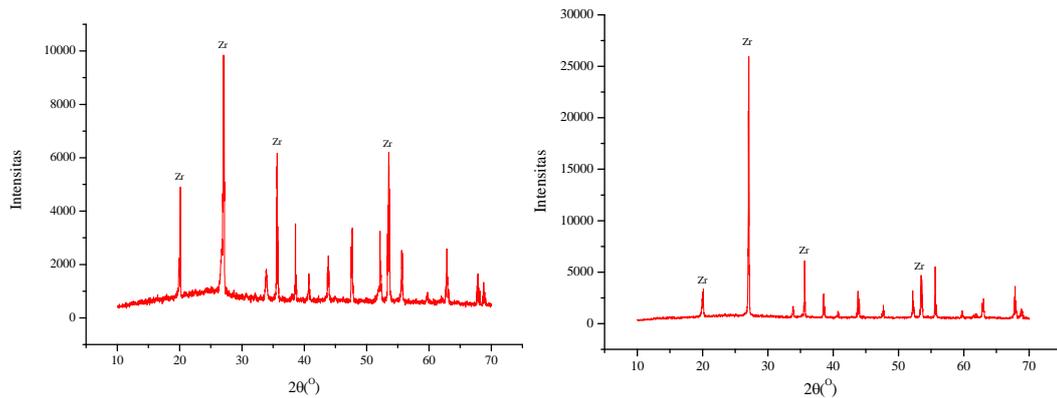
Gambar 3. Pasir zircon sebelum (kiri) dan setelah (b) diberi perlakuan
Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Komposisi kimia pasir zircon setelah dikarakterisasi menggunakan XRF menunjukkan kadar beberapa unsur menurun akibat perlakuan. Salah satu contoh hasil karakterisasi XRF dan XRD ditunjukkan pada tabel dan gambar berikut ini.

Tabel 3
Hasil Karakterisasi-XRF

Unsur	ZrO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	SnO ₂	HfO ₂	TiO ₂	
(%)	89,60	6,32	0,18	0,63	1,25	0,88	-

Sumber: Data primer yang diolah, 2017



Gambar 4. Pola difraksi sinar-x serbuk zircon
 Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Tabel 3 diatas merupakan salah satu hasil karakterisasi XRF sampel pengujian. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kadar zirconia dalam sampel akibat proses perlakuan. Sedangkan pada gambar 4 ditunjukkan contoh hasil karakterisasi XRD terhadap 2 sampel pengujian. Pada gambar tersebut terlihat perbedaan intensitas zircon diantara keduanya akibat proses perlakuan yang diberikan terhadap sampel. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Kljajevic, Lj. (2011) bahwa rasio carbon dan mineral zircon (perbandingan stokiometri) sangat berperan dalam memproduksi zirconia. Data zirconia selanjutnya direkapitulasi ke dalam tabel hasil eksperimen.

Standar Taguchi $L_{27}(3^{13})$ dipilih dalam rancangan eksperimen dan data hasil eksperimen serta perhitungan Rasio S/N karakteristik kualitas ditunjukkan pada Tabel 4. Performa karakteristik kualitas respon didasarkan pada nilai semakin besar semakin baik.

Tabel 4
 Hasil Eksperimen dan Rasio *Signal to Noise*

No. Eksperimen	Konsentrasi Larutan (A)	Waktu Pengadukan (B)	Temperatur (C)	Putaran (D)	% ZrO ₂	Rasio S/N
1	4	2	50	500	89,0	38,9878
2	4	2	60	1000	89,0	38,9878
3	4	2	70	1500	89,1	38,9976
4	4	2,5	50	1000	89,0	38,9878
5	4	2,5	60	1500	89,5	39,0365
6	4	2,5	70	500	90,0	39,0849
7	4	3	50	1500	89,4	39,0268
8	4	3	60	500	89,1	38,9976
9	4	3	70	1000	90,2	39,1041

10	5	2	50	500	90,0	39,0849
11	5	2	60	1000	90,3	39,1138
12	5	2	70	1500	90,1	39,0945
13	5	2,5	50	1000	90,5	39,1330
14	5	2,5	60	1500	90,3	39,1138
15	5	2,5	70	500	89,2	39,0073
16	5	3	50	1500	91,2	39,1999
17	5	3	60	500	90,2	39,1041
18	5	3	70	1000	90,5	39,1330
19	6	2	50	500	91,0	39,1808
20	6	2	60	1000	90,6	39,1426
21	6	2	70	1500	91,6	39,2379
22	6	2,5	50	1000	90,8	39,1617
23	6	2,5	60	1500	90,1	39,0945
24	6	2,5	70	500	89,6	39,0462
25	6	3	50	1500	91,0	39,1808
26	6	3	60	500	89,6	39,0462
27	6	3	70	1000	90,0	39,0849

Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Tabel 5 dibawah ini merupakan tabel rerata respon akibat pengaruh faktor-faktor yang telah ditetapkan. Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa faktor yang terpenting dan memiliki pengaruh signifikan adalah faktor konsentrasi larutan (A) level 3, faktor interaksi antara konsentrasi larutan dengan waktu pengadukan (AxB), faktor interaksi antara konsentrasi larutan dengan temperatur (AxC), serta faktor putaran (D) level 3.

Tabel 5
Respon Rerata

Level	A	B	AXB(1)	AXB(2)	C	AXC(1)	AXC(2)	D
1	89,37	90,08	89,94	89,74	90,21	89,72	89,93	89,74
2	90,26	89,89	89,94	90,40	89,86	90,06	90,02	90,10
3	90,48	90,13	90,21	89,96	90,03	90,32	90,14	90,26
Delta	1,11	0,24	0,27	0,66	0,36	0,60	0,21	0,51
Rangking	1	7	6	2	5	3	8	4

Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Interaksi antara AxB dan AxC dapat disebar sehingga dapat dilihat nilai level tiap faktor yang berinteraksi secara serentak. Tabel 6 berikut ini adalah sebaran rerata interaksi berdasar faktor dan levelnya. Berdasar pada tabel tersebut nilai terbesar adalah interaksi antara A3xB1 yakni sebesar 91,067.

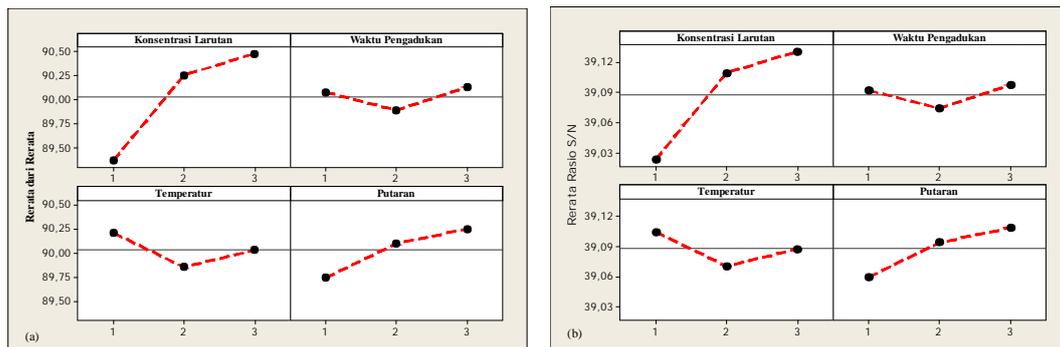
Tabel 6
Sebaran Rerata Interaksi

Interaksi	A1	A2	A3
B1	89,033	90,133	91,067
B2	89,500	90,000	90,167
B3	89,567	90,633	90,200
C1	89,133	90,567	90,933

C2	89,200	90,267	90,100
C3	89,767	89,933	90,400

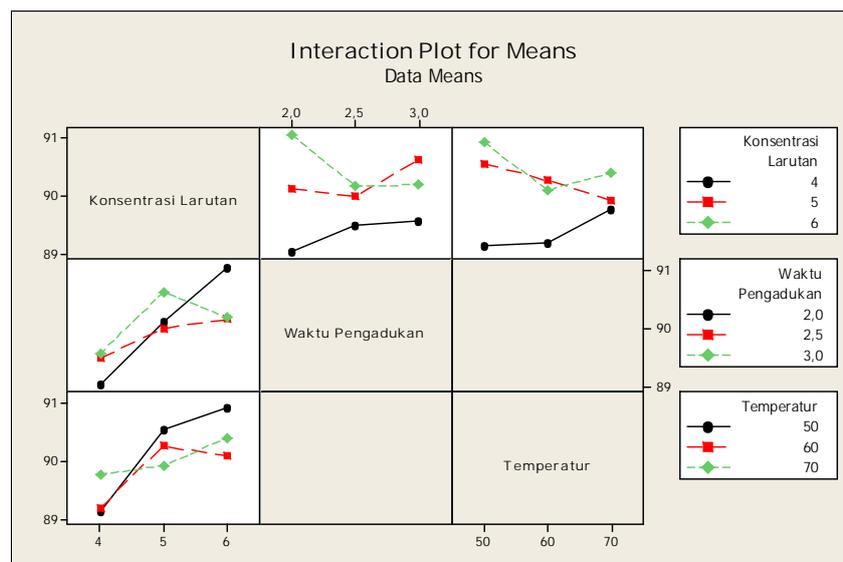
Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Gambar 5 dibawah ini merupakan grafik pengaruh utama dari rerata dan rasio S/N tiap faktor. Pada grafik tersebut ditunjukkan bahwa kombinasi antara konsentrasi larutan (level 3), waktu pengadukan (level 1), temperatur (level 1), serta putaran (level 3) menghasilkan respon yang maksimal.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Utama Rerata (a) dan Rasio Signal to Noise (b)
 Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Grafik interaksi rerata antara konsentrasi larutan dengan waktu pengadukan serta temperatur ditunjukkan pada gambar 6. Kemiringan garis data diartikan sebagai kekuatan interaksi antar faktor. Grafik interaksi mempertegas hubungan antar faktor yang dipilih.



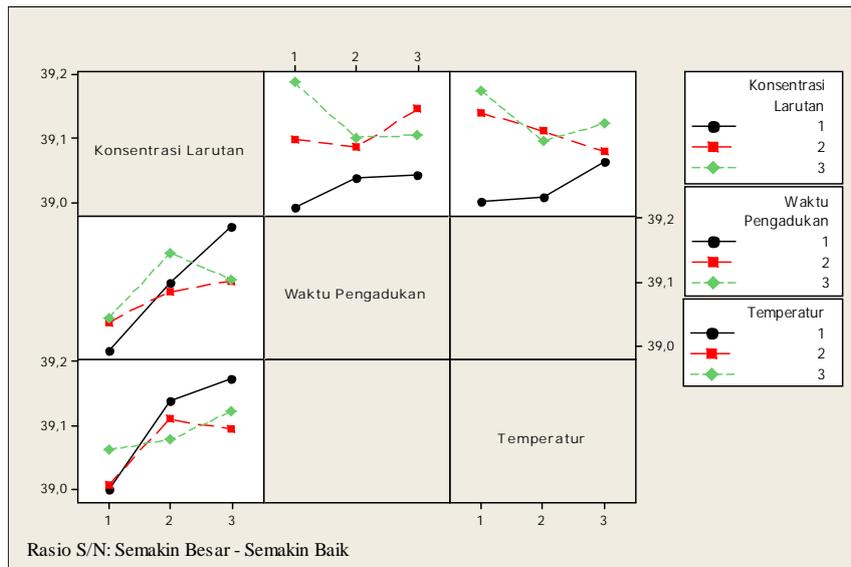
Gambar 6. Grafik Interaksi Rerata
 Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Nilai respon rasio S/N menunjukkan bahwa faktor dan interaksi faktor yang berpengaruh terhadap respon tidak ada perbedaan dengan respon rerata. Tabel 7 menampilkan nilai respon rasio S/N. Interaksi antar faktor untuk rasio S/N ditunjukkan pada Gambar 7.

Tabel 7
 Respon Rasio *Signal to Noise*
 (Semakin besar, semakin baik)

Level	A	B	AXB(1)	AXB(2)	C	AXC(1)	AXC(2)	D
1	39,02	39,09	39,08	39,06	39,10	39,06	39,08	39,06
2	39,11	39,07	39,08	39,12	39,07	39,09	39,09	39,09
3	39,13	39,10	39,10	39,08	39,09	39,12	39,10	39,11
Delta	0,11	0,019	0,026	0,063	0,031	0,058	0,021	0,05
Rangking	1	7	6	2	5	3	8	4

Sumber: Data primer yang diolah, 2017



Gambar 7. Grafik Interaksi Rerata
 Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Tabel 8 menampilkan analisis varian untuk rasio S/N terhadap produksi zirconia dengan nilai R^2 sebesar 90,4%. Berdasar pada tabel tersebut konsentrasi larutan memberikan kontribusi terbesar dibandingkan faktor waktu pelindian, temperatur, serta putaran. Nilai ρ sebesar 22,48% menjadikan faktor konsentrasi larutan mendominasi kontribusi sekaligus mempengaruhi nilai respon. Faktor interaksi antara

konsentrasi larutan dan waktu pengadukan serta interaksi antara konsentrasi larutan dan temperatur berturut-turut menjadi faktor terbesar setelah faktor konsentrasi larutan yakni sebesar 13,18% dan 10,08%.

Tabel 8
Analisis Varian Rasio S/N Terhadap % Zirconia

Sumber	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	ρ (%)
Konsentrasi Larutan (A)	2	0,058	0,058	0,029	23,22	22,48
Waktu Pengadukan (B)	2	0,003	0,003	0,001	1,09	1,55
Temperatur (C)	2	0,005	0,005	0,003	2,09	1,55
Putaran (D)	2	0,011	0,011	0,006	4,58	3,88
AxB	4	0,023	0,023	0,006	4,53	13,18
AxC	4	0,017	0,017	0,004	3,42	10,08
Error	10	0,012	0,012	0,001		
Total	26	0,129	0,129			
SD = 0,035		$R^2 = 90,4\%$		$R^2(\text{adj}) = 74,9\%$		

Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Prediksi nilai optimal dari faktor-faktor yang berpengaruh pada eksperimen taguchi terhadap produksi rata-rata zirconia adalah faktor konsentrasi larutan (A_3), faktor interaksi antara konsentrasi larutan (A_3) dengan waktu pengadukan (B_1), faktor interaksi konsentrasi larutan (A_3) dengan temperatur (C_1), serta faktor lama pengadukan (D_3). Nilai μ_{prediksi} sebesar 91,744 dengan nilai rasio S/N 39,2523 dB.

Eksperimen konfirmasi dilakukan sesuai dengan prediksi nilai rata-rata faktor optimal. Kondisi optimal tersebut adalah faktor konsentrasi larutan diatur sebesar 6M, waktu pengadukan 2 jam, temperatur 50°C, dan putaran 1500 rpm. Persentase rasio S/N pada eksperimen konfirmasi yang dilakukan sebanyak 8 sampel menghasilkan % error yang sangat kecil jika dibandingkan dengan nilai prediksi yakni sebesar 0,25% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9
Hasil Eksperimen Konfirmasi

Level	Parameter Optimal		Error (%)
	Prediksi	Eksperimen	
Rerata	$A_3B_1C_1D_3$ 91,744	$A_3B_1C_1D_3$ 90,713	1,12
Rasio S/N	39,2523	39,1524	0,25

Sumber: Data primer yang diolah, 2017

SIMPULAN

Peningkatan kadar zirconia dari pasir zirkon menggunakan kombinasi metode carbothermal dan pelindian telah dilakukan. H_2SO_4 digunakan dalam proses pelindian dengan matrik ortogonal $L_{27}(3^{13})$ sebagai rancangan percobaan. Faktor yang paling berpengaruh dalam proses pelindian pada eksperimen ini adalah konsentrasi larutan, putaran stirer, interaksi konsentrasi larutan dengan waktu pengadukan, serta interaksi antara konsentrasi larutan dengan temperatur. Kondisi optimal proses pelindian adalah konsentrasi larutan 6M, waktu pengadukan 2 jam, temperatur $50^{\circ}C$, dan putaran 1500 rpm dengan kesalahan sebesar 0,25% antara eksperimen konfirmasi dengan prediksi.

Produk zirconia yang dihasilkan selanjutnya akan digunakan sebagai bahan penguat komposit. Langkah yang akan dilakukan adalah memperkecil ukuran zirconia dengan proses *ball mill*. Hasil proses *ball mill* dipergunakan sebagai penguat komposit matrik logam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Penguatan Risbang – DRPM – Kemristek Dikti RI yang telah mendukung seluruh dana kegiatan penelitian ini (Kontrak Nomor: 015/SP3-PEN/P3KM/IV/2017).

DAFTAR PUSTAKA

- Fabrizi, P., Piconi, C., Buresi, E., Magnani, G., Mazzanti, F., Mingazzini, C. (2014). Lifetime estimation of a zirconia-alumina composite for biomedical applications. *Dental Materials*, 30, 138-142.
- Gauna, M. R., Rendtorff, N. M., Conconi, M. S., Suarez, G., Pasquevich, A., Rivas, P. C., Damonte, L. (2017). Fine zircon ($ZrSiO_4$) powder mechanical activation, a Perturbed Angular Correlation (PAC) analysis. *Ceramics International*, 43, 11929-11934.
- Kljajevic, Lj., Matovic, B., Radosavljevic-Mihajlovic, A., Rosic, M., Boskovic, S., Devecerski, A. (2011). Preparation of ZrO_2 and ZrO_2/SiC powders by carbothermal reduction of $ZrSiO_4$. *Journal of Alloys and Compounds*, 509, 2203-2215.
- Park, S. H. (1996). *Robust design and analysis for quality engineering*. Great Britain, UK: Chapman and Hall.
- Pownceby, M. I., Sparrow, G. J., Aral, H., Smith, L. K., Bruckard, W. J. (2015) Recovery and processing of zircon from Murray Basin mineral sand deposits, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 124:4, 240-253.
- Silva, R. J. F., Dutra, A. J. B., Afonso, J. C. (2012). Alkali fusion followed by a two-
-

- step leaching of a Brazilian zircon concentrate. *Hydrometallurgy*, 117-118, 93-100.
- Song, J., Fan, J. F., Liu, J. C., Liu, R., Qu, J. K., Qi, T. (2015). A two-step zircon decomposition method to produce zirconium oxychloride: alkali fusion and water leaching. *Rare Metals*, 1-7.
- Srikanth, S., Devi, V. L., Kumar, R. (2015). Unfolding the complexities of mechanical activation assisted alkali leaching of zircon ($ZrSiO_4$). *Hydrometallurgy*, 165, 125-136.
- Yadav, A. K., Ponnilavan, V., Kannan, S. (2016). Crystallization of $ZrSiO_4$ from a SiO_2 - ZrO Binary System: The Concomitant Effects of Heat Treatment Temperature and TiO Additions. *Crystal Growth and Design*, 16, 5493-5500. doi:10.1021/acs.cgd.6b00959

PENERAPAN SISTEM VAKUM HPDC MANUAL UNTUK PENINGKATAN KUALITAS PRODUK IKM PENGECORAN ALUMINIUM ADC12**Paryono¹⁾, Ly Sutadi²⁾, Gutomo³⁾**

¹⁾ Jurusan Teknk Mesin Politeknik Negeri Semarang, Kota Semarang
paryono.7@pnsmail.go.id

ABSTRACT

The motorcycle industry in Indonesia is remarkable improvement, It is a great opportunity for the aluminum casting industry to be able to supply the components of the motorcycle. IKM of foundries have not been able to meet the technical requirements, so IKM has not dared to take part in this opportunity. The purpose of this reaserch was to examine the effect of vacuum pressure on porosity, and mechanical properties on manual high pressure die casting results. The specific objective of this research is to enable IKM to improve the quality of castings, especially in reducing porosity and improving mechanical properties by converting from sand molds (which have been used) to casting with metal molds (high pressure systems) plus a vacuum system. The method of this research is: the selection of ADC12 casting materials, the manufacture of precise casting machine, the making of vacuum metal molding machine, specimen-making casting, porosity testing, mechanical properties testing (hardness). Followed by data retrieval and data analysis. The variables of this research are fixed variable that is casting temperature 700^oC, and depend variable are that is the speed of injection casting and vacuum pressure that is: -250mbar, -350mbar, and -400 mbar. The average hardness of castings found with manual vacuum high pressure die casting system is 57.33 HRB, and the porosity level is 0.2015%. Thus there is a significant increase in mechanical strength and a significant decrease in porosity when compared to casting the vacuum gravity die casting system resulting in a porosity of 0.2097% and hardness of 52.45 HRB.

Keywords: *manual high pressure die casting, porosity, vacuum pressure, injection speed*

ABSTRAK

Industri sepeda motor di Indonesia yang luar biasa peningkatannya, hal ini merupakan peluang yang besar bagi industri pengecoran aluminium untuk dapat menyediakan komponen sepeda motor tersebut. IKM pengecoran belum mampu untuk memenuhi persyaratan teknis, sehingga IKM belum berani untuk ambil bagian dalam peluang ini. Tujuan penelitian ini adalah untuk meneliti pengaruh tekanan vakum terhadap **porositas**, dan sifat mekanik terhadap hasil pengecoran tekanan tinggi manual. Sasaran khusus penelitian ini adalah agar IKM dapat meningkatkan kualitas hasil coran khususnya dalam menurunkan porositas dan meningkatkan sifat mekanik dengan cara mengubah dari cetakan pasir (yang selama ini digunakan) ke pengecoran dengan cetakan logam (sistem tekanan tinggi) ditambah dengan sistem vakum. Metode penelitian ini adalah: pemilihan bahan coran ADC12, pembuatan mesin pengecoran tepat guna, pembuatan cetakan logam sistem vakum, pengecoran pembuatan spesimen, pengujian porositas, pengujian sifat mekanik (kekerasan). Dilanjutkan dengan pengambilan data dan analisis data. Variabel penelitian ini meliputi variabel tetap yaitu temperatur tuang 700^oC, dan variabel tidak tetap yaitu kecepatan injeksi pengecoran dan tekanan vakum yaitu: -250mbar, -350mbar, dan -400 mbar. Kekerasan rata-rata benda tuang hasil pengecoran dengan sistem *manual vacuum high pressure die casting* didapat sebesar 57,33 HRB, dan tingkat porositas sebesar 0,2015%. Dengan demikian ada peningkatan kekuatan mekanis dan penurunan porositas yang signifikan jika dibandingkan dengan penguangan sistem *vacuum gravity die casting* yang menghasilkan porositas sebesar 0,2097% dan kekerasan 52,45 HRB

Kata Kunci: *manual high pressure die casting, porositas, tekanan vakum, kecepatan injeksi*

PENDAHULUAN

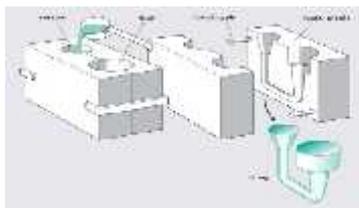
Industri sepeda motor di Indonesia pada beberapa tahun terakhir ini berkembang sangat pesat, sekitar 8 juta sepeda motor diproduksi pada tahun 2014. (<http://www.aisi.or.id/statistic/>). Keadaan ini merupakan peluang besar bagi para pelaku Industri Kecil Menengah (IKM) di bidang pengecoran aluminium. yang banyak terdapat di Juwana, Pati, Jawa Tengah, untuk mencoba membuat produk berupa komponen sepeda motor sekaligus sebagai penganekaragaman produk yang selama ini IKM pengecoran aluminium, hanya memproduksi barang-barang yang nilai tekniknya rendah.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh tekanan kevakuman terhadap porositas dan sifat mekanik spesimen dari bahan yang dicor dengan menggunakan cetakan logam dengan sistem *high pressure die casting* yang dikombinasikan dengan tekanan vakum

Pengecoran pada cetakan permanen dengan penambahan vakum dapat mempertahankan semua keuntungan yang ada pada pengecoran tekanan rendah cetakan permanen, ditambah gas yang terlarut dalam logam cair diminimalkan dan kebersihan logam cair lebih baik. Proses ini dapat menangani profil berdinding tipis dan memberikan permukaan akhir yang sangat baik. Sifat mekanik biasanya 10 sampai 15% lebih baik dari pengecoran gravitasi cetakan permanen.

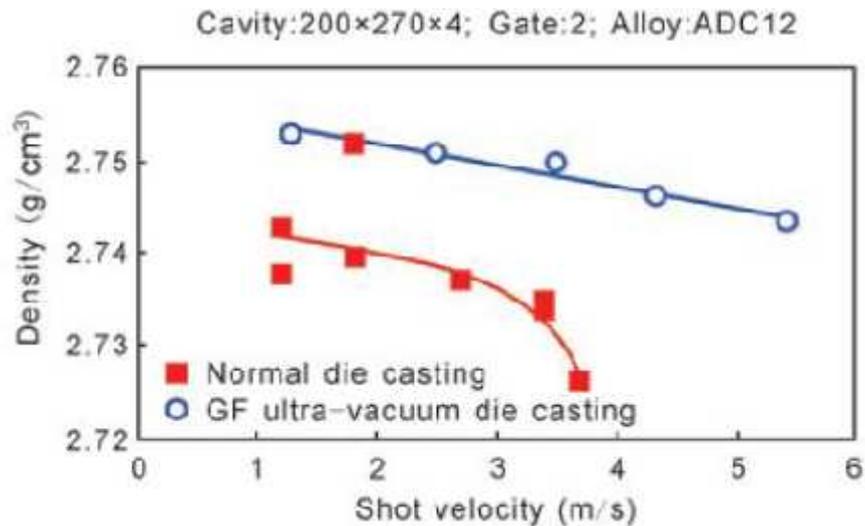
Cetakan dilakukan *pre-heated* sampai 200⁰ C sebelum logam cair dituang dalam *cavity*. Material yang dapat dituang dengan baik termasuk Aluminium, Magnesium, dan paduan kuningan. Type komponennya adalah roda gigi, splines, roda, rumah injeksi bahan bakar, torak.

Cetakan permanen sistem vakum prinsip kerjanya dapat dijelaskan sebagai berikut: Vakum menghisap logam cair ke dalam cetakan, **tidak diperlukan riser**, jadi dapat mengurangi pemborosan, tegangan luluh lebih baik. Gambar 1 menunjukkan prinsip kerja dari *gravity die casting*, sedangkan prinsip kerja vakum *gravity die casting* adalah **riser diganti dengan sistem vakum**.



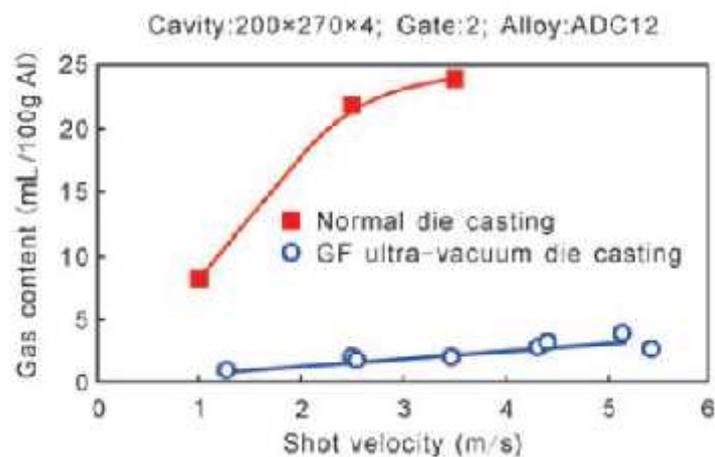
Gambar 1 Skema Gravity die casting (<http://www.learneasy.info/MDME/>)

Penelitian Uchida menggunakan bahan ADC 12 menghasil data sebagai berikut:



Gambar 2 Densitas bahan dengan variasi kecepatan pengisian cetakan. (Masashi Uchida: 2009)

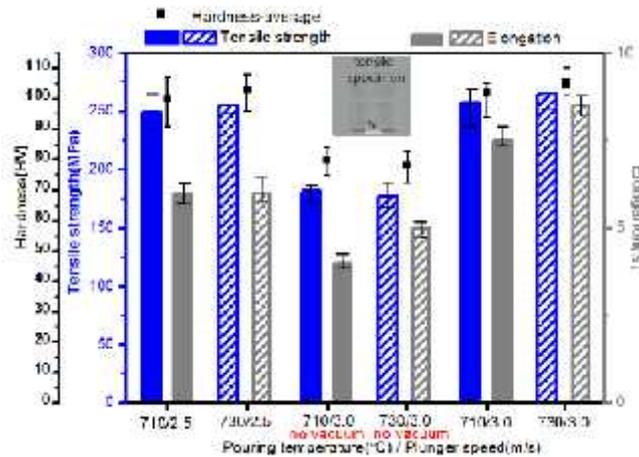
Gambar 2 diatas menunjukkan bahwa densitas hasil penuangan dengan sistem vakum akan lebih tinggi dibanding dengan penuangan yang normal tanpa vakum, ini berarti porositas hasil coran turun. Sedangkan besarnya kandungan gas yang terjadi, pada proses vakum juga lebih sedikit dibandingkan dengan proses yang biasa. (gambar 3).



Gambar 3 Kandungan gas yang terjadi pada pengecoran dengan berbagai kecepatan pengisian cetakan. (Masashi Uchida: 2009)

Penelitian Chul Kyu Jin, dkk (2015), dengan menggunakan material Aluminium (AlSi9MgMn), dilakukan penuangan dengan tekanan vakum 250mbar, dan kecepatan pengisian cetakan 0,3m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat mekanis

(kekerasan dan kekuatan tarik) dari hasil tuang sistem vakum lebih tinggi jika dibanding dengan hasil pengecoran tanpa vakum. (Gambar 4)



Gambar 4 Sifat mekanik dari hasil pengecoran sistem vakum dengan berbagai parameter. (Chul Kyu Jin, dkk :2015)

METODE

Untuk membuat cetakan logam sistem vakum (*vacuum high pressure die casting*) yang dapat menghasilkan coran dengan porositas dan sifat mekanis yang lebih baik dari pada cetakan pasir dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- a) Merancang mesin manual *vacuum high pressure die casting* digunakan untuk mencetak *aluminum Die casting*
- b) Pengadaan Bahan dan peralatan , di lokal semarang dan Mojokerto.
- c) Pembuatan / realisasi rancangan manual *vacuum high pressure die casting*
- d) Uji coba Cetakan
- e) Pembuatan spesimen uji
- f) Pengujian spesimen: uji porositas/densitas, uji kekerasan

Bahan penelitian adalah : Paduan aluminium ADC12, dengan komposisi kimia:

Al	Si	Cu	Mg	Zn
Bal.	12,7	1,9	0.122	5,2

Peralatan penelitian, meliputi peralatan untuk pembuatan Cetakan dan peralatan untuk pengujian produk/spesimen hasil pengecoran. Peralatan untuk pembuatan cetakan adalah mesin –mesin perkakas (bubut, Milling, Bor,mesin CNC milling, dan mesin las). Peralatan untuk pengujian adalah: Mesin uji kekerasan, timbangan digital, (pengujian porositas), dan dapur listrik. Variabel penelitian meliputi temperatur tuang

(pencairan ingot) dibuat tetap yaitu 700°C , sedangkan variabel tidak tetap : tekanan vakum: -250 mbar, -350 mbar, dan -400 mbar edangkan temperatur cetakan : 200, derajat celcius.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan adalah alat cetak manual HPDC *die casting* sistem vakum sederhana yang dipasang pada mesin, alat ini dapat digunakan untuk mencetak spesimen dalam bentuk yang dikehendaki dengan cara mengganti cetakan yang digunakan. Bentuk peralatan tersebut seperti ditunjukkan pada gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5 Alat Cetak *manual vacuum hpdc*

Pada penelitian ini cetakan yang digunakan adalah cetakan untuk membentuk benda spesimen uji tarik, bentuk spesimen seperti pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6 Spesimen benda uji

Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan selanjutnya disusun seperti pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Data hasil Pengujian Kekerasan pengaruh tekanan Vakum

No.	Tekanan Vakum	Kekerasan posisi 1 (HRB)	Kekerasan posisi 2 (HRB)	Kekerasan posisi 3 (HRB)	Kekerasan Rata-rata
1	-250 mbar a.	44 48	54 52	54 58	50,67 52,67
	b.				
2	-300 mbar a.	48 48	52,5 58	58 59,5	52,83 55,17
	b.				
3	-400 mbar a.	59 54	59,5 58,5	48 59,5	55,33 57,33
	b.				

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kekuatan mekanik (kekerasan) coran ADC12 dengan sistem manual *Vacuum* terpengaruh besarnya tekanan vakum, hal ini dibuktikan pada tekanan vakum -250mbar, kekerasan benda 52,67 HRB, sedangkan pada tekanan vakum -400mbar kekerasan benda mencapai 57,33 HRB.

Hasil Pengujian Porositas

Hasil pengujian porositas pada spesimen disusun seperti pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2 Data hasil pengujian porositas pengaruh tekanan vakum

No	Tekanan vakum	Volume spesimen (cm ³)	Massa spesimen (gr)	ρ_m , gr/ cm ³	ρ_{th} , gr/ cm ³	Porositas %	Porositas rata-rata %
1	-250 mbar	1,9126	5,2461	2,7429	2,7500	0,2582	0,24
		0,9951	2,7305	2,7439	2,7500	0,2218	
2	-300 mbar	1,5684	4,3032	2,7437	2,7500	0,2291	0,2182
		1,4322	3,9304	2,7443	2,7500	0,2073	
3	-400 mbar	1,6845	4,6280	2,7454	2,7500	0,1673	0,1655
		0,9464	2,5993	2,7455	2,7500	0,1636	
Porositas rata total							0,2079

Porositas pada pengecoran sistem annual *Vacuum hpdc* terpengaruh oleh besarnya tekanan vakum yang diberikan pada saat proses penuangan logam cair ke dalam cetakan, hal ini bisa dilihat pada tabel 2. Pada tekanan vakum -250 mbar porositas yang terjadi 0,24% sedangkan pada tekanan vakum -400 mbar porositas yang terjadi sebesar 0,1655%.

Penurunan porositas berakibat pada naiknya kekerasan bahan, dari data ini dapat dikatakan bahwa *Vacuum gravity die casting* aliran naik dapat digunakan untuk

menurunkan porositas coran yang sekaligus akan meningkatkan sifat mekanik hasil coran.

Perbandingan antara pengecoran dengan sistem cetakan logam *Vacuum gravity die casting* dengan manual *Vacuum hpdc* terhadap porositas yang terjadi adalah bahwa pengecoran dengan manual *Vacuum hpdc* menghasilkan porositas yang lebih rendah. Menurut Paryono, dkk (2015) bahwa porositas yang terjadi pada cetakan logam dengan sistem *Vacuum gravity die casting* untuk bahan ADC 12 adalah sebesar 0,2097%, sedangkan dengan sistem manual *Vacuum hpdc* porositas rata-rata dapat mencapai 0,2079%.

Penurunan porositas pada manual *Vacuum hpdc* diakibatkan bahwa udara pada rongga cetak ditarik keluar ke atas pada saat logam cair dituangkan, sehingga udara yang terjebak adalah sangat minim dan logam cair mengalir lebih cepat.

KESIMPULAN

- a. Tekanan vakum berpengaruh pada sifat mekanik (kekerasan) hasil coran pada proses pengecoran dengan manual *Vacuum hpdc*, dengan kenaikan tekanan vakum akan meningkat pula kekerasan bahan hasil penuangan. Pada tekanan vakum -250mbar kekerasan bahan sebesar 52,67 HRB, sedangkan pada tekanan vakum -400mbar kekerasan bahan sebesar 57,33 HRB.
- b. Tekanan vakum berpengaruh pada besarnya porositas, dengan kenaikan tekanan vakum akan semakin menurun porositas bahan hasil penuangan dengan sistem manual *Vacuum hpdc* Pada tekanan vakum -250mbar porositas bahan sebesar 0,24%, sedangkan pada tekanan vakum -400mbar porositas bahan sebesar 0,1655%.
- c. Perbandingan porositas penuangan dengan sistem *Vacuum gravity die casting* dengan manual *Vacuum hpdc* adalah bahwa dengan penerapan manual *Vacuum hpdc* menghasilkan lebih rendah porositas yang terjadi (0,2097%) dibanding 0,2079%

DAFTAR PUSTAKA

- Chul Kyu Jin, dkk, 2015, *Vacuum Die Casting Process and Simulation for Manufacturing 0.8 mm-Thick Aluminum Plate with Four Maze Shapes*, Journal Metals ISSN **2075-4701** 2015 vol 5, pp 192-205
- Masashi Uchida, 2009, *Development of vacuum die-casting process*, China Foundry, Vol 6, No 2.
- <http://www.learneasy.info/>), diakses tanggal 15 Maret 2017.

KARATERISTIK MUTU SE'I TUNA YANG DIPROSES MENGGUNAKAN METODE LIQUID SMOKING, SMOKING CABINET DAN TUNGKU TRADISIONAL**Aloysius Leki^{1*} Mamiiek Mardyaningsih²**¹Teknik Mesin, Politeknik Negeri Kupang, Penfui Kupang Nusa Tenggara Timurrio_angga@yahoo.com**ABSTRACT**

This study aims to determine the quality of se'i Tuna processed using liquid smoking, smoking cabinet and traditional furnace. Such processes are expected to be an eco-friendly alternative, does not cause harm to carcinogens but otherwise produce fish of good quality. Raw material in this study is tuna fish which became priority commodity in East Nusa Tenggara. While raw materials for liquid smoking comes from kusambi and fumigation comes from wood leaf kesambi. The tuna fish were smoked using liquid smoking (LS), smoking cabinet (SC) and traditional furnace (TTr), then analyzed quality of smoked fish including organoleptic and proximate analysis (protein, water and ash content), pH, Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs), carbonyl compounds covered phenol and formaldehyde. The method uses 3x3 factorial pattern covering different smoked method with three replications. The results showed that different methods gave very significant differences ($p < 0.01$) to proximate values (protein, fat water and ash levels). The content of phenol, formaldehyde and higher acid compounds was using traditional stove methods. As conclusion, that these three fumigation methods could be applied to processing of smoked fish (se'i fish), even though there is a specific characteristic to the product such as appearance, smell, taste, texture and taste.

Key words: *characteristics, quality, proximate, organoleptic, se'i tuna.*

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui mutu se'i tuna yang diproses menggunakan *liquid smoking*, *smoking cabinet* dan tungku tradisional. Penggunaan *liquid smoking*, *smoking cabinet* dan tungku tradisional diharapkan dapat menjadi alternatif metode pengasapan yang ramah lingkungan, tidak menimbulkan bahaya karsinogen, serta menghasilkan mutu se'i tuna yang baik. Dalam penelitian ini menggunakan bahan baku ikan tuna yang merupakan komoditas unggulan di Nusa Tenggara Timur. Sedangkan bahan baku untuk *liquid smoking* menggunakan liquid smoke kesambi dan bahan bakar untuk pengasapan menggunakan arang kayu daun kesambi. Sampel ikan tuna diasapi menggunakan teknologi *liquid smoking* (LS), *smoking cabinet* (SC) dan tungku tradisional (TTr), kemudian dilakukan analisis terhadap mutu se'i tuna meliputi organoleptik dan analisis proksimat (kadar protein, lemak, air dan abu), pH, kadar *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAHs), senyawa karbonil meliputi *phenol* dan *formaldehyde*. Rancangan penelitian ini menggunakan pola faktorial 3x3 meliputi perbedaan metode pengasapan dengan tiga kali ulangan. Hasil penelitian menunjukkan metode pengasapan yang berbeda memberikan perbedaan sangat nyata terhadap nilai proksimat (kadar protein, lemak, air dan abu). Kandungan *phenol*, *formaldehyde* dan senyawa asam yang lebih tinggi adalah menggunakan metode tungku tradisional. Sehingga dapat disimpulkan, bahwa ketiga metode pengasapan tersebut dapat diterapkan untuk pengolahan se'i tuna (ikan asap), meskipun terdapat kecenderungan karakteristik yang spesifik pada produk yang dihasilkan dalam hal kenampakan, bau, rasa, tekstur dan rasa.

Kata kunci: *karakteristik, mutu, proksimat, organoleptik, se'i tun*

Pendahuluan

Ikan dan hasil perikanan lainnya merupakan bahan pangan yang mudah membusuk, untuk itu diperlukan proses pengolahan dan pengawetan yang bertujuan untuk menghambat bahkan menghentikan aktivitas zat-zat dan mikroorganisme perusak atau enzim-enzim yang dapat menyebabkan kemunduran mutu dan kerusakan (Rafitah Hasanah dan Iwan Suyatna, 2015). Untuk menanggulangi hal tersebut dibutuhkan suatu cara pengawetan dan pengolahan yang dapat mempertahankan daya awet ikan tanpa mengurangi nilai gizi secara maksimal. Pengawetan diartikan sebagai suatu usaha untuk mempertahankan mutu ikan atau memperpanjang masa simpan ikan, sehingga ikan masih bisa dimanfaatkan dan dikonsumsi dalam kondisi baik dan layak (Murniyati dan Sunarwan, 2000 dalam Rafitah Hasanah dan Iwan Suyana, 2015).

Pengasapan merupakan salah satu cara untuk mengawetkan ikan agar tidak terjadi pembusukan dan menjaga nilai gizinya. Pengasapan juga berfungsi untuk menambah citarasa dan warna yang spesifik pada makanan serta bertindak sebagai antibakteri dan antioksidan (Adawiyah, 2008 dalam Rafitah Hasanah dan Iwan Suyatna, 2015). Mutu se'i tuna merupakan gambaran karakteristik dari produk tersebut yang mempengaruhi akseptabilitas konsumen.

Nusa Tenggara Timur memiliki produksi sumberdaya perikanan laut potensial yang perlu didukung untuk dikembangkan melalui teknologi tepat guna. Satu diantara produk yang sudah dikenal adalah ikan se'i tuna atau biasa dikenal dengan bahasa lokal se'i tuna. Produk olahan ini masih bersifat tradisional, karena masih menggunakan cara sederhana dalam penggunaan teknis pengolahannya termasuk pemakaian bahan bakar. Cara pengasapan ikan sebagian besar belum mempertimbangkan faktor kesehatan dan keamanan pangan. Disamping itu pengasapan tradisional seringkali memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, serta timbul kekhawatiran konsumen terhadap senyawa karsinogenik dan polusi udara, namun kenyataannya hasil produk tetap digemari oleh masyarakat.

Umumnya, masyarakat pengolah tergolong masyarakat dengan pengetahuan yang kurang, sehingga peralatan pengasapan tidak dilengkapi dengan cerobong asap karena mahalnya biaya pembuatannya, pengasapan menggunakan alat yang sederhana kurang praktis dan tidak produktif. Sehingga perlu dikembangkan teknologi pengasapan yang semi modern dan modern serta masyarakat mudah menggunakannya. Pemanfaatan

smoking cabinet dan *liquid smoking* sebagai alternatif metode pengasapan yang ramah lingkungan dan menjamin keamanan pangan sudah saatnya diterapkan di Indonesia umumnya dan Nusa Tenggara Timur khususnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi mutu dan kandungan PAH yang salah satunya adalah senyawa Benzo()Pyrene pada se'i tuna yang diproses menggunakan metode *liquid smoking*, *smoking cabinet* dan tungku tradisional.

Materi dan Metode

Penelitian ini menggunakan ikan tuna dengan ukuran panjang ± 30 cm, berat rata-rata 2 kg yang berasal dari TPA Oeba kota Kupang. Bahan bakar untuk pengasap pada metode *smoking cabinet* dan tungku tradisional adalah kayu kesambi, sedangkan pada metode *liquid smoking* menggunakan asap cair daun kesambi (Mamiék, M., 2016). Bahan pembantu adalah garam, lada dan bawang putih.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental, pada metode *smoking cabinet* dan tungku tradisional ikan tuna yang sudah *difillet* direndam dengan bahan pembantu selama 10 menit, selanjutnya proses pengasapan selama ± 3 jam, sedangkan untuk metode *liquid smoking* dari perendaman dengan bahan pembantu dilanjutkan perendaman dalam larutan asap cair daun kesambi 1,5 % selama 10 menit, selanjutnya proses oven selama ± 1 jam.

Prosedur pengujian organoleptik (SNI No.01-2725.1-2009)

Uji organoleptik merupakan uji mutu suatu bahan dengan bantuan alat indera manusia. Organoleptik se'i tuna menggunakan SNI No.01-2725.1-2009. Nilai score sheet terdiri dari 9 untuk paling baik dan 1 untuk yang terjelek. Kedua uji organoleptik dilakukan oleh 10 orang panelis terdidik dari para dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Kupang dan ibu-ibu rumah tangga di kampung Tuak Daun Merah Kota Kupang.

Pengujian Kadar Protein (SNI No.01-2354.4-2006)

Penentuan kadar protein dilakukan dengan metode Kjeldahl. Pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga tahapan yaitu proses destruksi, destilasi dan titrasi. Dalam proses destruksi sampel dipanaskan dengan H₂SO₄ pekat sehingga terurai menjadi unsur-unsurnya. Agar proses lebih cepat digunakan katalisator Na₂SO₄, CuSO₄, dan selenium. Proses destruksi selesai bila larutan sudah jernih atau tidak berwarna. Tahap

destilasi yaitu amonium sulfat dipecah menjadi amonia dengan penambahan NaOH sampai alkalis dan dipanaskan. Amonia yang terbentuk ditampung dalam H_3BO_3 pekat yang sudah diberi indikator BCG dan methyl red. Jumlah H_3BO_3 yang bereaksi dengan amonia dapat diketahui dengan menitrasinya dengan menggunakan HCl 0,02 M. Akhir titrasi ditandai dengan perubahan warna larutan dari biru tua menjadi merah muda. Perlakuan blanko dilakukan untuk mengetahui nitrogen yang berasal dari reagensia yang digunakan.

Pengujian Kadar Lemak (SNI No.01-2354.3-2006)

Penentuan kadar lemak berdasarkan metode *Soxhlet*, prinsipnya adalah memisahkan lemak atau minyak dari bahan dengan mengekstraksinya ke dalam pelarut organik. Dalam hal ini digunakan *chloroform*, lemak yang sudah terekstraksi di dalam labu lemak dialiri gas N_2 dengan tujuan untuk menguapkan pelarut organik yang masih terikat di dalam labu lemak.

Pengujian Kadar Air (SNI. No.01-2354.2-2006)

Analisa kadar air menggunakan prinsip gravimetri, yang didasarkan dengan penimbangan berat jumlah molekul air yang tidak terikat dalam suatu bahan pangan. Prosedur dilakukan dengan menghilangkan molekul air melalui pemanasan dengan oven vakum pada suhu 95-100°C selama 5 jam atau dengan oven tidak vakum pada suhu 105°C selama 16-24 jam. Penentuan berat air dihitung berdasarkan gravimetri dengan selisih berat contoh sebelum dan setelah dikeringkan.

Penentuan Kadar Abu (SNI No.01-2354.1-2006)

Kadar abu, dilakukan berdasarkan metode gravimetri yaitu selisih berat sebelum dan setelah diabukan, untuk mengetahui jumlah residu anorganik yang dihasilkan dari pengabuan. Contoh dioksidasi pada suhu 550°C dalam tungku pengabuan selama 8 jam atau hingga diperoleh abu berwarna putih, kemudian dihitung berdasarkan gravimetri.

Pengujian pH (Manual Prosedure)

Sampel dihaluskan, ditimbang sebanyak 1 gram dalam gelas piala. Kemudian ditambahkan 10 mL aquadest dan dilakukan pengadukan. Selanjutnya, sampel dalam wadah diukur pH nya dengan menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi dengan larutan buffer pH 4 dan buffer pH 7. Nilai pH diperoleh berdasarkan pembacaan pada pH meter sampai angka digital menunjukkan angka yang konstan.

Pengujian Kadar Fenol (Metode Folin Ciocalteu)

Penentuan kadar fenol dilakukan dengan melarutkan 50 mg sampel dalam 2,5 ml etanol 95%, kemudian dikocok dengan vorteks. Larutan tersebut disentrifus dengan kecepatan putaran 4000 rpm selama 5 menit. Supernatan diambil sebanyak 1 mL kemudian dicampur dengan 1 mL etanol 95% dan 5 mL air suling, lalu kemudian dikocok dengan vorteks. Campuran tersebut didiamkan selama 5 menit. Setelah 5 menit larutan ditambahkan dengan 1 mL Na₂CO₃ 5%, kemudian dikocok dengan vorteks. Setelah itu, larutan tersebut disimpan dalam ruang gelap selama 1 jam, lalu dilakukan pengukuran dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 725 nm. Kadar fenol ditentukan berdasarkan persamaan kurva standar. Standar yang digunakan untuk pembuatan kurva standar adalah asam galat. Standar asam galat dibuat dengan konsentrasi 0,25, 50, 100, dan 200 mg/L.

Pengujian Kadar Formaldehid (AOAC, 1990)

Pengujian formaldehid secara kualitatif dilakukan menggunakan metode AOAC (1990). Prinsip pengujian ini adalah penyerapan warna dengan alat spektrofotometri pada panjang gelombang 415 nm. Pengujian ini menggunakan beberapa tahapan proses penetapan formaldehid dan perhitungan kadar formaldehid.

Pengujian Kadar PAH (*Policyclic Aromatic Hydrocarbon*)

10 gr sampel ditambah 10 gr natrium sulfat anhidrat dihomogenisasi dengan 100 ml n-heptana-eter (4:1) selama 3 menit, kemudian disentrifuge. Residu yang tertinggal ditambahkan kembali dengan 10 gr n-heptana-eter, dihomogenisasi dan disentrifuge kembali. Supernatan kedua dicampur dengan supernatan pertama lalu dimasukkan dalam kolom alumina. Eluen pertama sebanyak 50 ml dibuang kemudian eluen kedua sebanyak 50 mL ditampung dan ditera pada spektrofotometer pada panjang gelombang eksitasi 295 nm dan emisi 403 nm. Standar benzo@pyrene digunakan dengan konsentrasi 0 – 10 mg/ml untuk kalibrasi (Hadiwiyoto et al., 2000).

Hasil dan Pembahasan

Mutu se'i tuna antara lain dapat dilihat dari kadar proksimat yang meliputi air, abu, lemak, protein dan pH. Analisis proksimat terhadap bahan se'i tuna dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui komposisi kimia dari se'i tuna. Hasil proksimat sampel se'i tuna dengan ketiga metode pada tabel 1. berikut.

Tabel 1. Data Hasil Analisis Proksimat Se'i Tuna dari Tiga Metode

Parameter (%)	Metode Pengasapan		
	LS	SC	TTr
Kadar Air	55,33	65,46	68,54
Kadar Abu	2,96	1,33	1,55
Protein	58,43	54,04	49,54
Lemak	0,44	0,31	0,11
pH	6,3	6,8	6,5

Penggunaan metode pengasapan, memberikan nilai kadar protein yang berbeda, berdasarkan tabel di atas nilai kadar protein yang paling tinggi pada se'i tuna dengan metode asap cair daun kesambi dan paling rendah dengan tungku tradisional. Berdasarkan penelitian Swastawati, Fronthea.. et al, (2013), kadar protein pada ikan lele dan patin asap menggunakan *smoking cabinet* 22,21 % dan 21,81%, sedangkan dengan tungku tradisional adalah 22,90% dan 21,09%. Perubahan nilai protein ikan, disebabkan oleh adanya proses pengolahan terutama menggunakan panas. Kadar protein dapat menurun karena adanya proses pengolahan, dengan terjadinya denaturasi protein selama pemanasan (Swastawati, Fronthea., et al., 2013). Protein yang terdenaturasi akan mengalami koagulasi apabila dipanaskan pada suhu 50°C atau lebih (Ghozali et al., 2004 dalam Swastawati, Fronthea., et al, 2013).

Kadar lemak merupakan bagian dari kandungan ikan yang memiliki nilai lebih sedikit dibandingkan dengan protein. Akan tetapi lemak merupakan faktor pendukung dalam menghasilkan rasa dan aroma pada se'i tuna. Kadar lemak dalam se'i tuna yang diasapi menggunakan *liquid smoking*, *smoking cabinet* dan tungku tradisional pada tabel 1, memiliki perbedaan yang sangat nyata. Pengasapan panas, dapat mempengaruhi perubahan nilai kadar lemak, dalam hal ini, lemak pada se'i tuna dengan menggunakan *liquid smoking* mempunyai nilai kadar lemak lebih tinggi dibanding dengan *smoking cabinet* dan tungku tradisional. Hal ini disebabkan sumber panas dengan ikan tuna yang diasap sangat berbeda. Jarak antara sumber panas dengan ikan tuna pada tungku sangat dekat, sehingga diindikasikan lemak pada ikan tuna menetes karena terjadi kerusakan. Semakin tinggi suhu dan lama pengasapan menyebabkan penurunan nilai kadar lemak (Swastawati, Fronthea., et al, 2013). Berbeda dengan *smoking cabinet*, jarak antara sumber panas tidak terlalu dekat, sehingga kerusakan lemak dapat dikurangi, sedangkan untuk *liquid smoking cabinet*, prosesnya dengan oven dengan temperatur kontrol, sehingga kerusakan lemak karena pengaruh panas dapat diminimalisir.

Kadar air merupakan kandungan terbanyak pada ikan tuna, merupakan media mikroorganismenya berkembang. Sehingga tujuan pengasapan adalah untuk mengurangi kandungan air dalam ikan tuna dan diharapkan akan memperpanjang daya simpan ikan tuna (Swastawati, Fronthea., et al, 2013).

Standar nilai kadar air berdasarkan SNI adalah maksimum 60%. Pada tabel 1 di atas menunjukkan produk se'i tuna dengan *liquid smoking* daun kesambi memiliki nilai kadar air di bawah standar maksimum SNI, sedangkan untuk se'i tuna dengan *smoking cabinet* dan tungku tradisional masih di atas ambang batas yang ditetapkan SNI. Hal ini dindikasikan karena waktu pengasapan yang relatif pendek dan suhu pengasapan yang fluktuatif, sehingga menyebabkan proses penguapan air tidak stabil dan menyebabkan kandungan air masih tinggi. Berdasarkan penelitian Swastawati, Fronthea., et al, (2013), ikan lele dan patin yang diasap dengan metode *smoking cabinet* mengandung kadar air lebih tinggi daripada se'i tuna dengan metode tungku tradisional.

Kadar abu merupakan parameter nilai gizi bahan makanan. Abu adalah zat anorganik yang dihasilkan dari sisa pembakaran suatu bahan organik. Sebagian besar bahan makanan, yaitu sekitar 6% terdiri dari bahan organik dan air. Sisanya terdiri dari unsur-unsur mineral. Di dalam tubuh, unsur-unsur mineral berperan dalam zat pembangun dan pengatur. Menurut Sudarmadji et al., (2003), kadar abu berhubungan dengan mineral suatu bahan. Dari tabel 1 di atas menunjukkan kadar abu se'i tuna dengan *liquid smoking*, *smoking cabinet* dan tungku tradisional mempunyai perbedaan yang sangat nyata. Menurut Fronthea S, et al., (2013), terjadi karena pengendapan unsur-unsur mineral yang terdapat dalam garam saat proses perendaman dalam larutan garam. Unsur-unsur yang terdapat dalam mineral adalah fosfor, kalsium, potassium, sodium, magnesium, belerang, dan klorin.

Nilai pH merupakan salah satu indikator dari kualitas ikan se'i tuna, yang dapat mempengaruhi kadar protein, phenol, formaldehide dan senyawa asam. Pada tabel 1 menunjukkan bahwa nilai pH se'i tuna yang diasap dengan menggunakan metode yang berbeda di bawah pH netral, dapat disimpulkan bahwa se'i tuna tersebut mengandung senyawa asam. Hal ini disebabkan bahan baku untuk proses pengasapan baik asap cair pada proses *liquid smoking* maupun bahan bakar untuk proses *smoking cabinet* dan tungku tradisional menggunakan kayu dan daun kesambi. Berdasarkan penelitian Mamiek M., et al, (2016), kandungan asap cair daun kesambi adalah phenol 0,13%,

karbonil 10,07% dan senyawa asam 9,78%. Kandungan pH yang rendah menyebabkan penurunan pH se'i tuna yang dihasilkan.

Senyawa Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) merupakan senyawa karsinogenik yang umumnya terdapat diproduksi yang menggunakan suhu tinggi, khususnya pada produk se'i tuna. Salah satu komponen PAHs yang berperan alam karsinogenik adalah Benzo()Pyrene. Adapun kandungan senyawa Benzo()Pyrene dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Data Analisis PAHs dari Se'i Tuna dengan Metode yang Berbeda

Parameter	Metode Pengasapan		
	LS (ppm)	SC (ppm)	TTr (ppm)
Naphatalen	< 0,1	1,00	< 0,1
Acenaphten	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Phenantene	2,08	1,41	1,59
Fluorentene	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Pyrene	5,06	3,06	3,34
Benzoantracene	3,40	3,99	2,91
Perylene	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Benzo(α)pyrene	0,51	6,98	10,43

Berdasarkan Tabel 2 di atas, kandungan Benzo()Pyrene pada se'i tuna dengan menggunakan metode pengasapan yang berbeda, memiliki perbedaan yang sangat nyata. Nilai kandungan Benzo()Pyrene pada se'i tuna dengan tungku tradisional lebih tinggi dibandingkan dengan *liquid smoking* dan *smoking cabinet*, serta yang paling rendah dengan *liquid smoking*. Pengaruh tingginya kandungan Benzo()Pyrene, antara lain disebabkan oleh panas yang kurang terkontrol di pengasapan menggunakan tungku tradisional. Pada metoda *smoking cabinet*, jarak ikan dan api dapat diatur dan suhu dapat dikontrol, sehingga kandungan Benzo()Pyrene yang terdapat pada se'i tuna asap dapat diminimalkan. Serta pada metode *liquid smoking* suhu oven diatur sedemikian rupa dan asapnya menggunakan asap cair, proses ini tidak terkena api dan asap langsung, sehingga kandungan Benzo()Pyrene yang terdapat pada se'i tuna paling kecil nilainya dibandingkan dengan metode *smoking cabinet* maupun tungku tradisional. Hasil penelitian dari Swastawati (2008), Benzo()Pyrene diindikasikan sebagai senyawa karsinogenik yang menjadi kekhawatiran masyarakat saat ini. Ikan manyung asap yang diolah menggunakan asap cair sekam padi mengandung Benzo()Pyrene sebesar 0,541 ppm; dengan asap cair tempurung kelapa mengandung Benzo()Pyrene sebesar 48,254 ppm. Sedangkan nilai kandungan Benzo()Pyrene pada

ikan lele asap dengan metode *smoking cabinet* sebesar 6,35 ppm, serta dengan metode tungku tradisional sebesar 8,25 ppm (Swastawati, Fronthea., et al, 2013).

Dapat disimpulkan bahwa, kandungan Benzo()Pyrene pada se'i tuna baik dengan metode *smoking cabinet* maupun tungku tradisional, masih di atas ambang batas yang telah ditetapkan oleh SNI. Akan tetapi, nilai Benzo()Pyrene dari se'i tuna dengan kedua metode tersebut, masih dapat diminimalkan dengan proses pengasapan yang baik dan benar (Swastawati, Fronthea., et al, 2013).

Asap adalah hasil pembakaran kayu tidak sempurna yang mengandung aldehid, keton, phenol, formaldehid, asam organik yang berperan dalam antioksidan, antibakteri, pembentuk warna, rasa, dan aroma yang khas (Goulas et al., 2005 dalam Swastawati, Fronthea. et al., 2013). Kandungan phenol, formaldehid, dan asam organik pada se'i tuna dari metode yang berbeda, dapat dilihat dalam Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Data Analisis Phenol, Formaldehyde dan Senyawa Asam pada Se'i Tuna dengan Metode Pengasapan yang Berbeda

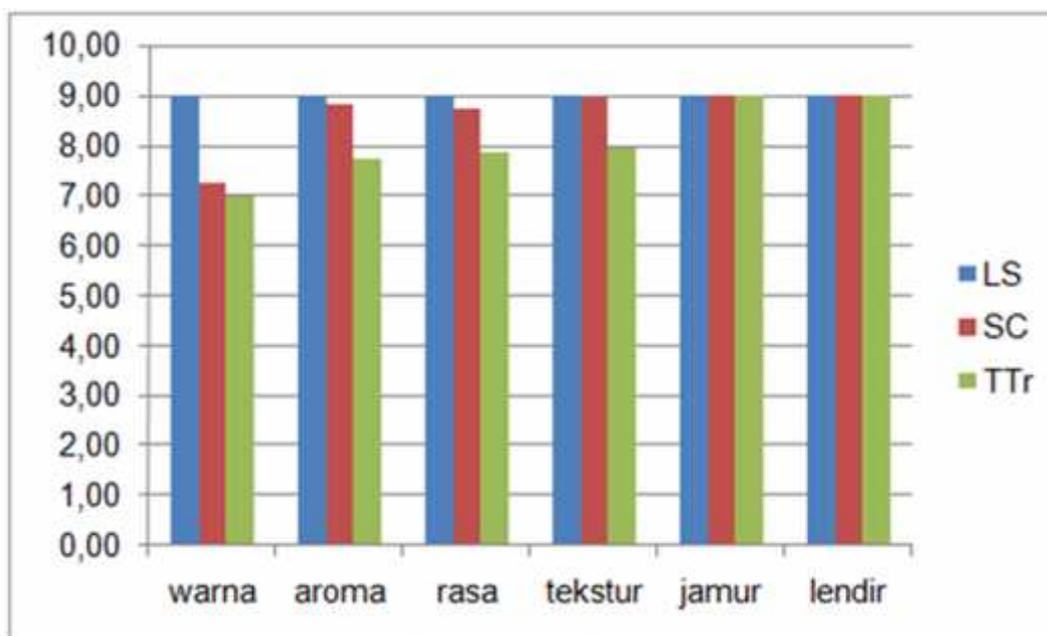
Parameter	Metode Pengasapan		
	LS (ppm)	SC (ppm)	TTr (ppm)
Phenol	0,60	0,57	1,04
Formaldehyde	1,71	6,73	5,93
Senyawa Asam	0,25	0,24	0,27

Berdasarkan Tabel 3 di atas menunjukkan bahwa kadar phenol, formaldehyde dan senyawa asam tidak berbeda nyata pada se'i tuna dengan metode pengasapan yang berbeda. Asam organik, phenol dan formaldehid, berperan dalam kualitas se'i tuna, membentuk warna se'i tuna menjadi coklat keemasan, aroma khas se'i tuna, antibakteri, dan antioksidan.

Menurut Darmadji (1996), keasaman mempunyai peranan yang besar dalam penghambatan mikrobial. Pada pH 4, asap cair mampu menghambat pertumbuhan mikrobial. Asap cair tempurung kelapa dengan pengenceran 10x mampu menghambat pertumbuhan bakteri selama 16 jam pada suhu 30°C.

Analisis organoleptik pada se'i tuna yang dihasilkan dengan metode pengasapan yang berbeda dilakukan dengan uji hedonik. Uji hedonik merupakan salah satu jenis uji penerimaan. Dalam uji ini panelis diminta mengungkapkan tanggapan pribadinya tentang kesukaan atau sebaliknya.. Uji hedonik yang dilakukan terhadap se'i tuna yang dihasilkan dari metode *liquid smoking*, *smoking cabinet* dan tungku

tradisional meliputi penampakan, kenampakan (warna), aroma, rasa, tekstur, jamur dan lendir.



Gambar 1. Nilai Organoleptik Se'i Tuna dengan Metode yang Berbeda

Secara umum, se'i tuna yang diasapi menggunakan *liquid smoking* (asap cair daun kesambi) menunjukkan nilai organoleptik yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan *smoking cabinet* dan tungku tungku tradisional. Se'i tuna dengan *liquid smoking*, menunjukkan nilai yang tinggi pada kenampakan (warna), aroma, rasa, dan tekstur. Se'i tuna dengan *smoking cabinet* sedikit berbeda dengan *liquid smoking* pada aroma, rasa dan tekstur. Sedangkan dengan metode tungku tradisional mempunyai nilai organoleptik paling bawah dari *liquid smoking* dan *smoking cabinet*. Untuk jamur dan lendir pada ketiga metode menunjukkan nilai yang sama.

Perbedaan metode pengasapan memberikan perbedaan yang sangat nyata terhadap nilai organoleptik pada warna, rasa, aroma dan tekstur. Hal ini menunjukkan bahwa panelis masih dapat menerima se'i tuna menggunakan kedua metode *liquid smoking* dan *smoking cabinet*, namun dengan begitu se'i tuna dengan *liquid smoking* paling bisa diterima dari semua parameter yang diujikan tersebut. Se'i tuna yang diproses menggunakan *liquid smoking* memiliki kenampakan yang lebih bersih, warna coklat keemasan yang menarik, rasa yang spesifik asap tidak menyengat, serta tekstur yang lebih padat dan kompak dibandingkan se'i tuna menggunakan *smoking cabinet*.

Kenampakan (warna), aroma, rasa, warna, dan tekstur dari se'i tuna terbentuk akibat dari reaksi gugus karbonil yang terkandung dalam asap bereaksi dengan protein

dan lemak dalam ikan. Asap berperan penting dalam pembentukan warna, tekstur, dan rasa. Komponen karbonil utama dalam asap yang berperan penting adalah phenol. Komponen ini, dapat berperan sebagai antioksidan. Warna coklat, dihasilkan dari reaksi phenol dengan oksigen di udara, komponen phenol yang berperan dalam bau dan rasa adalah guaiakol, 4-metil guaiakol, 2,6-dimetoksi phenol. Peran asap dalam hal ini memberikan pengaruh terhadap nilai organoleptik, disebabkan oleh reaksi dari asam, phenol, dan kandungan lainnya dalam asap dengan lemak, protein dan karbohidrat (Cardinal et al., 2006; Swastawati, 2008; Swastawati., et al., 2007, Fronthea S., et al, 2013).

Kesimpulan

Pengasapan ikan dengan *liquid smoking*, *smoking cabinet* dan tungku tradisional dapat diterapkan sebagai metoda pengolahan se'i tuna (se'i tuna) dan dapat menghasilkan kualitas se'i tuna (se'i tuna) yang baik secara organoleptik, dan kandungan nutrisi terjaga. Serta dapat dijadikan sebagai metode alternatif untuk mengurangi bahaya karsinogenik pada se'i tuna yang dihasilkan, mengingat se'i tuna yang dihasilkan dari *smoking cabinet* dan tungku, memiliki nilai Benzo()Pyrene yang masih dapat diterima dan aman untuk dikonsumsi. Namun perlu peningkatan pengolahan yang tepat pada metode *smoking cabinet* dan tungku tradisional, supaya dapat meminimalisasi nilai kandungan Benzo()Pyrene. Ikan Tuna di Nusa Tenggara Timur memiliki potensi sebagai bahan baku se'i tuna yang memiliki kandungan proksimat yang tinggi, sehingga mampu memenuhi kebutuhan gizi masyarakat.

Acknowledgement

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Ristek dan Direktorat Pendidikan Tinggi yang telah membiayai hingga terselesaikannya penelitian ini, Kepala Laboratorium Pengujian Material beserta PLP dan Teknisinya yang telah memodifikasi alat Pirolisis, Distilasi, *Smoking cabinet* dan Tungku Tradisional, serta tim peneliti dan para panelis yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Daftar Pustaka

Darmadji, P. 1996. Aktivitas Antibakteri Asap Cair yang Diproduksi dari Berbagai macam Limbah Pertanian. Jurnal Agritech Vol. 16 No. 4. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta

- Goulas, Antonios E., Michael G. Kontominas. 2005. Effect of Salting and Smoking Method on the Keeping Quality of Chub Mackerel (*Scomber japonicus*): Biochemical and Sensory Attributes. *Food Chemistry* 93
- Ghozali, Thomas., Dedi Muchtadi., Yaroh. 2004. Peningkatan Daya Tahan Simpan Sate Bandeng (*Chanos chanos*) dengan Cara Penyimpanan Dingin dan Pembekuan. *Infomatek*, Vol. 6 Nomor 1. Bandung.
- Martinez, O. 2005. Textural and Physicochemical Changes in Salmon (*Salmo salar*) Treated with Commercial Liquid Smoke Flavourings. <http://www.Elsevier.com>
- Sudarmaji, S., B. Hariyono., dan Suhardi. 2003. *Analisa Bahan Makanan dan Pertanian*. Liberty. Yogyakarta.
- Swastawati, Fronthea. 2008. Quality and Safety of Smoked Catfish (*Arius talassinus*) Using Paddy Chaff and Coconut Shell Liquid Smoke. *Journal of Coastal Development* Vol. 12 No. 1, October 2008.
- Swastawati, Fronthea., Eko Susanto., Bambang Cahyono., Wahyu Aji Trilaksono. 2012. Sensory Evaluation and Chemical Characteristics of Smoked Stingray (*Dasyatis blekeery*) Processed by Using Two Different Liquid Smoke. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics* Vol. 2 No. 3
- Swastawati, Fronthea, Titi Surti, Tri Winarni Agustini, Putut Har Riyadi, 2013. Karakteristik Kualitas Se'i tuna yang Diproses Menggunakan Metode dan Jenis Ikan Berbeda. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, Vol. 2. No. 3. Tahun 2013. Universitas Diponegoro, Semarang.

**SIFAT TERMAL DAN KETAHANAN BENGKUK MATERIAL SOL SEPATU
PANTOFEL LAKI-LAKI DEWASA****Eko Nuraini¹**

Politeknik ATK Yogyakarta, Yogyakarta.

ekonuraini@gmail.com/nuainieko@gmail.com**ABSTRACT**

The development of technology triggers the increasingly widespread global competition in the market. One of the products that also experience a development is the world of footwear. Nowadays, men's shoes have undergone many modifications, especially the basic materials on the shoe sole part which the basic material is made of natural rubber. This material is used to make shoe sole basic material because it has high elasticity so that it has high tensile strength, elongation break and good scrap resistance. Shoe sole material is used as a pedestal or footrest material when the user walks. This study aimed to know the thermal characteristics of shoe sole materials by using TG / DTA. Analysis started at the temperature of 30°C and was ended at 800° C, with the rate of 10°C / min. Materials used for the thermal characteristics of the shoe sole material are cut in small pieces with the weight of 5.7 milligrams. The bending resistance test was conducted in order to know the crack strength of the sole material by using three shoe soles. The sole material was mounted on the bending resistance device, and it was tested for 2000 movements. The thermal characteristics of the sole material showed the melting temperature of 385° C, the glass transition temperature of 380° C, and it began experiencing weight decrease at the temperature of 290° C to 85% of the initial weight. The temperature of 700°C - 800°C stabilized the weight to 11.4% of its initial weight. Material bending resistance does not experience a crack.

Keywords: *Shoe sole, shoe material, bending resistance, thermal test, decomposition*

ABSTRAK

Perkembangan teknologi mengakibatkan makin maraknya persaingan global yang ada dipasaran. Salah satu produk yang ikut berkembang adalah dunia persepataan. Sepatu laki-laki dewasa saat ini banyak mengalami modifikasi terutama bahan dasar pada bagian sol dengan bahan dasar terbuat dari karet alam. Bahan ini digunakan untuk membuat bahan dasar sol sepatu karena mempunyai elastibilitas tinggi sehingga kuat tarik, perpanjangan putus dan ketahanan kikis baik. Material sol sepatu merupakan bahan tumpuan atau pijakan kaki saat pemakai berjalan. Penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik termal material sol sepatu menggunakan TG/DTA. Analisa di mulai pada suhu 30°C di akhiri pada suhu 800°C dengan laju kecepatan 10°C/menit. Bahan yang digunakan untuk karakteristik termal material sol sepatu dipotong kecil dengan berat 5,7 miligram. Uji ketahanan bengkok untuk mengetahui kuat retak material sol dengan bahan tiga buah sol sepatu. Material sol dipasang pada alat uji bengkok dilakukan uji selama 2000 kali gerakan Hasil karakteristik termal material sol menunjukkan suhu pelelehan 385°C, suhu transisi gelas 380°C mulai terjadi penurunan berat pada suhu 290°C menjadi 85% dari berat awal. Suhu 700°C - 800°C berat stabil hingga menjadi 11.4% dari berat awal. Ketahanan bengkok material tidak mengalami keretakan.

Kata kunci : Sol sepatu, material sepatu, ketahanan bengkok, uji termal, dekomposisi

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi mengakibatkan makin maraknya persaingan global semua produk yang ada di pasaran. Salah satu produk yang pesat berkembang dan banyak diminati adalah dunia persepataan. Ketatnya persaingan industri persepataan sehingga produsen dituntut untuk makin berkualitas dalam memproduksi barang. Hal ini karena konsumen makin selektif dalam memilih produk. Salah satu produk yang selalu mengikuti perkembangan dunia fashion adalah produk sepatu. Model sepatu yang banyak dipakai baik oleh kalangan muda, dewasa maupun tua diantaranya sepatu model pantofel. Purnama (2015) menyatakan bahwa model sepatu pantofel harganya terjangkau bagi konsumen serta praktis pemakainya banyak dipakai oleh kalangan muda, dewasa maupun tua untuk kegiatan sekolah ke kantor ataupun acara resmi. Sepatu laki-laki dewasa bagian bawah atau outsole banyak dibuat menggunakan sol cetak dengan bahan dari karet alam. Salah satu bahan dasar sol sepatu yaitu lateks proses pembuatannya dengan cara memodifikasi cetak tuang sehingga mendapatkan produk dengan ketebalan dan kekerasan sesuai yang diinginkan (Fachry dkk, 2012). Penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik termal dan ketahanan retak atau bengkok material sol sepatu pantofel laki-laki dewasa.

Suliestiyah dalam Widhari (2013) menyatakan sifat yang menentukan mutu bahan untuk pembuatan sepatu adalah sifat bahan yang dapat menahan panas dan zat cair sehingga bahan pembuatan sepatu lebih dititik beratkan pada sifat pada bagian atas (*shoe upper*) dan sol dalam (*in sole*) yang berhubungan dengan sifat kenyamanan dalam pemakaian. Sepatu pantofel laki-laki terbuat dari beberapa bagian, salah satunya yaitu sol. Sol sepatu merupakan salah satu bagian sepatu yang merupakan unsur penentu kualitas sepatu, banyak terbuat dari karet. Karakterisasi material kualitas sol dapat ditentukan dari beberapa sifat fisis diantaranya ketahanan retak atau bengkok, kekerasan, tegangan putus, perpanjangan putus, dan perpanjangan tetap serta sifat termal.

Analisis termal merupakan analisis sifat fisis dan kimia material berdasarkan fungsi suhu. Analisis ini digunakan untuk mengetahui perubahan massa, entalpi, dekomposisi, degradasi dan kapasitas panas dari material yang dianalisis. Beberapa jenis analisis termal yang sering digunakan saat ini diantaranya DSC, TGA, DTA dan TMA. Suatu material jika dipanaskan dengan laju pemanasan yang konstan akan terjadi

perubahan kimia yakni adanya oksidasi dan degradasi serta perubahan fisik seperti adanya transisi gelas jika materialnya berupa polimer (Djaprie, 2000).

Ketahanan bengkok atau retak tujuannya untuk mengetahui terjadinya kerusakan atau retaknya sol yang merupakan kondisi faktual material dengan pengulangan perlakuan (Arif, 2014). Menurut Sholeh (2011) ketahanan retak lentur material dipengaruhi oleh pori dengan ukuran dan jumlah yang rata sehingga karet sebagai bahan dasar sol mempunyai sifat lentur dan fleksibel. Selain itu dipengaruhi adanya kombinasi penggunaan, jenis jumlah filler dan penambahan blowing agent yang tepat serta optimal sehingga menghasilkan karet mikroselulair yang terstruktur, kuat dan lentur.

Material sol sepatu pantofel terdiri bermacam-macam komposisi dengan tujuan mendapatkan hasil akhir yang baik sesuai persyaratan sehingga stabil secara fisis maupun secara kimia. Dengan komposisi material yang berbagai macam mengakibatkan karakteristik fisik maupun kimia sol sepatu berubah dari sifat asli materialnya.

METODE PENELITIAN

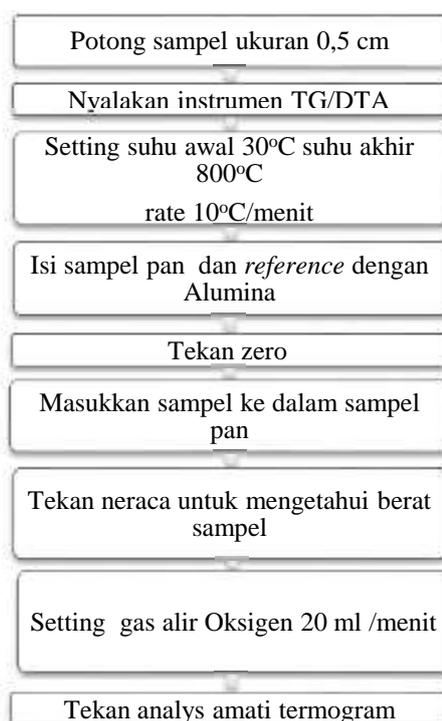
Penelitian ini mengambil sampel di perusahaan pembuatan sol sepatu dengan lokasi Tangerang kemudian dilakukan karakterisasi menggunakan TGA/DTA untuk termal dan *Shoe Bending Tester* untuk uji retak adapun material yang digunakan pada pembuatan sol seperti dalam tabel 1 dibawah ini

Tabel 1
Komposisi Material Sol Sepatu Pantofel Pria Dewasa

Nama Bahan	Jumlah Bahan/Phr
Rubber	100
ZnO	5
Filler	50
Oil	2
PEG	5
MBTS	1
MBT	0,5
TMTD	0,02
Sulfur	2

Uji termal dilakukan dengan uji TGA dan DTA instrumen TGA/DTA yang digunakan Model Pyris Diamond TG/DTA merk Perkin elmer, sampel yang digunakan berupa potongan sol ukuran 0,5cm dengan berat tidak lebih dari 200 mgram. Sampel dimasukkan dalam piringan yang sebelumnya diberi alumina kemudian sampel

dimasukkan dalam piringan yang secara otomatis berat sampel di ketahui, untuk analisis termal ini sampel yang digunakan sebesar 5,7 mgram. Sebagai *reference* piringan dalam tungku satunya di beri alumina. *Reference* menggunakan alumina hal ini karena alumina mempunyai sifat stabil, ikatan ionnya kuat, tahan terhadap asam kuat dan alkali pada suhu tinggi serta mempunyai sifat isolasi yang baik. Sampel dipanaskan mulai dengan suhu awal 30°C dan di akhiri pada suhu 800°C dengan laju kecepatan konstan yaitu sebesar 10°C/menit dengan gas Oksigen sebagai pembakar dengan kecepatan alir 20 ml/menit hasil analisis termal berupa termogram TGA dan DTA. Uji keretakan atau bengkok menggunakan alat *Shoe Bending Tester* seri HT- 7011S Product dari Kao Tieh Machinery Industry Taiwan dengan perlakuan sebanyak 200 kcs siklus pembengkokan lebih banyak dibanding standar SNI 0778:2009 yakni sebanyak 150 kcs dan SNI ISO 20344:2017 dengan perlakuan 150 siklus/menit. Hasil yang diperoleh sol di amati secara kasat mata atau secara visual apakah ada kerusakan atau keretakan pada bagian sol.



Gambar 1. Diagram alir Analisis termal TG/DTA
Sumber : Data primer diolah tahun 2017



Gambar 2. Uji keretakan sol dengan *Shoe Bending Tester*
Sumber : Data primer diolah tahun 2017

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian keretakan sol dilakukan tiga sampel salah satu tujuannya untuk mengetahui kerataan komposisi material pada sol. Dari hasil pengujian ketiga sampel hasil uji keretakan sol data seperti dalam tabel 2 dibawah ini

Tabel 2
Hasil Uji Bengkuk/Keretakan Sol

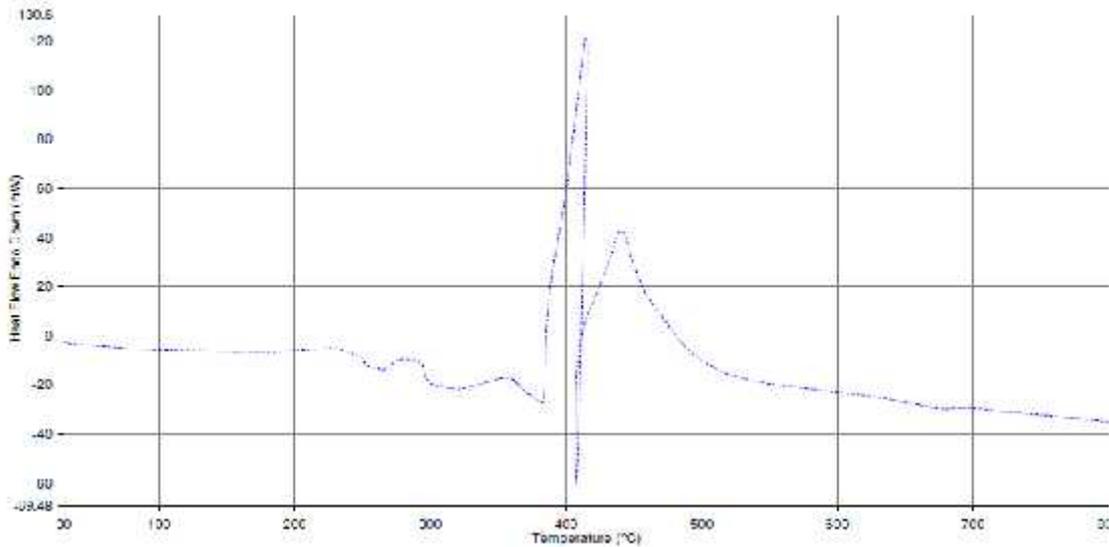
Sampel A	Sampel B	Sampel C
Baik, tidak retak	Baik, tidak retak	Baik, tidak retak

Dari data pada tabel 2 tersebut pengujian dilakukan dengan 200 kcs bengkukan melebihi dari standar uji SNI No 0778 : 2008 dengan perlakuan sebanyak 150 kcs dan SNI ISO 20344:2017 perlakuan sebanyak 150 siklus/menit hal ini untuk mengetahui material sol dengan komposisi bahan seperti pada tabel 1 hasilnya baik dan tidak terjadi retakan sehingga bisa digunakan sebagai sol sepatu. Pada saat pencampuran pembuatan sol material dan proses penggilingan material merata pada semua bagian sehingga pori-porinya mempunyai ukuran dan jumlah yang sama. Hal ini mengakibatkan material bersifat lentur dan fleksibel. Penelitian yang dilakukan oleh Herminiwati dan M.Soleh (2011) uji pembengkukan/keretakan sebanyak 150 kcs kali tidak terjadi keretakan. Hasil penelitian dari Marliyanti (2004) uji ketahanan retak material juga dipengaruhi

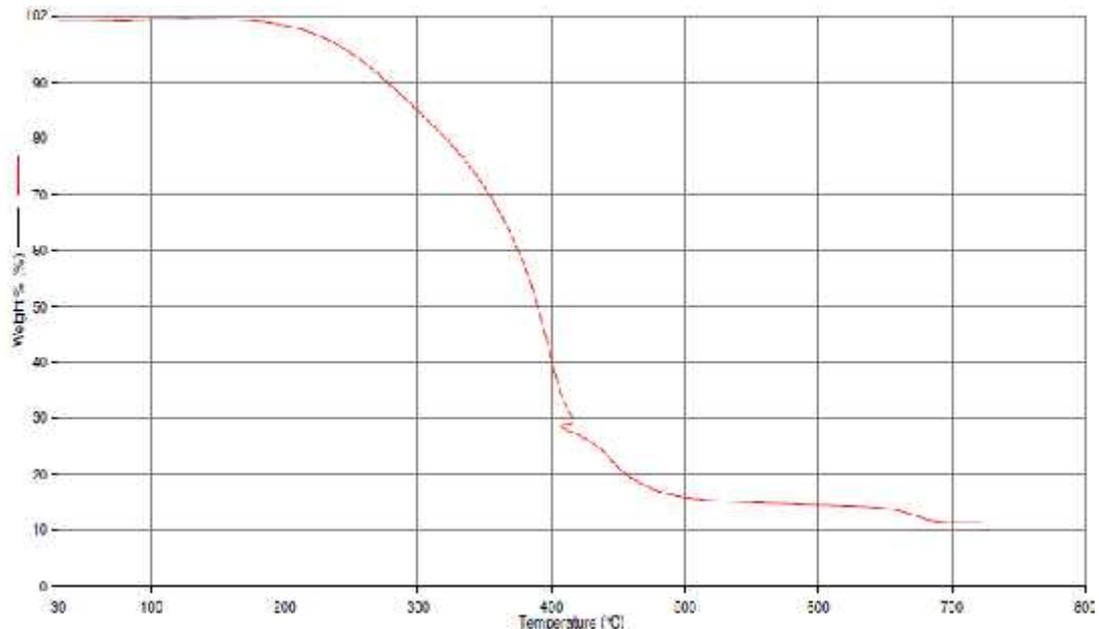
oleh banyaknya minyak yang ditambahkan. Uji ketahanan retak sol karet sebanyak 150 kcs perlakuan dipengaruhi juga adanya filler yang digunakan hal ini karena filler menjadikan elastisitas bahan menjadi lebih elastis sehingga sol lentur (Herminiwati, 2014). Nuraya *et al.*(2012) hasil penelitiannya menyatakan bahwa bahan pengisi material sol yang banyak akan mempengaruhi efek penurunan tegangan putus. Pada penelitian ini bahan pengisi yang digunakan sebesar 50 phr artinya bahan pengisi yang ditambah sudah mencukupi. Penny Setyowati (2006) melaporkan hasil penelitiannya bahwa penambahan karet riklim sebanyak 50 phr, vulkanisat di uji keretakannya tidak mengalami kerusakan meskipun elastisitasnya berkurang akan tetapi keseragaman jumlah pori masih merata sehingga masih bisa mempertahankan kestabilan.

Karakteristik termal suatu bahan menggambarkan analisis struktur dari bahan secara secara fisis. Suatu material jika di panaskan akan mengalami perubahan struktur akibatnya ada perubahan kapasitas panas dari material tersebut. Teknik analisis termal digunakan untuk mendeteksi perubahan fisika atau perubahan kimia (dekomposisi) suatu bahan yang ditunjukkan dengan adanya penyerapan panas (endotermis) atau pengeluaran panas (eksotermis) (Sircar,1991). Proses termal ini akan mengalami perubahan massa, transisi gelas, reaksi dekomposisi yang menggambarkan suhu yang diperlukan untuk membakar sampai habis material yang disertai dengan perubahan massa. Pelunakan dan titik pelelehan merupakan perubahan fasa dari padat menjadi cair tanpa mengalami perubahan massa. Hasil analisis DTA seperti dalam gambar 1 menunjukkan bahwa material sol karet jika dipanaskan pada suhu awal 30°C sampai suhu 800°C dengan kecepatan yang konstan sebesar 10 °C/menit mengalami perubahan reaksi. Termogram DTA yang dihasilkan merupakan perubahan vulkanisat yang diperoleh dari proses reaksi perubahan struktur dan fasa, Reaksi material yang terjadi pada termogram DTA ini mulai mengalami perubahan berupa reaksi eksotermis (mengeluarkan panas), suhu puncak eksotermik material terjadi pada suhu 420°C dan diatas suhu leleh semua material bahan sol. Reaksi mulai mengalami stabil pada suhu 700°C material mulai mengalami proses degradasi dan dekomposisi karena termogram mulai berjalan lurus material disini sudah menjadi abu. Penelitian yang sama dilakukan oleh Yuniari (2014) dekomposisi material vulkanisat material sol terjadi pada suhu 520°C. Pada termogram DTA terjadi tiga kali puncak endotermis yang pertama pada suhu 250°C, pelarut yang ada pada material mulai mengalami penguapan. Puncak

endotermis yang ke dua terjadi pada suhu 300°C bahan aditif yang di tambahkan pada waktu proses material mulai menguap. Puncak endotermis yang ketiga terjadi pada suhu 385°C, pada suhu ini material mulai terjadi pelelehan yang di awali dengan suhu transisi gelas yang terjadi di daerah suhu 380°C. Proses pelelehan atau *swelling* terjadi pemanasan secara optimal sehingga dispersi padat-padat tercapai optimal pada suhu tersebut.



Gambar 3. Hasil Analisis DTA Sol Karet
 Sumber : Data primer diolah tahun 2017



Gambar 4. Hasil Analisis TGA Sol Karet
 Sumber : Data Primer diolah tahun 2017

Termogram TGA pada gambar 2 menggambarkan proses termal material sol, massa material stabil belum mengalami perubahan sampai dengan suhu 200°C yakni masih 100% dari berat awal sebesar 5,7 mgr.

Sifat termal TGA material dipengaruhi oleh sifat termal bahan lain yang ditambahkan seperti filler, aditif, pemlastis hal ini ditunjukkan adanya perubahan kurva pada termogram. Terjadi penurunan kurva suhu pada kisaran suhu 250°C pada suhu tersebut bahan mulai terjadi penguapan artinya penggunaan bahan aditif, filler dan pemlastis berpengaruh untuk mendapatkan sol dengan kualitas yang baik.

Perubahan massa mulai terjadi pada suhu 290°C material pada suhu ini menurun tinggal 85% dari berat awal. Suhu 350°C massa mulai terjadi penurunan menjadi 68% dari berat awal, dan terus mengalami penurunan pada suhu 475°C berat menjadi 17,4% dari berat awal. Pada suhu 700°C berat turun tinggal 11,4% dari berat awal sampai suhu 800°C berat stabil tinggal 11,4% dari berat awal dan material sudah menjadi abu dan bahan lain yang terdekomposisi. Pada suhu 800°C 88,6% material sudah menjadi abu dan terdekomposisi menjadi bahan lain.

KESIMPULAN

Karakterisasi termal material sol di analisis pada rentang suhu 300°C – 800°C menunjukkan suhu pelelehan 385°C, pada suhu 380°C terjadi transisi gelas dan pada suhu 290°C sampel mulai mengalami penurunan massa menjadi 85% dari berat awal. Suhu akhir 800°C sisa berat menjadi 11,4% dari berat awal. Ketahanan retak atau ketahanan bengkok dilakukan 200 kcs pengulangan material tidak mengalami kerusakan ataupun keretakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2009. SNI 0778:2009 Sol Karet Cetak, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim, 2017. SNI ISO 20344: 2017 Alat pelindung diri-Metode uji alas kaki, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- A. Rasyidi Fachry., T. I. (2012). Pengaruh Penambahan Filler Kaolin Terhadap Elastisitas dan Kekerasan Produk Souvenir Dari Karet alam (Hevea Brasiliensis). *Seminar Nasional Teknologi Oleo dan Petrokimia Industri (TOPI)*. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Arif, D. D. (2014). Pengkajian Kualitas Material dan Konstruksi Upper pada Proses Perancangan Sepatu Olah raga Ekstrim skateboard. *Lib.itenas.ac.id*.
- Djaprie, S. (2000). *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- Herminiwati, I. R. (2014). Latex Karet Alam Untuk Sol Sepatu : Metode Pembuatan, Sifat Mekanik dan Morfologi . *Majalah Kulit Karet dan Plastik, Vol 30* , 61-70.
- Marliyanti, S. I. (2004). Pengaruh Minyak Minarex B dan Radiasi Sinar Gamma Terhadap Sifat Mekanik Campuran LDPE-Karet Alam Vulkanisat Untuk Sol Sepatu.
-

- Risalah Seminar Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi. BATAN Jakarta.*
- Nuraya, A. S. S., Baharin, A., Azura, A. R., Hakim, M. H. M. R., Mazlan, I., Adnan, M., & Nooraziah, A. A. (2012). Reinforcement of prevulcanised natural rubber latex films by banana stem powder and comparison with silica and calcium carbonate. *Journal of Rubber Research*, 15(2), 124-140.
- Penny Setyowati, P. d. (2006). Pemanfaatan Karet Riklim dari Skrap rubber Roll Untuk Kompon sol sepatu. *Majalah Kulit Karet dan Plastik Vol 22*, 38-44.
- Purnama, S. T. (2015). *Inovasi Produk Sepatu Pantofel*. Retrieved 2015, from www.p4tksb-jogja.com.
- Sircar, A. K., (1991). Analysis of elastomer vulcanizate composition by TG-DTG techniques. Papers-American Chemical Society Division of Rubber Chemistry.
- Sholeh, H. d. (2011). Aplikasi Karet Mikroseluler Untuk sol Ringan alas Kaki. *Majalah kulit karet dan Plastik, Vo 27*, 23-30.
- Widhari. (2013). Pembuatan Kulit Atasan Sepatu Bebas Krom. *Majalah Kulit Karet dan Plastik, Vol 29*, 99-104.
- Yuniari, A. (2014). Sifat Termal, Sweling dan Morfologi Vulkanisat dan Campuran Pale Crepe/SBR. *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet dan Plastik ke-3*.

DESAIN DAN PEMBUATAN TURBIN ULIR
ARCHIMEDES UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

Tineke Saroinsong, Adelbert Thomas, Alfred N Mekel

*Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Manado

E-mail : tinekesaroinsong@gmail.com

Abstract

The river is one source of renewable energy that could be utilized for micro hydro powerplant. The design and manufacture of Archimedes screw turbine are being developed for micro hydro powerplant. Archimedes screw turbine is usually operated in low head. In Europe, the screw turbine have been studied since 2007, while in Indonesia since 2019. The geometric shape of screw turbine is determined by external parameters i.e the outer radius, the length of the turbine and the slope of its placement, and internal parameters i.e the internal radius, number of blade and pitch. External parameters are usually determined by head and flow rate. The aim of this study is to construct installation of screw turbine for experimental study of archimedes screw turbine in laboratorium scale. Then this instalation is utilized for external and internal parameters tests. This Archimedes screw turbine is made of flexyglass. The geometric shape is three blade, 30° of screw angle, 21 of number of blade, and radius ratio 0.54 with 2.4R₀.

Keywords : *design, manufacture, screw turbine, micro hydro, low head*

Abstrak

Aliran sungai salah satu sumber Energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Desain dan pembuatan Turbin ulir Archimedes sedang dikembangkan untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Turbin ulir Archimedes dapat dioperasikan pada *head* yang rendah. Di Eropa turbin ulir mulai di teliti tahun 2007 sedangkan di Indonesia mulai tahun 2009. Bentuk geometri dari turbin ulir ditentukan oleh parameter eksternal yaitu radius luarnya, panjang turbin dan kemiringan peletakan (*slope*) dan parameter internal yaitu radius dalam, jumlah sudu dan kisar. Parameter eksternal biasanya ditentukan oleh *head* dan debit. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan instalasi turbin ulir untuk studi eksperimental pembangkit listrik tenaga mikrohidro skala laboratorium. Selanjutnya instalasi ini akan digunakan untuk pengujian-pengujian mengenai parameter ekstenal dan parameter internal turbin ulir Archimedes. Hasil desain/model dan pembuatan turbin ulir Archimedes skala laboratorium adalah model turbin ulir Archimedes dibuat menggunakan material *flexyglass* Bentuk geometrinya tiga sudu, sudut ulir 30°, jumlah lilitan 21, rasio radius 0,54 dengan jarak kisar 2,4R₀.

Kata kunci : *desain, pembuatan, turbin ulir, mikrohidro, head rendah.*

1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi listrik semakin besar seiring bertambahnya pertumbuhan jumlah penduduk dan berbagai fasilitas yang bergantung pada energi listrik. Namun ketersediaan energy listrik dari PLN belum mencukupi untuk memenuhi kebutuhan masyarakat Indonesia. Karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan potensi sumber-sumber energi terbarukan (*renewable energy*) yang banyak dimiliki oleh Negara kita Indonesia salah satunya adalah aliran sungai dan saluran irigasi. Potensi aliran sungai/saluran irigasi dapat dibuat pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Jenis-jenis turbin air yang sudah banyak dikenal dan diaplikasikan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah turbin crossflow, turbin Kaplan, turbin

propeller, turbin turgo, turbin francis, dan turbin pelton. Turbin ulir merupakan jenis turbin air yang baru diteliti satu decade ini, diadopsi dari teori *Archimedean screw*. Keunggulan turbin ulir antara lain dapat beroperasi pada *head* rendah ($H < 10$ m), tidak membutuhkan pipa pesat, mudah pemasangan, mudah perawatan dan tidak merusak ekologi sungai atau *fish-friendly* (David Kilama Okot, 2013). Turbin ulir dikategorikan jenis turbin reaksi yang bisa dipakai pada *head* rendah (Elbatran A.H. dkk 2014). Energi kinetik dan energi potensial dari aliran air diubah bentuknya menjadi energi mekanik pada sudu ulir menghasilkan putaran poros turbin yang dapat diubah menjadi energi listrik pada generator melalui transmisi. Berat jenis air pada sudu yang menyebabkan ulir berputar. Dengan asumsi tidak ada rugi-rugi semua energi potensial pada aliran dapat menghasilkan efisiensi maksimum 100 %, (Müller Gerald 2009).

Beberapa peneliti sudah mengembangkan penelitian *Archimedean screw* antara lain mengenai optimasi perancangan numerik bentuk geometri ulir oleh (Rorres 2000) menyatakan bahwa rasio kisar optimum bergantung pada jumlah sudu dan rasio radius (R_1/R_0) sama dengan 0,54. Kemudian Müller Gerald (2009) menyederhanakan teori ulir Archimedes berdasarkan parameter-parameter geometris dan proses konversi energi ideal untuk satu putaran heliks. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa efisiensi turbin ulir dipengaruhi oleh bentuk geometri dan rugi aliran. Selanjutnya Nuembergk Dirk M., Rorres (2013) memperkenalkan model analitis aliran masuk turbin ulir dengan memperhitungkan kemungkinan aliran bocor pada celah antara ulir dan silinder luar (*casing*) dan juga kelebihan air pada pusat pipa. Simulasi MATLAB turbin ulir untuk pembangkit listrik tenaga air pada *head* rendah sudah dilakukan oleh (Ali Raza dkk 2013). Modeling dan analisis dari (Müller Gerald 2009), (Nuembergk Dirk M., Rorres 2013), dan (Ali Raza dkk 2013) ini mereka bandingkan dengan eksperimen dari Brada (1996a) dan Brada (1996b). Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Havendry Adly dan Hendro Lius (2010) mengenai penentuan sudut ulir optimum pada turbin ulir dengan variasi sudut ulir 23° , 26° dan 29° . Dalam laporannya menjelaskan bahwa sudut ulir 29° menghasilkan daya dan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan sudut ulir 23° dan 26° . Kemudian Hizhar Yul (2011) meneliti mengenai pengaruh perbedaan kisar (*pitch*) dan kemiringan poros (*slope*) terhadap kinerja model turbin ulir dua sudu pada aliran *head* rendah. Hasil penelitiannya adalah kisar $2R_0$ menghasilkan kecepatan putar lebih tinggi dari $1,6R_0$ dan $1,2R_0$. Dan daya terbesar dihasilkan pada sudut peletakan 35° dari sudut peletakan lainnya 25° , 30° , 40° . Saroinsong Tineke dkk (2015) melaporkan penelitiannya bahwa efisiensi turbin ulir Archimedes yang baik terjadi pada

kemiringan poros 25° dari variabel kemiringan poros lainnya 35° dan 45° . Selanjutnya Saroinsong Tineke dkk (2016) mengkaji fenomena aliran fluida pada sudu turbin dikaitkan dengan efek bilangan Froude terhadap efisiensi turbin ulir, dimana semakin besar bilangan Froude maka semakin rendah efisiensi turbin. Kinerja terbaik terjadi pada kemiringan poros 25° .

Kajian turbin ulir secara eksperimental masih perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan informasi real agar turbin ulir dapat diaplikasikan secara optimal. Fokus penelitian ini adalah bagaimana model/desain pembangkit listrik tenaga mikrohidro menggunakan turbin ulir Archimedes skala laboratorium. Penelitian ini penting karena model/desain PLTMH untuk menentukan parameter eksternal dan parameter internal turbin ulir Archimedes. Turbin ulir dibuat dalam skala laboratorium menggunakan material *flexyglass*.

2. METODE PENELITIAN

Dalam merancang model turbin ulir Archimedes untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro skala laboratorium, penulis menggunakan literatur review dan Auto Cad. Parameter model turbin ulir adalah sebagai berikut :

Parameter	nilai	deskripsi
R_o	0,055 m	radius luar
R_i	0,030 m	radius dalam
S	0,132 m	kisar
N	3	jumlah sudu
m	21	jumlah lilitan ulir
β	30°	sudut ulir
λ_v	0,059	rasio volume tiap lilitan ulir (Rorres 2000)

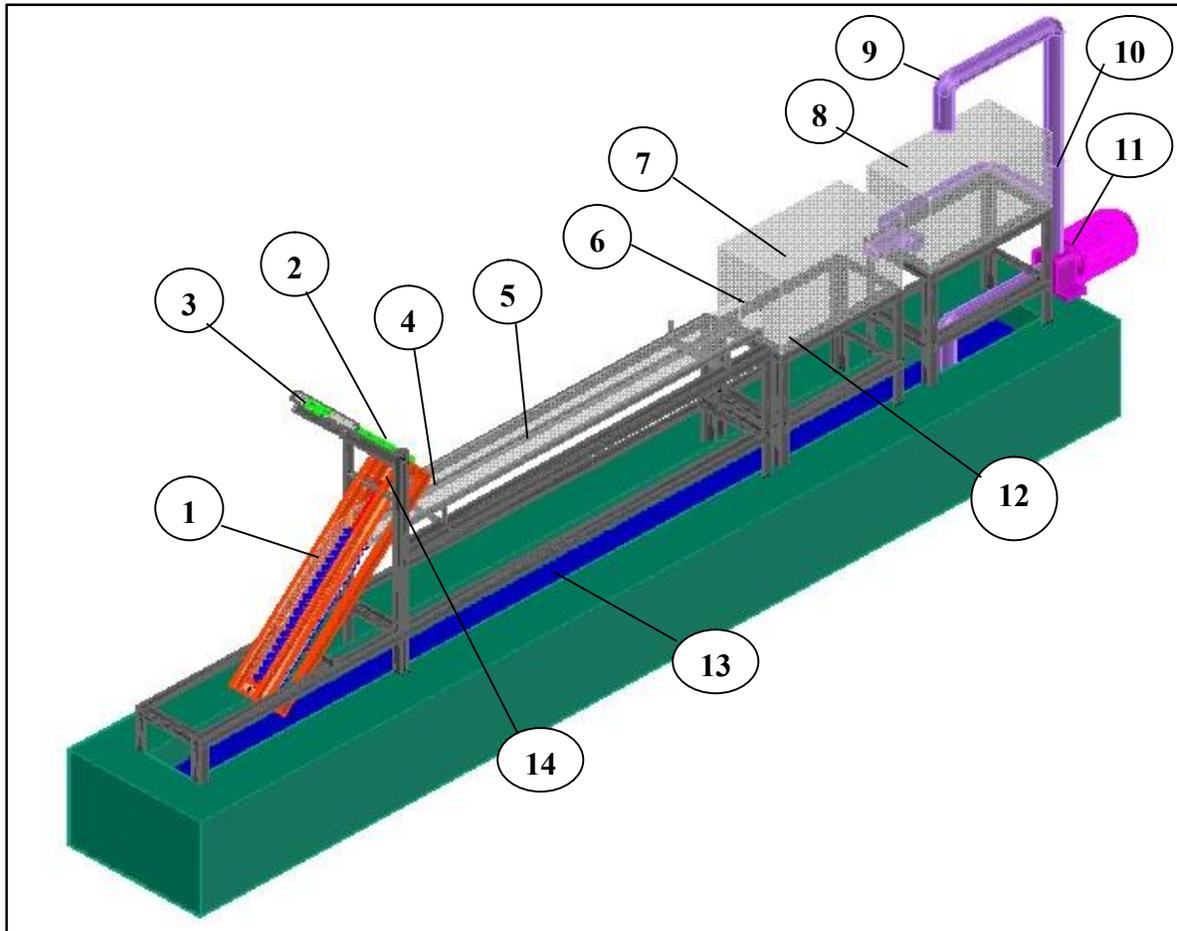
Instalasi turbin ulir Archimedes ditunjukkan Gambar 1, rancangan ini untuk pengujian-pengujian parameter yang dibutuhkan dalam optimasi kinerja turbin. Untuk pengujian torsi dan daya turbin menggunakan sistem pengereman putaran poros melalui pulli dan sabuk dan mengukurnya dengan neraca pegas. Sehingga instalasi ini belum memakai transmisi dan generator. Sistem pengukuran torsi ditunjukkan oleh Gambar 2.

Prosedur Pengujian.

Prosedur pengujian instalasi turbin ulir Archimedes adalah sebagai berikut :

A. Persiapan

1. Pembuatan model turbin ulir tiga sudu skala laboratorium
2. Pembuatan instalasi
3. Kalibrasi alat ukur



Gambar 1. Instalasi pengujian turbin ulir

Keterangan gambar instalasi pengujian turbin ulir :

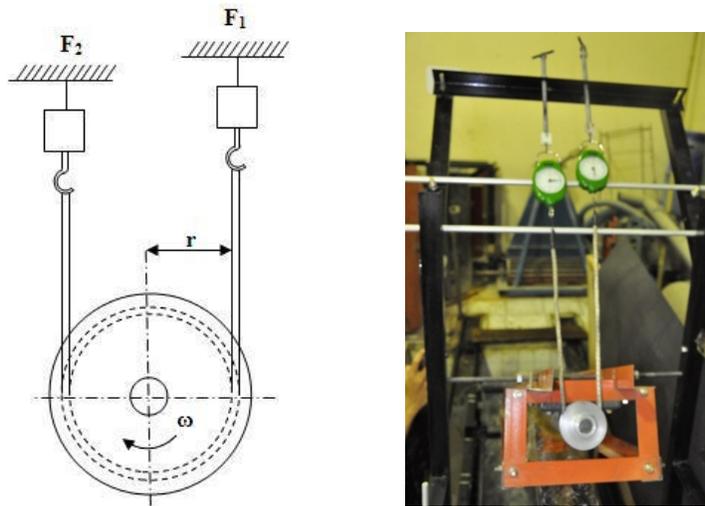
- | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Model turbin ulir | 8. Tangki penampung air |
| 2. Pulley dan sabuk | 9. Pipa |
| 3. Neraca pegas | 10. Katup control debit |
| 4. Mistar ukur kedalaman aliran masuk | 11. Pompa |
| 5. Saluran terbuka | 12. Mistar ukur kedalaman di tangki |

6. Pintu air

13. Bak penampung

7. Tangki penenang air

14. Posisi *tachometer*



Gambar 2. Sistem pengukuran torsi dan daya turbin ulir Archimedes

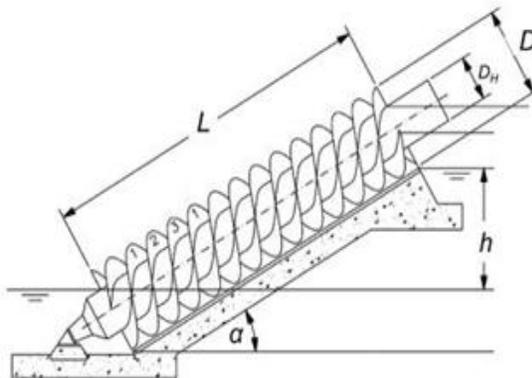
B. Pengambilan Data.

1. Mengatur posisi masing-masing alat ukur dan kamera digital.
2. Mengalirkan air dari bak penampung dialirkan melalui pompa (11) ke tangki penampung (8) dengan pengaturan debit pada katup (10). Kemudian aliran air mengalir ke tangki penenang (7) dan dikontrol *head* tangki dengan mistar ukur pada pintu air (6). Selanjutnya aliran air masuk ke saluran persegi panjang (5) yang berukuran panjang 2,1 meter dan lebar 0,12 meter, kemudian diatur variabel penelitian (parameter yang ditentukan) melalui pintu air (6) dari tangki penenang (7) sampai mencapai kondisi *steady*. Aliran air kemudian masuk ke turbin ulir (1) sehingga turbin ulir berputar dan aliran masuk di bak penampung (13) kemudian kembali dialirkan ke tangki penampung (8) melalui pompa (11) secara kontinu.
3. Mulai mengambil data sesuai parameter yang ditentukan.
4. Mencatat data-data pengukuran yang dihasilkan setiap variasi pengukuran.
5. Melakukan pengulangan sebanyak tiga sampai lima kali disetiap variabel penelitian.
6. Menganalisa data pengukuran yang dihasilkan.
7. Menarik kesimpulan.

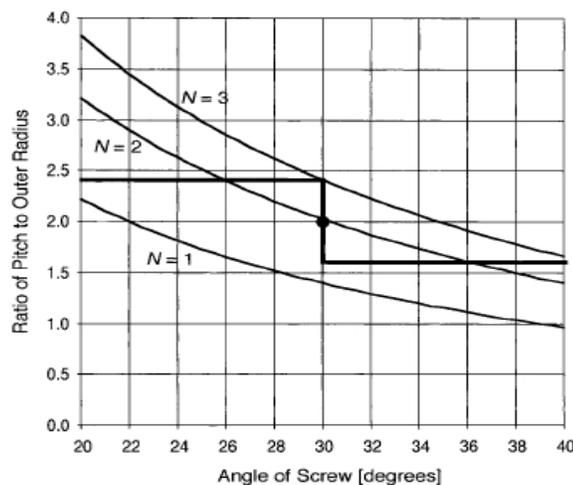
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Desain Turbin Ulir Archimedes

Desain turbin ulir Archimedes mengacu pada model yang dihasilkan Müller Gerald (2009) dan Rorres (2000) seperti Gambar 3 dan Gambar 4. Hasil desain/model turbin ulir Archimedes disajikan dalam bentuk Gambar. Model rancangan dan hasil pembuatan turbin ulir tiga sudu ditunjukkan Gambar 5, berkaitan dengan Gambar 4 grafik dari Rorres (2000) jumlah sudu (N) sama dengan tiga mendapatkan hubungan antara rasio kisar ulir dengan radius luar sebesar $2,4R_o$ terhadap kemiringan ulir sebesar 30° .



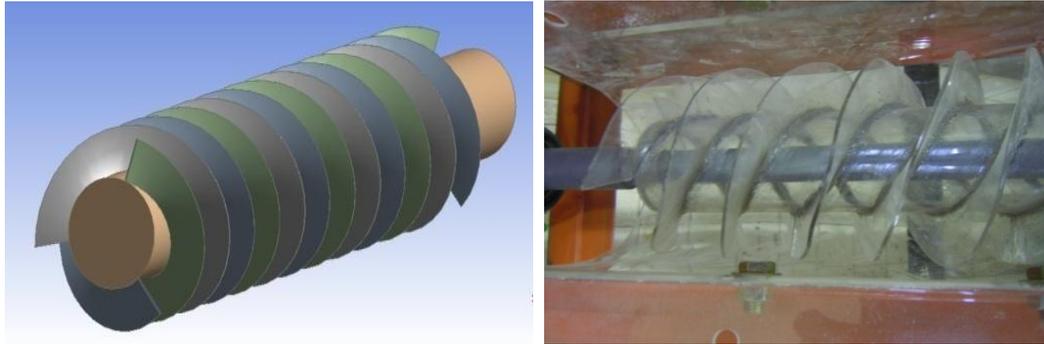
Gambar 3. Ulir Archimedes
Sumber : Müller Gerald (2009)



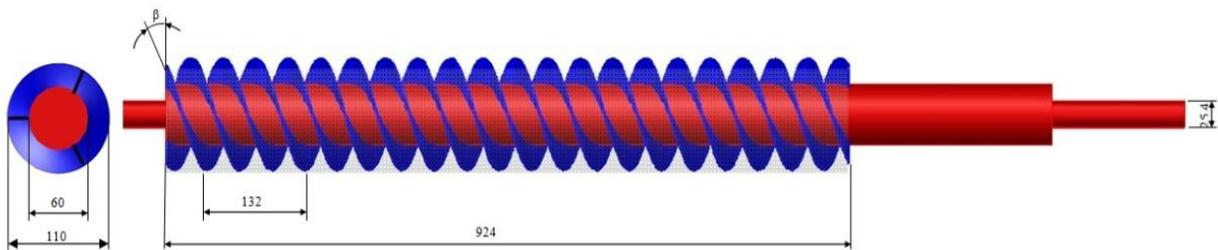
Gambar 4. Grafik rasio kisar ulir dengan radius luar vs kemiringan ulir
Sumber : Rorres (2000)

Hasil desain geometri turbin ulir Archimedes menggunakan Auto cad seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Rasio radius (R_i/R_o) adalah 0,54 sama dengan rasio diameter (D_i/D_o), dimana radius dalam (R_i) sebesar 30 mm atau diameter dalam (D_i) sebesar 60 mm dan radius luar (R_o)

sebesar 55 mm atau diameter luar (D_o) sebesar 110 mm. Jarak kisar (S) sebesar 132 mm. panjang turbin sebesar 924 mm diperoleh dari jumlah lilitan (m) sebanyak 21 lilitan dimana masing-masing sudu dirancang sebanyak 7 ulir dikalikan jarak kisar 132 mm sama dengan 924 mm, sehingga total 3 sudu dikalikan 7 ulir diperoleh 21 lilitan. Diameter poros sebesar 25,4 mm dan sudut ulir (β) sebesar 30° .



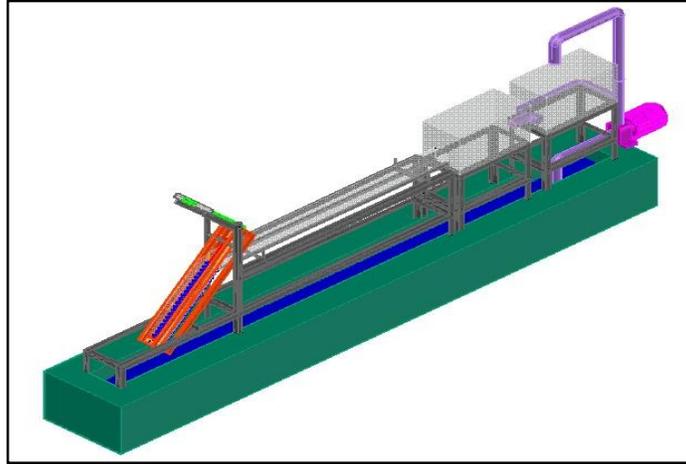
Gambar 5. Model rancangan dan hasil pembuatan turbin ulir Archimedes tiga sudu



Gambar 6. Desain geometri turbin ulir Archimedes

3.2 Desain Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Skala Laboratorium

Instalasi pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) dibuat untuk pengujian parameter eksternal *head*, debit dan pengujian-pengujian lainnya sehingga dibuat skala laboratorium. Gambar 7 menunjukkan desain PLTMH, bak penampung 2 buah dengan maksud bak penampung 1 tempat masuk air dari pompa dihubungkan dengan bak penampung 2 supaya air pada bak penampung 2 lebih *steady*.



Gambar 7. Desain instalasi PLTMH skala laboratorium



Gambar 8. Hasil pembuatan instalasi PLTMH skala laboratorium

Pembuatan instalasi pembangkit listrik tenaga mikrohidro skala laboratorium ditunjukkan Gambar 8. Turbin ulir Archimedes dibuat menggunakan material flexyglass, rangka menggunakan besi siku 3x3 cm, panjang saluran 2,1 m dari pintu air pada bak penampung, lebar saluran 0,12 m. Instalasi menggunakan pompa dan pipa PVC untuk sirkulasi air. Kemudian pengukuran torsi dan daya turbin menggunakan neraca pegas.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Model/desain dan pembuatan turbin ulir Archimedes adalah jumlah sudu (N) = 3, jarak kisar (S) = $2,4R_o$, sudut ulir (β) = 30° , rasio radius (R_i/R_o) = 0,54, jumlah lilitan (m) = 21.
2. Pembuatan instalasi pembangkit listrik tenaga mikrohidro skala laboratorium menggunakan material besi siku 3x3 cm pada bagian rangka, flexyglass pada bagian turbinnya, pompa untuk sirkulasi air, pipa PVC, bak penampung air dan dibuat pintu air, saluran dengan panjang 2,1 m lebar 0,12 m.
3. Transmisi dan generator belum di pakai pada instalasi ini. Desain untuk pengujian daya turbin menggunakan sistem pengereman putaran poros turbin dihubungkan oleh pulli dan sabuk dan mengukurnya dengan neraca pegas.

DAFTAR PUSTAKA

- David Kilama Okot, 2013. *Review of Small Hydropower Technology*. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol 26 (2013) 515-520. Elsevier.
- Rorres, C (2000). *The turnoff the screw : Optimal design of the Archimedean screw*. Journal of Hydraulic. 126(1), 72-80
- Müller. G (2009). *Simplyfied theory of Archimedean screw*, Journal of Hydraulic. Vol 47, pp. 666-669. University of Southamton, UK.
- Nuembergk Dirk. M and Chris Rorres (2013). *Analytical Model for Water Inflow of an Archimedes Screw Used in Hydropower Generation*. Journal of Hydraulic Engineering, vol. 139, no. 2.
- Reza Ali, at all (2013). *Modeling of Archimedes Turbine for Low Head Hydro Power Plant in Simulink MATLAB*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). Vol. 2 Issue 7.
- Nagel, G.,Radlik, K.A (1988). *Wasserrörderschnecken (Water lifting screws)*, Bauverlag, Wiesbaden/Berlin (in German).
- Brada, K (1996a). *Schneckenrotpump als Mikroturbine, in Wasserkraftanlagen-Klien-und Klienstrafwerke*, 1st Ed., expert-Verlag, Malsheim
- Lashofer, A., Kaltenberger, F., and Pelikan, F. (2011). *“Wie gut bewahrt sich die wasserkraftschnecke in der Praxis.”* Wasserwirtschaft, 7-8, 76-82.

Brada, K (1996b). *Wasserkraftschnecke-Eigenschaften und Verwendung*. Proc.,Sixth Int. Symp. On Heat Exchange and Renewable Energi, Szczecin, 43-52.

Brada, K (1999). *Hydraulic screw generates electricity from micro hydropower station*, Maschinenmarkt Wurzburg, Mitteilung 14, 52-56. (in German).

Lyon Murray, et al. (2013). *Archimedes Screw For Microhydro Power Generation*. Proceeding of the ASME 2013 ES-FuelCell2013-18067. Minneapolis, MN, USA.

Waters Shaun, et al. (2015). *Over 2000 years in review : revival of the Archimedes Screw from Pump to Turbine*. Journal of Renewable and Sustainable Energy review. 51 (2015) 497-505. Elsevier.

Nagel, G. (1968). *Archimedean screw pump handbook*. Prepared for Ritz-Astro Pumpwerksbau GMBH Roding, Nürnberg, Germany.

Havendri Adly, Irvan Arnif. (2010). *Kaji Eksperimental Penentuan Sudut Ulir Optimum Pada Turbin Ulir Untuk Pusat Tenaga Listrik Mikrohidro*. Prosiding SNNTM ke- 9..2010. Fakultas teknik Universitas Andalas, Padang.

Hellmann, HD, (2003). *Report on determination of hydraulic screw efficiency manufactured by Ritz-Astro Ltd*. Technical University, Kaiserslautern Germany.

Munson R. Bruce, et all. *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 4th. Ed, Wiley, 2004.

Williamson S.J at all (2014). *Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis*. Journal of Renewable Energi, vol 61 (2014) 43-50. Elsevier.

Saroinsong Tineke, at al.(2015) *The Effect of Head Inflow and Turbine Axis Angle Towards The Three Row Bladed Screw Turbine Efficiency*. International Journal of Applied Engineering Research. Vol.10, no 7, pp 16977-16984. RIP, India

Saroinsong Tineke, at al (2016). *Fluid Flow Phenomenon in a Three-Bladed Power Generating Archimedes Screw Turbine*. Journal of Engineering Science and Technology Review. Vol.9, no 2, pp. 72-79. Kavala Institute of Technology, Greece (Yunani)

IPTEK BAGI MASYARAKAT (IBM) KELOMPOK USAHA PEMBUAT RUSIP**Robert Napitupulu¹⁾, Rodika²⁾**

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Kawasan Industri Airkantung-Sungailiat, Sungailiat, 33211
rnapitupulu77@gmail.com

ABSTRACT

Nabila Rusip is one of the IKM built Disperindag Pangkalpinang City which makes the traditional food of the people of Bangka became popular and famous. This success is inseparable from the role of Local Government of Pangkalpinang City which continues to encourage Nabila Rusip business with the provision of appropriate technology in 2015 in processing fish raw materials for the manufacture of rusip. However, at this time the machine can not be operated again due to operator error in using the tool. The purpose of science and technology for the community of the business group of the russians is to repair the fish pressing machine for the manufacture of rusip which was received by the partner from the Industry and Trade Office of Pangkalpinang City. The implementation method starts from inventorying problems, the process of repair and manufacture of machinery, assembly, testing and lastly provides a brief training on how to operate and maintain the correct machine. The results of this activity obtained the fish machine can be re-operated, productivity Nabila Rusip increase and the sale proceeds to increase.

Keywords: *Rusip, Appropriate Technology, Pres Machine*

ABSTRAK

Nabila Rusip adalah salah satu dari IKM binaan Disperindag Kota Pangkalpinang yang membuat makanan tradisional orang Bangka menjadi populer dan terkenal. Keberhasilan ini tidak terlepas dari peranan Pemerintah Daerah Kota Pangkalpinang yang terus mendorong usaha Nabila Rusip dengan penyediaan teknologi tepat guna tahun 2015 dalam memproses bahan baku ikan untuk pembuatan rusip. Namun, saat ini mesin tersebut tidak dapat dioperasikan lagi akibat dari kesalahan operator dalam menggunakan alat tersebut. Tujuan dari iptek bagi masyarakat kelompok usaha pembuat rusip adalah untuk memperbaiki mesin pengepres ikan untuk bahan pembuatan rusip yang pernah diterima mitra dari Dinas Perindustrian dan Perdagangan kota Pangkalpinang. Metode pelaksanaan yang dilakukan dimulai dari menginventaris masalah, proses perbaikan dan pembuatan mesin, assembly, ujicoba dan terakhir memberikan pelatihan singkat tentang bagaimana cara pengoperasian dan perawatan mesin yang benar. Hasil dari kegiatan ini diperoleh mesin pengepres ikan dapat beroperasi kembali, produktivitas Nabila Rusip meningkatkan dan hasil penjualan ikut meningkatkan.

Kata Kunci: *Rusip, Teknologi Tepat Guna, Mesin Pres,*

PENDAHULUAN**Analisis Situasi**

Rusip atau *Rosep* adalah makanan tradisional orang Bangka sebagai pengganti saus sambal atau salad, dengan rasa lezat asin cocok dimakan dengan lalapan (id.wikipedia.org). Makanan ini terbuat dari ikan teri / bilis yang difermentasi, kemudian disimpan dalam botol untuk di awetkan. Rusip diproduksi secara merata didaerah Bangka. Tetapi masih dalam skala rumah tangga (*Home industry*). Makanan

ini sering ditemukan di toko – toko yang menjual makanan khas Bangka, namun ada juga yang dijual langsung dari rumah ke rumah. Proses pembuatan rusip di kepulauan Bangka Belitung khususnya masih menggunakan cara – cara tradisional mulai dari membersihkan ikan, meniriskan, mencampur bumbu dan memfermentasi.

Kondisi Mitra Saat ini

Di Kota Pangkalpinang terdapat beberapa industry rumah tangga pembuat rusip, salah satunya adalah Ibu Sunarti (Nabila Rusip) yang beralamat di Jl. Imam kelurahan Semabung Baru kecamatan Bukit Intan Pangkalpinang. Saat ini usaha pembuatan rusip milik Ibu Sunarti dibantu oleh 3 (tiga) orang tenaga kerja untuk membantu dalam proses produksi. Dalam proses pembuatannya dimulai dari memisahkan ikan, membersihkan ikan, membuang kepala ikan dan mengepres ikan dilakukan dengan cara manual. Setiap hari mereka mengerjakan ikan sebanyak 100 kg/hari. Ini dilakukan dengan cara manual. Ikan yang datang dipilih dan dipisahkan antara yang besar dan kecil, kemudian dicuci dengan menggunakan air untuk menghilangkan kotoran dan bau pada ikan. Selanjutnya kepala ikan dipisahkan diantara badannya dan kemudian dilakukan proses pengepresan. Proses pengepresan ini dilakukan untuk mengurangi kadar air pada ikan sehingga proses fermentasi nantinya baik. Semakin sedikit kandungan air pada ikan, maka rusip yang dihasilkan akan semakin sempurna. Proses pengepresan ikan dilakukan dengan cara meletakkan ikan pada kain serbet, selanjutnya kain serbet diputar dan dipres menggunakan tangan. Hasil yang didapat setiap kali pengepresan sangatlah terbatas hanya menghasilkan 3 ons dan memakan waktu yang lama. Untuk kapasitas ikan 100 kg, bisa diselesaikan dalam waktu 6-8 jam (satu hari penuh).

Permasalahan Mitra

Tahun 2015, pemerintah kota Pangkalpinang dalam hal ini Dinas Perindustrian, Perdagangan dan Koperasi menggalakkan Teknologi Tepat Guna (TTG) bagi para IKM (Koran Babel, 2017). Salah satu IKM yang mendapatkan prioritas dari pemerintah adalah Ibu Sunarti, yakni sebuah mesin pengepres ikan untuk bahan pembuatan rusip. Ibu Sunarti sangatlah terbantu dengan mesin yang diberikan oleh pemerintah. Mesin tersebut mampu mengepres ikan sebanyak 15kg/proses dengan waktu hanya 5 menit. Dengan alat tersebut, ibu sunarti bisa mengurangi tenaga yang dibutuhkan dan waktu

yang terbuang. Sisa waktu yang ada bisa digunakan untuk pengerjaan lainnya sebagai ibu rumah tangga. Namun sayang, alat tersebut kini mengalami kerusakan dan tidak dapat berfungsi lagi sehingga ibu sunarti kembali ke manual untuk proses pengepresan ikan sebagai bahan baku pembuatan rusip. Dari survey dan analisa bersama dengan mitra permasalahan yang dihadapi oleh usaha pembuatan rusip milik Ibu Sunarti, yaitu mengenai persoalan produksi yang masih dilakukan secara manual. Adapun persoalannya sebagai berikut:

1. Proses pengepresan ikan masih menggunakan cara manual dengan menggunakan tenaga manusia (Gambar 1). Proses pengepresan ikan dengan berat 100 kg/hari membutuhkan waktu satu hari penuh dan menguras banyak tenaga. Padahal tenaga kerja yang ada saat ini terbatas. Kemudian, hasil yang dicapai tidaklah sempurna dan tidak merata, hal ini bisa dilihat dari masih banyaknya kandungan air pada ikan. Ini akan berpengaruh pada kualitas rusip yang dihasilkan atau proses fermentasinya kurang bagus.



Gambar 1. Proses pengepresan ikan dengan cara manual

2. Mitra pernah mendapatkan bantuan mesin TTG pengepres ikan pada tahun 2015 dan hanya bertahan selama 1(satu) tahun, namun saat ini mengalami kerusakan sehingga tidak bisa lagi digunakan (Gambar 2).



Gambar 2. Mesin Pengpres ikan yang rusak

Adapun permasalahannya terletak pada:

- a. Kurang mengertinya mitra dalam pengoperasian mesin sehingga penggunaannya salah atau tidak mengikuti SOP yang diberikan
- b. Tidak pahamnya mitra dalam perawatan mesin, sehingga mesin menjadi cepat rusak

Makna Eksistensi Mitra di Lingkungan Masyarakat

Industri kecil dan menengah (IKM) Nabila Rusip banyak memberikan manfaat bagi masyarakat disekelilingnya. Manfaat tersebut diantaranya adalah sebagai berikut.

- 1) Melestarikan makanan khas Daerah Bangka Belitung
- 2) Memberi motivasi kepada masyarakat disekitarnya untuk membuka usaha yang sejenis.
- 3) Menyerap tenaga kerja baru.

Perbaikan mesin pengepres ikan ini diharapkan dapat lebih memberikan kontribusi pada IKM, dan masyarakat setempat termotivasi untuk ikut melestarikan makanan khas Bangka Belitung, selain itu akan membuka lapangan pekerjaan yang baru.

Solusi dan Target Luaran Mitra

Solusi dan Target luaran untuk mitra adalah perbaikan mesin pengepres ikan yang merupakan bantuan dari Dinas Perindustrian, perdagangan dan koperasi tahun 2015, yang meliputi perbaikan system penekan/dongkrak, perbaikan poros yang bengkok, perbaikan system pembuangan air perasan, perbaikan tutup pengepres, dan perbaikan pada system landasan dan roda. Sedangkan solusi dan target luaran yang berkaitan dengan system perawatan mesin adalah memberikan pelatihan singkat kepada mitra bagaimana cara merawat mesin, komponen-komponen apa saja yang akan dirawat dan bagaimana cara perawatannya, system perawatan apa yang digunakan agar mitra jelas dan paham serta bagaimana penggunaan SOP mesin yang baik dan benar.

METODE PELAKSANAAN

Metode pelaksanaan yang diusulkan untuk menyelesaikan permasalahan diatas adalah memperbaiki mesin pengepres ikan yang rusak sehingga bisa digunakan kembali, serta memberikan pelatihan singkat tentang perawatan mesin. Adapun tahapan-tahapan pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

A. Perbaiki Mesin Pengepres Ikan

1. Inventarisasi masalah mesin. Pada tahap ini menginventarisasi permasalahan pada mesin. Inventarisasi dimulai dari:
 - a. Mengapa mesin tidak berfungsi dengan baik
 - b. Mengapa dongkrak tidak dapat bekerja
 - c. Apakah ada komponen peralatan yang mengalami bengkok atau rusak
 - d. Mengapa system tidak dapat bekerja dengan baik

2. Proses Perbaikan mesin pengepres ikan

Pada tahap ini adalah memperbaiki mesin pengepres ikan yang rusak. Proses perbaikan dilakukan pada bengkel mekanik Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang meliputi perbaikan system penekan/dongkrak, perbaikan poros yang bengkok, perbaikan system pembuangan air perasan, perbaikan tutup pengepres, dan perbaikan pada system landasan dan roda.

3. Assembly atau perakitan

Pada tahap ini adalah merakit komponen yang sudah diperbaiki. Proses perakitan dimulai dari pelat landasan, poros pengarah, dudukan pengepres, dudukan saringan, tutup penekan dan dudukan dongkrak. Semua system dirakit jadi satu kesatuan dan mempertimbangkan kesatusumbuan agar system tidak miring.

4. Ujicoba

Pada tahapan ini Melakukan ujicoba mesin dengan dan tanpa bahan baku. Tujuannya adalah untuk melihat apakah system bekerja dengan baik dan dapat Melakukan proses pengepresan dengan baik. Pengujian dengan menggunakan bahan baku ikan bertujuan untuk melihat apakah hasil pengepresan ikan sesuai dengan yang dikehendaki.

B. Pelatihan perawatan mesin

Perawatan adalah suatu kombinasi dari semua tindakan yang akan dilakukan dalam rangka mempertahankan dan mengembalikan suatu peralatan pada kondisi yang baik (Feriadi, 2012). Pada tahap ini adalah memberikan pelatihan singkat kepada mitra mengenai perawatan mesin yang meliputi bagaimana cara merawat mesin, komponen-komponen apa saja yang akan dirawat dan bagaimana cara perawatannya, system perawatan apa yang digunakan agar mitra jelas dan paham serta bagaiman penggunaan SOP mesin yang baik dan benar. Sumber daya

pelatihan yang digunakan ada dosen dari Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang berkompeten dari program studi perawatan dan perbaikan mesin. Pelatihan ini akan diberikan dalam satu hari, sehingga harapannya mitra memahami dan mengerti prosedur perawatan mesin yang baik dan benar.

Melalui kegiatan ini diharapkan ada partisipasi aktif dari mitra dan tim pengabdian sehingga kegiatan ini diharapkan dapat berjalan dengan baik. Sebagai metoda untuk mengevaluasi kegiatan ini agar tetap berlanjut walaupun kegiatan ini telah selesai adalah dengan tetap menjalin hubungan yang baik antara mitra dan tim pengabdian. Salah satu langkah yang dilakukan tetap memantau dan melihat kondisi mitra, dan memberikan layanan perbaikan apabila ditemukan kendala dilapangan pada saat kegiatan ini sudah selesai. Diharapkan melalui kegiatan ini tetap tercipta hubungan yang baik antara mitra dengan tim pengabdian.

HASIL DAN IPTEKS YANG DITRANSFER KEPADA MITRA

Proses perbaikan mesin pengepres ikan dilakukan dibengkel mekanik Polmanbabel selama 2 (dua) minggu. Sebelum dilakukan perbaikan dilakukan pengamatan terlebih dahulu mengapa mesin tidak dapat beroperasi dengan baik. Selanjutnya hasil pengamatan dianalisa penyebab terjadinya kerusakan pada mesin pengepres.

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis, diketahui mesin mengalami kerusakan pada 4 (empat) buah poros pengarah yang mengalami bengkok dan system pengepresan yang tidak berfungsi lagi. Hal ini terjadi karena pada saat pengoperasian mesin, posisi tiang pengarah tidak satu sumbu dan kapasitas pengepresan yang melebihi batas kemampuan mesin dan operator tidak memahami akan hal ini. Akibatnya, mesin dipaksa beroperasi dan mengalami bengkok dan rusak. Kemudian selanjutnya dilakukan proses perbaikan.

Proses perbaikan dilakukan dengan cara melakukan pembongkaran ulang dan menggantikan komponen tiang pengarah (4 buah) yang mengalami bengkok serta menggantikan system pengepres yang sudah rusak (Gambar 3).



Gambar 3. Proses Perbaikan komponen mesin pengepres yang rusak.

Selanjutnya komponen-komponen mesin yang rusak diganti dan dibuat baru. Proses pembuatan komponen mesin menggunakan mesin bubut, milling, dan fabrikasi. Setelah komponen selesai dibuat kemudian dilakukan perakitan. Proses perakitan dimulai dengan pemasangan pelat landasan bawah, pemasangan 4 (empat) buah tiang pengarah, pemasangan Pelat dudukan dan wadah, pemasangan tiang pengunci dan terakhir penutup bagian atas. Selanjutnya tahapan akhir dari perbaikan ini adalah proses pengecatan. Gambar 4 berikut merupakan proses perakitan dan pengecatan yang dilakukan dibengkel Polmanbabel.



Gambar 4. Proses perakitan dan pengecatan

Secara umum gambaran mesin pengepres ikan untuk bahan baku pembuatan rusip sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Mesin sebelum dan sesudah perbaikan

Adapun cara pengoperasian mesin pengepres ikan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tarik tuas pengunci pada tutup bagian atas
2. Tarik penutup atas menggunakan pengait hingga posisi 90°
3. Pasang tuas pengunci agar penutup atas tidak terjatuh
4. Masukkan bahan baku ikan kedalam karung dan letakkan kedalam wadah pengepres
5. Tarik penutup bagian atas agar sedikit bebas dan Tarik secara perlahan tuas pengunci agar penutup dapat turun secara perlahan
6. Kunci handel pada dongkrak agar dapat dioperasikan
7. Gerakkan tuas pada dongkrak agar dapat naik secara perlahan hingga menekan bahan baku ikan sampai maksimum
8. Tahan dan biarkan mesin menekan bahan baku selama 5 menit, agar kandungan air pada ikan dapat keluar sempurna
9. Kendorkan tuas pengikat pada dongkrak hingga wadah turun sempurna
10. Angkat penutup atas dan masukkan kembali tuas handel penahan agar tidak jatuh
11. Angkat bahan baku ikan dari wadah dan keluarkan dari karung

Proses Ujicoba mesin dilakukan dengan dua tahap, yakni tahap pertama ujicoba tanpa beban. Ujicoba ini dilakukan untuk memastikan semua part atau bagian berfungsi dengan baik saat dioperasikan dan tidak mengalami hambatan. Berdasarkan hasil ujicoba, mesin telah mampu bekerja sesuai dengan fungsinya dan dapat melakukan proses pengepresan dengan baik.

Ujicoba kedua dilakukan dengan memasukkan bahan baku ikan kedalam wadah sebanyak 30Kg. pada tahap ini untuk memastikan bahwa alat dapat bekerja dengan baik. Prosedur pengoperasian mengikuti cara pengoperasian diatas. Berdasarkan hasil

ujicoba, mesin mampu mengepres ikan dengan kapasitas 30 Kg/proses dalam waktu 15 menit.

Agar peralatan dapat berumur panjang dan tahan lebih lama, maka dibutuhkan suatu sistem perawatan terhadap suatu peralatan. Perawatan yang cocok dilakukan pada mesin pengepres ikan ini adalah perawatan pencegahan (*Preventive*). Perawatan ini dilakukan sebelum dan sesudah mesin digunakan. Pelatihan singkat terhadap operator dalam melakukan kegiatan perawatan ini telah dilakukan. Selain itu juga cara pengoperasian mesin sesuai dengan standar pengoperasian prosedur juga diberikan, agar mitra memahami cara mengoperasikan mesin tersebut dengan baik dan benar.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil Pembahasan dapatlah disimpulkan bahwa:

- a) Kerusakan yang terjadi pada mesin Mitra disebabkan karena kesalahan operator dalam mengoperasikan mesin
 - b) Ketidaktahuan operator terhadap kapasitas mesin dapat mengakibatkan kerusakan yang fatal dan membahayakan operator itu sendiri
 - c) Setelah dilakukan proses perbaikan, mesin pengepres ikan untuk bahan pembuatan rusip dapat beroperasi kembali dan dapat meningkatkan pendapatan mitra
- Simpulan merupakan ringkasan atas temuan penelitian dan implikasinya. Saran diberikan untuk pengembangan dan penelitian lanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Polmanbabel dan P3KM Polmanbabel yang telah memberikan dana hibah pengabdian masyarakat tahun 2017 dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ensiklopedia bebas, Masakan kepulauan Bangka Belitung [online], diakses pada tanggal 21 Februari 2017, Available : [http:// id.wikipedia.org/](http://id.wikipedia.org/).
- Indra Feriadi, Modul Perawatan Mandiri, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, 2012
- Koran Babel, UMKM Archives - KORAN BABEL [online], diakses pada tanggal 21 februari 2017, Available : <http://koranbabel.com/>

PEMODELAN PENGERINGAN PAPER WEB DI DRYER SECTION DARI MESIN KERTAS DENGAN ANALISIS PERPINDAHAN PANAS DAN MASSA**Ach. Muhib Zainuri¹**¹Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang
muhibzain@gmail.com**ABSTRACT**

The problem in papermaking process at dryer section of paper mill is the large heat energy consumed to decrease residual moisture from paper web. Energy used is for nearly 1/3 of the total energy consumption in an integrated paper mill and approximately 80% of its steam requirement. In this study a model for paper web drying at dryer section of paper machine was developed based on heat and mass balances around drying cycles. Temperature increase in paper web is modeled with heat equation. As the temperature change is known, the evaporated water can be computed via mass transfer equation. Relationships for heat transfer coefficients between paper web and the air as well as between dryer cylinder and paper web could be represented effectively in terms of moisture content, basis weight, and machine velocity. The solution for the model is computed with numerical methods by finite difference method. The result of modelling paper web drying at dryer section shows that heat energy needed will decrease by increasing machine velocity. This kind of modelling gives crucial information of the dryer section, thus helping paper manufacturers optimize dryer section configurations.

Keywords : *paper web, heat and mass transfer, heat transfer coefficient, bone-dry weight, dryer section*

ABSTRAK

Masalah yang timbul pada proses pembuatan kertas di dryer section adalah besarnya energi yang dibutuhkan untuk menurunkan sisa uap air dari *paper web*. Energi yang digunakan hampir 1/3 kebutuhan energi total pada pabrik kertas terintegrasi dan hampir 80% dalam bentuk uap. Pada kajian ini model pengeringan *paper web* di dryer section dari mesin kertas berdasarkan kesetimbangan panas dan massa sepanjang siklus. Peningkatan suhu *paper web* dimodelkan dengan persamaan kalor. Perubahan suhu yang diketahui, maka uap air yang diuapkan dapat dihitung dengan persamaan perpindahan massa. Hubungan koefisien perpindahan panas di antara *paper web* dan udara serta antara slinder dryer dan *paper web* dapat dinyatakan dalam bentuk kandungan uap air, gramatur, dan kecepatan mesin. Penyelesaian model dihitung dengan analisa numerik dengan metode beda hingga. Hasil pemodelan pengeringan *paper web* di dryer section menunjukkan bahwa energi panas yang dibutuhkan berkurang dengan meningkatkannya kecepatan mesin. Pemodelan ini memberikan informasi yang sangat penting dan membantu optimalisasi konfigurasi dryer section bagi pembuat kertas.

Kata-kata kunci: *paper web, perpindahan panas dan massa, koefisien perpindahan panas, berat kering, dryer section.*

PENDAHULUAN

Pembuatan kertas pada dasarnya adalah *dewatering process*. Sebagian besar air harus dikeluarkan dengan proses gravitasi dan gaya *vacuum* di *forming section*, aksi mekanis di *press section*, dan energi termal di *dryer section*. Dengan basis tiap 1.0 kg padatan (*fiber*) yang dikeluarkan: 195 kg air di *forming section*; 2,8 kg air di *press section*; dan 1,2 kg

uap air di *dryer section* (Park, 2016). Meskipun *dryer section* mengeluarkan porsi paling sedikit dari total *dewatering*, tetapi pengguna energi paling besar. Hal ini karena serat kertas (*pulp fibers*) bersifat *porous*, *hygroscopics*, dan mengandung air yang sulit dikeluarkan (*hard-to-remove*) dengan hanya aksi mekanis.

Industri pulp dan kertas menempati urutan keempat terbesar di dunia dalam pemakaian energi disamping industri kimia, baja, dan minyak. Pemakaian energi terbesar terutama pada proses penguapan uap air di *dryer section* dari mesin kertas (Noboa, 2010). Umumnya pada *dryer section*, untuk menguapkan tiap 1 kg uap air pada lembaran *paper web* diperlukan 2600 – 3500 kJ energi panas dalam bentuk uap (Martinsson, 2012). Ini berarti, 1/3 dari total konsumsi energi pada *integrated paper mill* digunakan oleh *dryer section* untuk mengurangi kadar air dari 60% menjadi di bawah 10% (Pontremoli, 2007) yang membuat *dryer section* sebagai pengguna energi panas terbesar dan sejauh ini merupakan bagian yang paling mahal dalam proses pembuatan kertas.

Kebutuhan energi yang besar di *dryer section* menuntut kajian bagaimana karakteristik perubahan perilaku yang terjadi pada *dryer section* karena adanya gangguan kesetimbangan massa dan energi akibat perubahan laju perpindahan panas dan perpindahan massa pada proses pengeringan *paper web*. Kenyataan ini memerlukan pemodelan yang mencakup beberapa kombinasi subproses dalam pengeringan *paper web*. Subproses ini dimodelkan dengan persamaan differensial atau persamaan differensial parsial. Penyelesaian model dilakukan dengan analisa numerik menggunakan metode beda hingga (*finite difference method*) yang dapat menjelaskan hubungan antara temperatur *cylinder dryer* dan temperatur udara di dalam *dryer hood* terhadap temperatur *paper web* dan *dry solid content* agar diperoleh derajat kekeringan (*dryness*) *paper web* yang diharapkan.

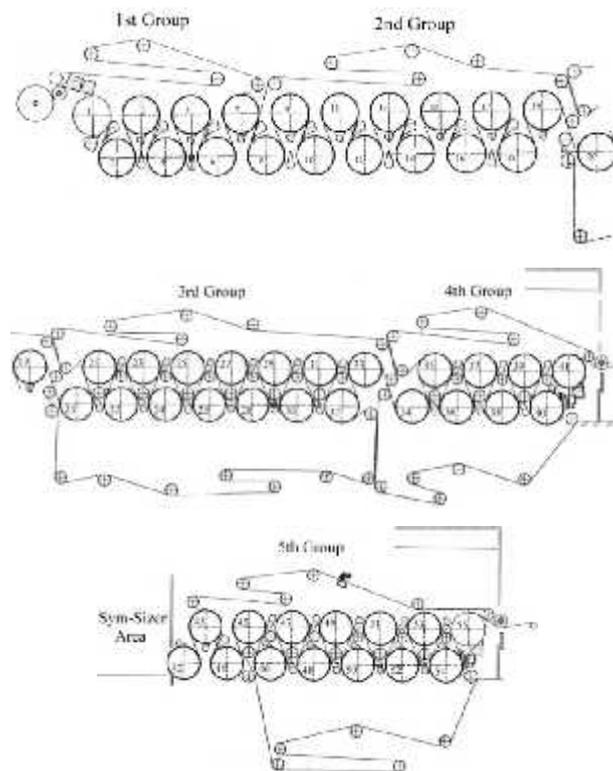
TINJAUAN PUSTAKA

Dryer section bertujuan untuk mengeringkan lembaran kertas dengan cara penguapan (*evaporation*) sisa uap air (*residual moisture*) di dalam *paper web* dengan cara kontak langsung dengan permukaan *cylinder dryer* yang sangat panas sehingga mencapai derajat kekeringan yang diharapkan. Energi panas diperlukan untuk mencapai sifat-sifat *paper sheet* yang diinginkan karena sifat-sifat kertas diperoleh selama pengeringan. Penggunaan model dan simulasi merupakan cara paling baik menentukan unjuk kerja *dryer section*

(Arasakesari *et al.*, 2011; Perré *et al.*, 2014; Yeo *et al.*, 2009). Tujuan kajian ini adalah: (1) untuk mengembangkan pemodelan numerik dengan metode beda hingga pada *dryer section* dari mesin kertas yang dapat menjelaskan karakteristik proses pengeringan *paper web* dan (2) untuk simulasi temperatur dan *moisture content* di dalam *paper web* dengan temperatur permukaan *cylinder dryer*, kondisi udara di dalam *ventilation hood*, dan kecepatan mesin sebagai variabel bebas.

A. Model Proses Pengeringan

Gambar 1 menunjukkan skema konfigurasi *dryer section* (Vitikainen *et al.*, 2009). *Dryer section* dibagi menjadi 5 grup berdasarkan tekanan uap yang dimasukkan ke dalam *cylinder dryer*, masing-masing 4 dan 1 grup di *pre-dryer* dan *after-dryer*. Proses penguapan uap air dari lembaran kertas di *dryer section* menggunakan *multicylinder dryer*. Kertas dikeringkan berbelok-belok melewati *cylinder dryer* yang bergerak dengan kecepatan linier yang sama.

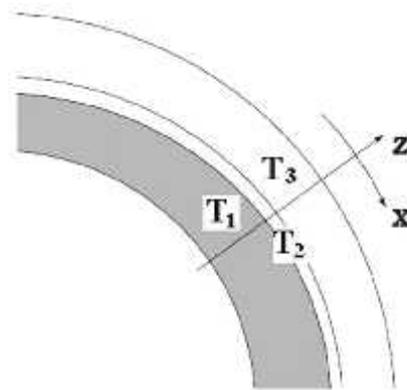


GAMBAR 1. KONFIGURASI DRYER SECTION

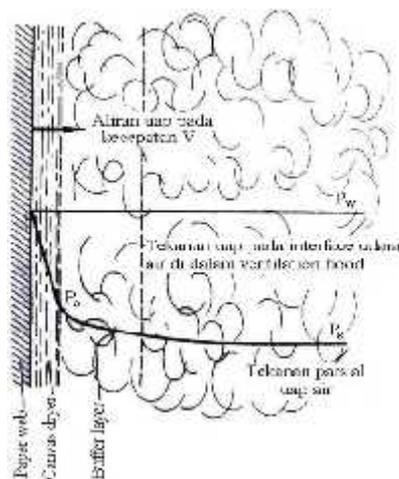
B. Pendekatan Model Perpindahan Panas

Tujuan kajian adalah untuk memodelkan *process flow*, distribusi temperatur, dan *moisture content* pada pengeringan *paper web* di *dryer section*. Untuk menyederhanakan

pemodelan dibuat beberapa asumsi, yaitu: (1) udara dinyakan sebagai campuran *dry air* dan uap air, (2) tidak ada variasi temperatur permukaan *cylinder dryer*, (3) dinding *dryer hood* bersifat adiabatik. Interaksi panas antara *cylinder dryer paper web*, dan *canvas dryer* secara skematik ditunjukkan pada gbr. 2.a.



(a)



(b)

GAMBAR 2. MODEL (A) PERPINDAHAN PANAS (B) PERPINDAHAN MASSA

C. Pendekatan Model Perpindahan Massa

Penguapan terjadi karena interaksi uap air pada *paper web* yang bergerak dengan kecepatan V dan udara di dalam *ventilation hood*. Dengan pembauran (*diffusion*) molekular, uap air ini mengalir melalui *canvas dryer* dengan penurunan tekanan P_w ke P_c . Penurunan tekanan kemudian terjadi melalui lapisan penyangga (*buffer layer*) dari P_c ke P_s dengan proses difusi dan konveksi sebagai *driving force* untuk mengeluarkan uap air dari *paper web* ke *dryer hood* kemudian dibuang ke lingkungan (gbr. 2.b).

METODE PENELITIAN

Multicylinder drying process terdiri dari siklus berulang mengikuti arah *paper web*. Gambar 3.a menunjukkan siklus pengeringan *single felted* grup 1 dan 2 yang dinotasikan dengan C'-D. Pada siklus ini *paper web* tetap kontak dengan permukaan *cylinder dryer* yang tetap ditekan oleh *canvas dryer (single felted)* dan akan tetap diikuti pada *free-run*. Gambar 3b menunjukkan siklus pengeringan *double felted* dengan *paper web* tetap kontak dengan permukaan *cylinder dryer* dengan sisi bagian luar ditekan *canvas dryer* tetapi pada bagian *free-run*, *paper web* kontak langsung dengan udara di dalam *ventilation hood*.

Pemodelan Perpindahan Panas

1. Boundary condition pada arah – Z

Panas yang diserap oleh *paper web* dari *cylinder dryer* dinyatakan dengan pers. 1. Perhitungan dibuat pada *boundary* di permukaan *cylinder dryer*:

$$q = -k_w \frac{\partial}{\partial z} \Big|_{z_c=d_c} = \frac{k_w (a_w)}{a_w (a_w)} \frac{\partial}{\partial z} \Big|_{z_c=d_c} = h_d (T_c - T_w) \tag{1}$$

Perpindahan panas antara *paper web* dan kanvas *dryer* dinyatakan dengan pers. 2, yaitu:

$$q = -k_f \frac{\partial}{\partial z} \Big|_{z_f=d_f} = \frac{k_f \partial}{\partial_f \partial} \Big|_{z_c=d_c} = h_w (T_f - T_w) \tag{2}$$

Perpindahan panas antara *paper web* dan udara di dalam *ventilation hood* dinyatakan dengan pers. 3:

$$q = h_e \frac{\partial}{\partial z} \Big|_{z_w=d_w} = h_e (T_d - T_w) \tag{3}$$

2. Boundary condition pada arah – X

Boundary condition pada arah - X diterapkan untuk *paper web*. Sifat-sifat *paper web* tergantung pada *moisture content* di dalam *paper web*. Konduktifitas termal, kapasitas kalor spesifik, dan *basis weight* dari *paper web* dinyatakan dengan pers. 4, 5, dan 6:

$$k_w = \frac{k_d + a_w \cdot k_{H_2O}}{1 + a_w} \tag{4}$$

$$C_w = \frac{C_f - 1,3 \cdot a_x + a_w}{1 + a_w} \tag{5}$$

$$B = (1 + a_w) \cdot D \tag{6}$$

Pemodelan Perpindahan Massa

Penguapan terjadi karena interaksi uap air pada *paper web* yang bergerak dengan kecepatan V dan udara di dalam *ventilation hood*. Dengan pembauran (*diffusion*) molekular, uap air ini mengalir melalui *canvas dryer* dengan penurunan tekanan P_w ke P_c . Penurunan tekanan kemudian terjadi melalui lapisan penyangga (*buffer layer*) dari P_c ke P_s dengan proses difusi dan konveksi sebagai *driving force* untuk mengeluarkan uap air dari *paper web* ke *dryer hood* kemudian dibuang ke lingkungan (gbr. 2.b).

Laju penguapan uap air m dari *paper web* dapat dinyatakan sebagai:

$$m = \frac{h_e}{c_{u1} + \chi_s \cdot c_v} (\chi_s - \chi) \tag{7}$$

dengan perbandingan kelembaban udara χ_s , χ_v , dan χ ditentukan dari pers.:

$$\chi_s = \frac{0,6}{P - P_s} \cdot P_s \tag{8}$$

$$\chi = \frac{1,0}{2} \frac{(T_w - T_d) + \chi_v(2 - 2,3 \cdot T_w)}{+1,8 \cdot T_d - 4,1 \cdot T_w} \tag{9}$$

$$\chi_v = \frac{0,6}{P - P_w} \cdot P_w \tag{10}$$

P_w dan P_s ditentukan dari pers. Antoine, yaitu:

$$P_w = 10^{5,1 - \frac{1.5}{T_w + 2.1}} \tag{11}$$

$$P_s = 10^{5,1 - \frac{1.5}{T_s + 2.1}} \tag{12}$$

Kalor penguapan H_{ev} adalah jumlah dari kalor laten penguapan h_{vap} uap air dan kalor laten kondensasi uap air h_s dari permukaan *paper web* pada suhu tetap (Coveney, 2009):

$$H_{ev} = h_{vap} + h_s \tag{13}$$

dengan kalor laten penguapan h_{vap} ditentukan dari pers.:

$$h_v = 505,374(1 - T_r)^{0,3} + 269,6581(1 - T_r)^{0,4} \tag{14}$$

di mana penurunan temperatur T_r (*reduced temperature*) ditentukan dari persamaan:

$$T_r = \frac{T_w}{3.9} \tag{15}$$

Kalor laten kondensasi uap air dari permukaan *paper web* ditentukan dari pers.:

$$h_s = R \left(\frac{1 - \phi}{\phi} \right) \cdot 0,10085 \cdot \alpha_w^{1,0} \cdot T_w^2 \tag{16}$$

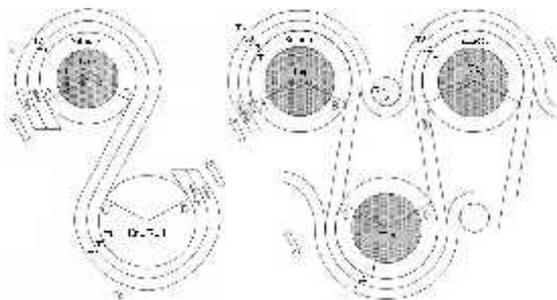
dengan w ditentukan berdasarkan temperatur dan kandungan uap air pada *paper web*:

$$w = 1 - \exp(-47,58 \cdot \alpha_w^{1,8} - 0,10085 \cdot T_w \cdot \alpha_w^{1,0}) \quad (17)$$

Dengan mengkombinasikan pers. (14) hingga (17), maka pers. (13) dapat ditulis kembali dalam bentuk:

$$H_e = 505,3747 \left(1 - \frac{T_w}{373,95}\right)^{0,3} + 269,6581 \left(1 - \frac{T_w}{373,95}\right)^{0,4} + 0,011124 \left(1 - \frac{1}{w}\right) \alpha_w^{1,0} \cdot T_w \cdot (T_w + 273,15) \quad (18)$$

Multicylinder drying process terdiri dari siklus berulang mengikuti arah *paper web*. Gambar 3.a menunjukkan siklus pengeringan *single felted* grup 1 dan 2 yang dinotasikan dengan C'-D. Pada siklus ini *paper web* tetap kontak dengan permukaan *cylinder dryer* yang tetap ditekan oleh *canvas dryer (single felted)* dan akan tetap diikuti pada *free-run*. Gambar 3b menunjukkan siklus pengeringan *double felted* dengan *paper web* tetap kontak dengan permukaan *cylinder dryer* dengan sisi bagian luar ditekan *canvas dryer* tetapi pada bagian *free-run*, *paper web* kontak langsung dengan udara di dalam *ventilation hood*.



GAMBAR 3. SIKLUS PENGERINGAN, A. SINGLE FELTED, B. DOUBLE FELTED

Pada zona A-B, dinamika temperatur *paper web* dapat dinyatakan dalam bentuk pers. 19:

$$\frac{dT_2}{d} = \frac{1}{D(1 + \alpha_w)C_w \cdot T_{2,t-1}} \cdot \{h_a T_1 - (h_a + h_w) T_2 + h_w T_3 - m \cdot H_e\} \quad (19)$$

Dinamika temperatur kanvas dryer dapat dinyatakan dalam bentuk pers. 20:

$$\frac{dT_3}{d} = \frac{1}{L_c \rho_c C_c} \{h_w T_2 - (h_w + h_e) T_3 + h_e T_d\} \quad (20)$$

Pada zona B-C' di mana paper web tetap kontak dengan kanvas dryer pada satu sisi di daerah free-run, dinamika temperatur paper web, kanvas dryer, dan kandungan uap air dinyatakan dalam pers. 21:

$$\frac{dT_2}{d} = \frac{1}{D(0,3 - 1,3 \cdot a_e + a_w) \cdot T_{2i-1}} \cdot \{ h_e \cdot T_d - T_{2i-1} (h_e + h_w) + h_w T_3 - m \cdot H_e \} \quad (21)$$

$$\frac{dT_3}{d} = \frac{1}{L_c \rho_c c_c} \{ h_w T_2 - (h_w + h_e) T_3 + h_e T_d \} \quad (22)$$

$$\frac{da_w}{d} = - \frac{m}{D} \quad (23)$$

Pada zona B-C di mana paper web tetap bergerak bebas, dinamika temperatur paper web dan kandungan uap air dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$\frac{dT_2}{d} = \frac{1}{D(0,3 - 1,3 \cdot a_e + a_w) \cdot T_2} \cdot \{ 2 \cdot h_e (T_d - T_2) - 2 \cdot m \cdot H_e \} \quad (24)$$

$$\frac{da_w}{d} = - 2 \cdot \frac{m}{D} \quad (25)$$

Di dalam perhitungan persamaan simulasi, penentuan koefisien perpindahan panas sangatlah penting. Diketahui bahwa koefisien perpindahan panas sangat dipengaruhi oleh dinamika kandungan uap air, temperatur, BW, dan kecepatan paper web (Sadeghi, 2009; Ekvall, 2014). Untuk pre-dryer, h_d dan h_e akan dapat dinyatakan sebagai (Yeo et al., 2014):

$$h_d = c_1 \times \text{EXP}(c_w \times a_w) + c_3 \times \text{EXP}(c_4 \times a_w) \quad (26)$$

$$h_e = k_1 \times B \times V^n \times \text{EXP}(k_2 \times B \times V^n \times a_w) + k_3 \times B \times V^n \times e^{-k_4 \times B \times V^n \times a_w} \quad (27)$$

Untuk after-dryer, h_d ditentukan dengan bentuk (Yeo et al., 2009):

$$h_d = c_1 \times a_w^3 + c_2 \times a_w^2 + c_3 \times a_w + c_4 \quad (28)$$

Nilai h_e untuk after-dryer memiliki bentuk yang sama dengan pre-dryer. Nilai parameter konstanta perpindahan panas c_1 , k_1 , dan n yang diperoleh dari hasil eksperimen dan spesifikasi mesin kertas ditunjukkan pada tabel 1.

TABEL 1. KONSTANTA PERPINDAHAN PANAS

Parameter	Pre-dryer	After-dryer
c ₁	0,1661	19,09
c ₂	1,512	-6,489
c ₃	-0,4775	1,167
c ₄	-15,67	0,1684
k ₁	0,0231	0,0085
k ₂	0,4243	3,103
k ₃	-0,008	-0,0053
k ₄	-14,67	-100,63
n	0,518	0,52

D. Simulasi Pengeringan

Simulasi dibuat untuk validasi model terhadap data operasional. Dipilih tiga jenis *copy paper* dengan *bone-dry weight* 60, 70, 80 g/m². Tabel 2 menunjukkan data operasional di *dryer section*.

TABEL 2. DATA OPERASIONAL PENELITIAN

Deskripsi	<i>Bone-dry weight D</i> (g/m ² = gsm)		
	60	70	80
Kecepatan mesin (m/min)	900	1000	1100
Kandungan abu a _z (%)	18	17	18
<i>Moisture content</i> keluar pre-dryer (%)	8,5	8,5	8,5
<i>Moisture content</i> keluar after-dryer (%)	4,5	4,4	4,5
Tek. uap cylinder grup I	1 bar (abs.)		
Tek. uap <i>cylinder</i> grup II	2 bar (abs.)		
Tek. uap <i>cylinder</i> grup III	3 bar (abs.)		
Tek. uap <i>cylinder</i> grup IV	4 bar (abs.)		
Tek. uap <i>cylinder</i> grup V	2 bar (abs.)		
<i>Cylinder</i> tanpa dialiri uap	1, 2, 10, 12, 15		

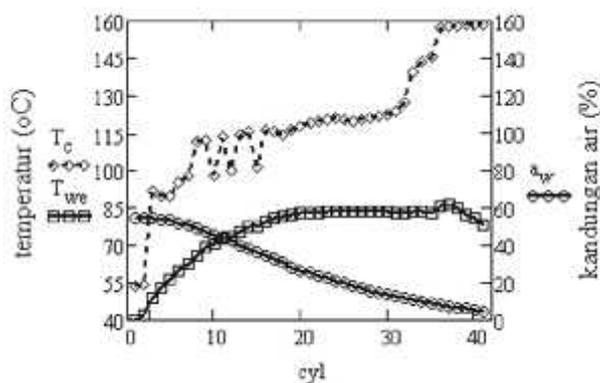
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Untuk bisa digunakan, *papergrade* dan *paperboard* harus mempunyai kadar air di bawah 10% dan temperatur pengeringan *paper web* tidak melebihi 90 °C untuk mencegah

overheating (Coveney, 2009). Oleh karena itu, simulasi pengeringan menunjukkan hasil yang memuaskan jika kadar air, a_w , menunjukkan nilai di bawah 10%.

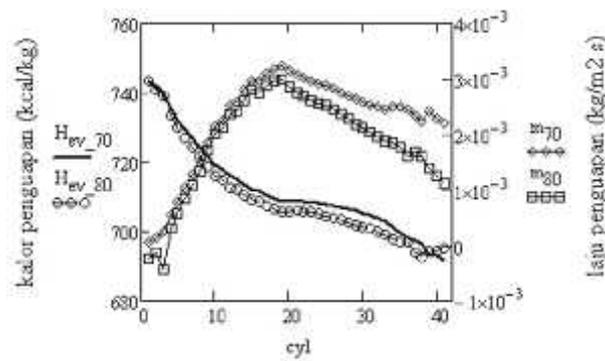
E. Hubungan Temperatur dan Basis Weight

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara tempera-tur silinder *dryer* dengan temperatur dan *basis weight* dari *paper web*. Pada fase pemanasan (*heating phase*) dan zona laju tetap (*constant rate zone*) yaitu pada *dryer section* grup no. 42 hingga 47, temperatur *paper web* meningkat tajam. Pada *bone-dry weight* 60, 70, dan 80 *gsm*, peningkatan temperatur masing-masing sebesar 29,25; 26,85; dan 26,84 °C. *Basis weight* dari *paper web* belum menunjukkan penurunan yang besar pada *heating phase* dan *constant rate zone*, yaitu hanya: 0,0034; 0,003; dan 0,0044 *kg H₂O/kg bone-dry weight* masing-masing pada *bone-dry weight* 60, 70, dan 80 *gsm*. Penurunan kadar uap air yang cukup besar terjadi pada *falling rate zone*, yaitu sebesar 0,01; 0,011; dan 0,013 *kg H₂O/kg bone-dry weight* masing-masing pada *bone-dry weight* 60, 70, dan 80 *gsm*.



GAMBAR 4. VARIASI TEMPERATUR CYLINDER DRYER DAN PAPER WEB DAN KANDUNGAN UAP AIR PAPER WEB

Gambar 5 menunjukkan variasi kalor penguapan dan laju penguapan sepanjang *cylinder dryer* jenis *copy paper* 70 dan 80 *g/m²*. Pada kecepatan mesin dan D yang lebih besar, menunjukkan kalor penguapan dan laju penguapan lebih kecil. Hal ini berhubungan dengan h_e yang sebanding dengan V dan D , sehingga kalor yang dibuthkan akan semakin kecil.

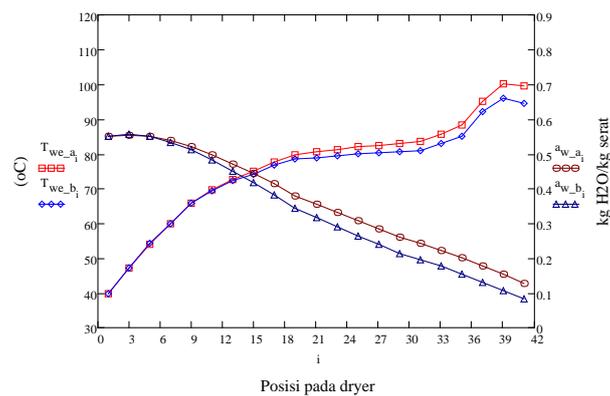


GAMBAR 5. VARIASI TEMPERATUR CYLINDER DRYER DAN PAPER WEB DAN KANDUNGAN UAP AIR PAPER

Dari gbr. 4 dan 5 dapat diketahui bahwa temperatur dan *basis weight* dari *paper web* sangat dipengaruhi oleh: (1) temperatur permukaan silinder *dryer*, (2) kecepatan mesin, (3) temperatur udara bola kering T_d dan bola basah T_w di dalam *ventilation hood bone-dry weight* dari *paper web*, dan (4) *bone-dry weight* dari *paper web* (tabel 4.1 dan tabel 4.2). Pada penelitian ini analisis akan difokuskan di *pre-dryer* karena karakteristik di *pre-dryer* sangat berpengaruh terhadap mutu kertas yang akan dihasilkan. Kajian dititik-beratkan pada pengaruh kecepatan mesin, kondisi temperatur udara di dalam *ventilation hood*, dan *bone-dry weight* terhadap kandungan uap air dan temperatur *paper web* selama proses pengeringan di *dryer section*.

Hubungan Kecepatan pada Kandungan Air dan Suhu

Hubungan antara V pada kecepatan 600 dan 900 mpm terhadap karakteristik temperatur dan kandungan uap air selama proses pengeringan di dalam *dryer section* ditunjukkan pada gbr. 6. Adapun sumbu x dalam hal ini adalah koordinat posisi pada *cylinder dryer*, sedangkan sumbu y adalah kandungan uap air dan temperatur *paper web* ($^{\circ}\text{C}$).



GAMBAR 6. PENGARUH KECEPATAN TERHADAP TEMPERATUR DAN KADAR AIR PAPER WEB

Pada gbr. 6 menunjukkan grafik pengaruh kecepatan mesin terhadap kandungan uap air dan temperatur *paper web*. Simulasi dibuat pada *bone-dry weight* $U = 80$ gsm, kecepatan mesin 600 dan 900 mpm, temperatur awal *paper web* $T_{W_0} = 38$ °C dan kadar uap air awal $a_{W_0} = 55\%$ yang sama.

KESIMPULAN DAN IMPLIKASI

Dryer section merupakan bagian dari mesin kertas yang paling kompleks dan paling mahal dalam proses pembuatan kertas. Untuk mengeluarkan kandungan air dalam *paper web* dari 30 % menjadi sekitar 5 %, *dryer section* membutuhkan energi yang sangat besar dalam bentuk panas. Proses pengeringan *paper web* di *dryer section* dapat dijelaskan dengan pendekatan analisis perpindahan panas dan perpindahan massa. Beberapa idealisasi kondisi yang digunakan, antara lain *dryer hood* adalah *totally closed* ($heat\ flux = 0$), dan pengaruh komposisi bahan terhadap sifat fisis perpindahan panas dan massa pada kertas diabaikan, adalah untuk menyederhanakan analisis.

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah:

- Proses perpindahan panas berlangsung secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Koefisien perpindahan panas antara *paper web* dan udara serta antara silinder *dryer* dan *paper web* dapat dinyatakan secara efektif dalam bentuk kandungan uap air, basis weight, dan kecepatan mesin.
- Perpindahan massa yaitu massa uap air yang dikeluarkan dari permukaan *paper web* ke *surrounding air* (*dryer hood*) berlangsung secara difusi-konveksi terjadi sepanjang

lintasan *paper web* dan dianggap hanya berlangsung pada permukaan *paper web*. Perpindahan massa terjadi karena beda kelembaban antara *paper web* dan di *dryer hood*.

- Model dapat menentukan distribusi *moisture content* sepanjang *cylinder*, sehingga dapat digunakan sebagai prediksi dalam operasional *dryer section*.
- Peningkatan kecepatan mesin dapat menaikkan laju perpindahan massa uap air dari permukaan *paper web* di *dryer section*. Peningkatan kecepatan dengan memperhatikan sifat-sifat fisik lembaran *paper web*.

Implikasi dari penelitian ini adalah:

- Strategi pemodelan dilakukan untuk *simplified problem*. Penyederhanaan yang dibuat adalah *constant paper web quality*. Praktek di lapangan kualitas *paper web* dapat berubah yang dapat disebabkan pengaruh *fibre composition, operating condition, grade change*, dan sebagainya. Perlu dipikirkan pengembangan *software* yang dapat menjelaskan semua fenomena yang terjadi secara lebih komprehensif.
- *Dryer section* merupakan obyek kajian yang menarik. Pengecekan demi peningkatan *performance* dan *runnability* harus dilaksanakan melalui program pemodelan dan simulasi yang dilaksanakan setiap kali mesin kertas stop atau pada saat akan ganti jenis kertas.
- Perlu penelitian lanjutan terhadap proses pengeringan jenis kertas lain, misal *tissue paper* yang menggunakan *Yankee cylinder dryer*, *coated paper* yang menggunakan *infrared drying*, atau *security paper* yang menggunakan *impingement drying* dan membandingkan proses dan hasil analisis dengan menggunakan *multicylinder drying*.
- Ada kemungkinan untuk optimalisasi selanjutnya pada proses pengeringan *paper web* di *dryer section* yang dapat dilakukan dengan *can-by-can analysis*, dengan cara: (1) optimalisasi kelembaban udara di dalam *dryer section*, (2) optimalisasi kecepatan untuk mendapatkan laju pengeringan kertas yang sesuai, dan (3) optimalisasi kelembaban udara dan kecepatan mesin yang optimum untuk jenis bone-dry paper tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- Park, Sunkyu, (2016), *Drying Behavior of Cellulose Fibers Characterized by Thermal Analysis*, Dissertation Ph.D., North Carolina State University.

- Arasakesari, Subramaniam; Keselman, Dmitry; Achanta, Srinivas, (2011), *Dynamic Simulation of Yankee Drying of Paper*, Proctor & Gamble Co., Este Process Technology Center, Cincinnati, Ohio.
- Perré, Lescanne Y.; Brocard, Yves, (2014), Modeling of Paper Drying: a Comprehensive Computational Model Used by the Industry, *Proceeding of the 14th International Drying Symposium (IDS 2009)*, Sao Paulo, Brazil.
- Yeo, Yeong-Koo; Hwang, Ki-Seok, Yi, Sung Chul; Kang, Hong, (2014), Modelling of the Drying Process in Paper Plants, *J. Chem. Eng.*, **21**, 761–766.
- Vitikainen, A.; Wärrri, P.; Tolonen, V, (2009), *Dryer Section Book of PT. Kertas Tjiwi Kimia PM-10*, Valmet Paper Machinery, Rautpohja, Finland.
- Sadeghi, Mohsen; Dougl, Murray W.J., (2014), *From Fine-Paper to Linerboard: Validation of A Microscale Simulator for Single Technique and Hybrid Dryers*, Pulp and Paper Research Institute of Canada, Pointe-Claire, QC, Canada.
- Ekvall, Jenny, (2014), *Dryer Section Control in Paper Machines During Web Break*, Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology.
- Coveney, D.B.; Robb, G.A., (2009), The Dryer Section, in *Handbook of Paper Making and Paperboard Making*, Editor: MacDonald, Ronald G.; Franklin, John N., McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 405 – 551.
- Noboa, Homero L.; Sayed, Jamal Yagoobi, (2010), *A Critical Review Drying Models for Coated Paper*, Drying Research Center, Texas A&M University, Mechanical Engineering Department.
- Martinsson, Johan; Ekvall, Jenny, (2012), *Parameter Optimization of Paper Machine Model*, Department of Automatic Control, Lund University, Lund, Sweden.
- Pontremoli, Alessandro, (2007), *Modelling and Control of a Paper Dryer Section Using Modelica*, Department of Automatic Control, Lund University, Lund, Sweden.

II. SIMBOL

a_w : kandungan uap air *paper web*

a_z : perbandingan abu (*ash ratio*)

BW : berat dasar (*basis weight*) *paper web* (kg/m²)

C_a : kalor spesifik udara pada suhu bola kering (kcal/kg °C)

- C_c : kalor spesifik kanvas *dryer* (kcal/kg °C)
- C_w : kalor spesifik *paper web* (kcal/kg °C)
- D : berat kering (*bone-dry weight*) *paper web* (kg/m²)
- h_{dw} : koefisien perpindahan panas antara silinder *dryer* dan *paper web* (kcal/m² sec °C)
- h_e : koefisien perpindahan panas antara *paper web* dan udara (kcal/m² sec °C)
- h_{wc} : koefisien perpindahan panas antara *paper web* dan kanvas *dryer* (kcal/m² sec °C)
- h_{vap} : kalor laten penguapan uap air dari permukaan *paper web* (kcal/kg)
- h_s : kalor laten kondensasi uap air dari permukaan *paper web* pada suhu tetap (kcal/kg)
- H_{ev} : kalor penguapan uap air dari permukaan *paper web*
- m : laju penguapan uap air dari permukaan *paper web* (kg/m² sec)
- R : konstanta gas (udara) = 1,987 kcal/kg mol K
- P : tekanan total udara di dalam *ventilation hood* (bar)
- P_s : tekanan parsial uap air pada permukaan *paper web* (bar)
- P_w : tekanan uap air karena *interface* air-udara di dalam *ventilation hood* (bar)
- T_d : temperatur udara bola kering (°C)
- T_w : temperatur udara bola basah (°C)
- T_{we} : temperatur *paper web* (°C)
- χ : perbandingan kelembaban udara pada *ventilation hood* (kg H₂O/kg *dry air*)

PENGARUH UNBALANCE PADA ROTARY DISK TERHADAP RUGI DAYA MOTOR.

Maskuri¹⁾, Imam Mashudi²⁾, Lisa Agustriyana³⁾

^{1; 2; 3} Teknik Mesin, Polinema, Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang, 65145.

mask_34@ymail.com, i_mashudi@yahoo.co.id, lisa.agustriyana@polinema.ac.id.

ABSTRACT

The unbalance conditions of rotating machine devices often occur after improper repair or return, due to interchange of bolt placement, or lose of the ring partly. In the game of top, the balanced top conditions in turn will be stable and calm, and can spin much longer. However, the unbalanced top, will turn swirly and move from one place to another, and then stop spinning rapidly. Thus, this unbalanced state will lose much power out. The aim of this research is to know the effect of the mass unbalance on rotary disk to the power lose out of the driving force. In this research process, used steel plate which has 1867 (gram) weight; and 5 bolts weight mass that has 6.1 (gram) weight for each of them. The research independent variables are: Disc rotation = 300 to 1800 (rpm) and Unbalance Mass = 0 to 5 bolts (30.5 gram). The dependent variable is motor power = (watts). From the experimental results, obtained: the most significant effect is the rotation in 600 to 1500 (rpm) which has lose out the power in amount of 16 (watts) or about 20%; while, the effect of the unbalance mass has lost out the power in amount of 2 (watts) or about 2.5%.

Keywords: *unbalance, rotary disk, top, lose out power, motor.*

ABSTRAK

Kondisi *unbalance* pada perangkat mesin yang berputar sering terjadi setelah perbaikan atau perakitan kembali yang tidak teliti, karena tertukarnya penempatan baut, atau hilangnya sebagian ring. Pada permainan gasing, kondisi gasing yang seimbang berputarnya akan stabil dan tenang, dan mampu berputar lebih lama sedangkan gasing yang tidak seimbang, berputarnya goyang-goyang dan berpindah-pindah, dan akan berhenti berputar dengan cepat. Dengan demikian, maka kondisi tidak seimbang ini akan banyak rugi daya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh ketidakseimbangan massa pada *rotary disk* terhadap rugi daya motor penggerak. Pada proses penelitian ini digunakan piringan baja dengan berat 1867 (gram); dan massa pemberat berupa 5 buah baut dengan berat masing2 = 6,1 (gram). Variabel bebas penelitiannya adalah: Putaran Piringan= 300 s/d 1800 (rpm) dan Massa *Unbalance* = 0 s/d 5 baut (30,5 gram). Variabel Terikatnya adalah daya motor = (watt). Dari hasil percobaan diperoleh bahwa: pengaruh yang paling signifikan adalah putaran antara 600 s/d 1500 (rpm) terdapat rugi daya sebesar = 16 (watt) atau sekitar 20 %; sedangkan pengaruh dari massa *unbalance* terdapat rugi sebesar = 2 (watt) atau sekitar 2,5 %.

Kata Kunci: *unbalance, rotary disk, gasing, rugi daya, motor.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dalam kehidupan sehari-hari, sering kita jumpai bagian-bagian atau perangkat mesin yang berputar. Dimana pada bagian-bagian mesin tersebut, terdiri dari berbagai komponen yang tersusun sedemikian rupa dengan cara diikat atau dikunci menggunakan baut atau mur. Untuk mencegah agar baut atau mur pengikat tersebut tidak menjadi kendur atau terlepas, maka selain dikencangkan dengan menggunakan kunci momen juga dipasangkan ring pengunci (*lock washer*) diantara permukaan komponen dengan mur atau kepala baut pengikat. Selain itu juga dipilih ukuran dan panjang baut yang seragam. Umumnya posisi baut atau mur pengikat diatur sedemikian rupa agar simetri dan seimbang. Pada kondisi tertentu, bagian-bagian atau perangkat mesin yang berputar tersebut perlu dilakukan perawatan atau perbaikan, karena umur pakai komponen yang sudah habis atau karena adanya kerusakan. Sehingga diperlukan langkah pembongkaran, untuk itu perlu dilakukan pendataan/identifikasi berkaitan dengan posisi dari baut/mur pengikat, guna mencegah tertukarnya penempatan baut yang sama tetapi panjang berbeda, atau tertukar/hilangnya sebagian ring. Disamping itu juga pada perakitan poros dengan piringan yang menggunakan pasak, kalau pelaksanaannya tidak teliti juga akan berisiko terjadinya kesalahan senter atau offset (www.lifetime-reliability.com). Hal ini akan mengakibatkan ketidak seimbangan massa pada perangkat mesin tersebut.

Dilain pihak, pada permainan gasing sering dilakukan adu ketahanan gasing untuk berputar. Dimana pada permainan ini, gasing yang mampu bertahan berputar paling lama itulah yang akan dinyatakan sebagai pemenang. Sementara itu gasing yang bagaimanakah, yang mampu bertahan untuk berputar paling lama. Secara visual, gasing yang mampu bertahan lama adalah gasing yang berputarnya paling stabil dan tenang, tidak goyang dan tidak bergeser tempatnya. Sedangkan gasing yang berputarnya tidak stabil/goyang dan tempatnya berpindah pindah, tidak akan mampu bertahan lama. Dari uraian diatas, maka dapat diambil gambaran bahwa gasing yang berputarnya stabil dan tenang, akan mampu menyimpan energi dengan hemat sedangkan gasing yang berputarnya goyang-goyang dan berpindah-pindah, tidak akan mampu untuk menghemat energi atau boros energi.

Pada instalasi mesin, sumber energi untuk menggerakkan mesin umumnya diambilkan dari motor listrik, untuk itu maka kalau perangkat mesin yang berputar tersebut mengalami ketidak seimbangan massa, bagaimanakah dampaknya.

Rumusan Masalah

Dalam Penelitian ini masalah yang akan di teliti adalah:

1. Bagaimana pengaruh ketidak seimbangan massa pada *rotary disk* terhadap daya motor yang diserap?
2. Sejauh mana ketidak seimbangan massa geometrik pada *rotary disk* ini tidak berpengaruh terhadap daya motor yang diserap?

Untuk mengarahkan agar masalah pada penelitian ini tidak meluas dalam memecahkan persoalan dan menuju ke sasaran yang sesuai, maka batasannya adalah :

1. *Rotary disk* yang digunakan adalah piringan mild steel dengan penambahan beberapa baut tanam untuk mendapatkan ketidak seimbangan yang berbeda-beda.
2. Pengukuran daya motor dilakukan dengan mengukur daya yang diserap motor.
3. Percobaan dilakukan untuk ketidak seimbangan statis dan quasi.
4. Pengujian dilakukan pada temperatur ruangan.
5. Tidak membahas getaran yang terjadi.
6. Tidak membahas *misalignment* yang terjadi.

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk memperoleh informasi tentang pengaruh ketidak seimbangan massa geometrik pada *rotary disk* terhadap daya motor yang diserap.
2. Untuk mengetahui sejauh mana ketidak seimbangan massa geometrik pada *rotary disk* ini tidak berpengaruh terhadap daya motor yang diserap.

Tinjauan Pustaka

Penelitian Sebelumnya

Mukesh A. Bulsara , Anil D. Hingu , Pratik S. Vaghasiya , (2016) dalam penelitiannya "*Energy loss due to unbalance in rotor–shaft system*", yang dimuat pada Journal of Engineering, Design and Technology, Vol. 14 Iss: 2, pp.277 – 285. Menyimpulkan : Konsumsi daya meningkat sehubungan dengan bertambahnya massa *unbalance* pada tiap kecepatan. Jumlah daya yang dikonsumsi pada resonansi frekuensi adalah tinggi. Jumlah daya rata-rata yang

dikonsumsi sehubungan dengan *unbalance* adalah 0,11 W/gm.mm *unbalance*. Maka penting sekali untuk mengurangi getaran, mengamankan kerugian daya dan untuk meningkatkan efisiensi dengan melakukan *balancing* pada komponen mesin yang berputar.

Sanjay Taneja, 2013; dalam penelitiannya “*Effect Of Unbalance On Performance Of Centrifugal Pump*”; yang dimuat di INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH VOLUME 2 , ISSUE 8 AUGUST 2013 ISSN 2277 – 8616. Menyimpulkan : bahwa daya pompa berbanding lurus terhadap hasil perkalian antara kapasitas aliran (*discharge*) dengan tinggi angkat (*head*). Dari hasil percobaan, dengan kondisi ideal diperoleh kapasitas aliran (*discharge*) pompa rata-rata sebesar 1787 liter/jam, dan setelah dikenakan simpangan *unbalance* sebesar 20 gm pada impeler, kapasitas aliran (*discharge*) pompa rata-rata berubah menjadi 1698 liter/jam; terjadi penurunan sebesar 89 liter/jam. Hal ini cukup signifikan karena sekitar 5% dari daya pompa berkurang/terbuang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan metode pembuatan model, pengujian daya motor dengan berbagai macam putaran dan *massa unbalance*, Analisis dan pembahasan

Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan diamati adalah:

1. Variabel Bebas (*Independent*) adalah Putaran Disk; dan *Massa Unbalance*.
2. Variabel Terikat adalah Daya Motor yang diserap.
3. Variabel terkontrol adalah Bentuk Piringan yang diuji dan besar Massa/Baut.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah Piringan dari Mild Steel dengan Ø 200 mm berat 1867 (gram); dan massa pemberat berupa 5 buah baut M 6 dengan berat masing2 = 6,1 (gram).

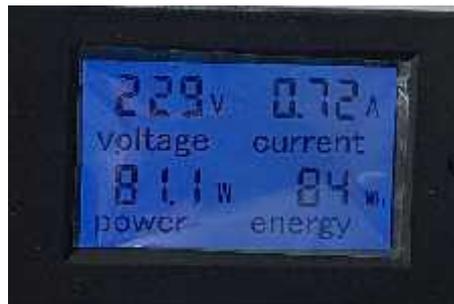


GAMBAR 1. PIRINGAN MILD STEEL DENGAN MASSA UNBALANCE

Alat yang digunakan adalah: Mesin Vibration Analysys dan displai pengukur Daya.



GAMBAR 2. MESIN VIBRATION ANALISYS
Vibration Analysys AMATROL model 95-ME5-AI



GAMBAR 3. DISPLAI PENGUKUR DAYA

Langkah Pengujian

Proses persiapan pengujian ini dimulai dengan pembuatan piringan mild steel dengan \varnothing 200 mm dan tebal 25 mm, dengan dibuatkan lubang-lubang berulir sedemikian rupa

untuk kondisi unbalance. Selanjutnya mempersiapkan massa pemberat berupa 5 buah baut M6 x 25 mm .

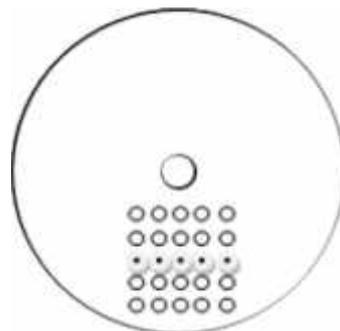
Proses Pengujian dilakukan dengan variasi Putaran, dan *massa unbalance*.



GAMBAR 4. PROSES PENGUJIAN

Pengujian Hasil

Pengujian daya ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh besarnya daya yang diserap berkaitan dengan perubahan Putaran dan *Massa Unbalance*. Pengujian daya ini dilakukan dengan alat uji vibration analisis *Amatrol 95-ME5-AI*. Pengukuran daya dilakukan dengan displai pengukur daya.



GAMBAR 5. POSISI PENEMPATAN *MASSA UNBALANCE* PENGUJIAN DAYA

HASIL DAN PEMBAHASAN**Analisis Daya yang diserap**

Pengamatan perubahan daya dilakukan dengan pengaturan putaran rotary disk dengan 6 level untuk setiap pembebanan *massa unbalance* juga sebanyak 6 level. Dari hasil pengujian daya untuk setiap pengaturan dan massa pembebanan masing-masing dilakukan pengukuran sebanyak 3 kali, maka didapatkan data sbb:

TABEL 1. DATA HASIL PENGUJIAN BESAR DAYA YANG DISERAP UNTUK *MASSA UNBALANCE*

No.	Putaran (RPM)	<i>Massa Unbalance</i> (Baut)	Daya yang terserap (Watt)		
			1	2	3
1	300	0	79,8	79,8	80,2
2	300	1	80,9	80,9	81,3
3	300	2	81,2	81,2	81,7
4	300	3	81,1	81,1	81,6
5	300	4	81,4	81,4	81,8
6	300	5	81,3	81,3	82,0
7	600	0	79,2	79,2	79,7
8	600	1	80,1	80,1	80,5
9	600	2	81,1	81,1	81,6
10	600	3	81,1	81,1	81,8
11	600	4	81,5	81,5	82,0
12	600	5	81,3	81,3	81,8
13	900	0	84,0	84,0	84,4
14	900	1	84,4	84,4	85,0
15	900	2	85,6	85,6	86,1
16	900	3	85,2	85,2	85,8
17	900	4	85,9	85,9	86,5
18	900	5	85,7	85,7	86,1
19	1200	0	89,3	89,3	90,1
20	1200	1	90,6	90,6	91,2
21	1200	2	91,4	91,4	91,8
22	1200	3	91,4	91,4	92,0
23	1200	4	91,6	91,6	92,1
24	1200	5	91,6	91,6	92,2
25	1500	0	94,6	94,6	95,1
26	1500	1	95,0	95,0	95,8
27	1500	2	96,1	96,1	96,8
28	1500	3	96,0	96,0	96,7

29	1500	4	96,1	96,1	96,6
30	1500	5	96,2	96,2	96,8
31	1800	0	96,3	96,3	96,7
32	1800	1	96,8	96,8	97,4
33	1800	2	96,5	96,5	97,1
34	1800	3	96,6	96,6	97,1
35	1800	4	96,6	96,6	97,0
36	1800	5	97,3	97,3	97,8

Sumber : Data primer hasil pengujian, Tahun 2017

Penggunaan *Factorial Design* sebagai upaya mencari fungsi yang tepat untuk menentukan nilai variabel bebas yang akhirnya dapat mengoptimalkan variabel terikatnya. Data akan dianalisis menggunakan metode *Multilevel Factorial Design (MFD)*. Dengan menggunakan Minitab software yang dilengkapi desain untuk Factorial. Hasil yang diperoleh ditampilkan dalam bentuk tabel-tabel dan Grafik, dimana terdiri dari beberapa bagian, yaitu hasil taksiran parameter model, dan tabel ANOVA yang digunakan untuk menguji kecocokan model dengan data.

Untuk memperoleh koefisien regresi Daya yang Terserap terhadap Putaran (RPM), *Massa Unbalance*, dilakukan analisis dengan menggunakan *uncoded units*.

Berikut hasil *factorial* dengan variabel respon Daya yang terserap, pada tabel 2.

TABEL 2. ESTIMASI KOEFISIEN REGRESI UNTUK DAYA YANG TERSERAP

Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	88,6241	0,0266	3334,36	0,000	
Putaran					
300	-7,4352	0,0594	-125,10	0,000	1,67
600	-7,6463	0,0594	-128,65	0,000	1,67
900	-3,2352	0,0594	-54,43	0,000	1,67
1200	2,6481	0,0594	44,56	0,000	1,67
1500	7,3593	0,0594	123,83	0,000	1,67
Massa Unbalance					
0	-1,1741	0,0594	-19,75	0,000	1,67
1	-0,3796	0,0594	-6,39	0,000	1,67
2	0,2926	0,0594	4,92	0,000	1,67

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
3	0,2426	0,0594	4,08	0,000	1,67
4	0,4759	0,0594	8,01	0,000	1,67
Putaran*Massa Unbalance					
300*0	-0,015	0,133	-0,11	0,912	2,78
300*1	0,291	0,133	2,19	0,032	2,78
300*2	-0,015	0,133	-0,11	0,912	2,78
300*3	-0,098	0,133	-0,74	0,463	2,78
300*4	-0,065	0,133	-0,49	0,627	2,78
600*0	-0,337	0,133	-2,54	0,013	2,78
600*1	-0,298	0,133	-2,24	0,028	2,78
600*2	0,096	0,133	0,72	0,471	2,78
600*3	0,213	0,133	1,60	0,113	2,78
600*4	0,313	0,133	2,35	0,021	2,78
900*0	-0,015	0,133	-0,11	0,912	2,78
900*1	-0,309	0,133	-2,33	0,023	2,78
900*2	0,152	0,133	1,14	0,257	2,78
900*3	-0,131	0,133	-0,99	0,326	2,78
900*4	0,335	0,133	2,52	0,014	2,78
1200*0	-0,398	0,133	-3,00	0,004	2,78
1200*1	-0,026	0,133	-0,20	0,846	2,78
1200*2	0,035	0,133	0,26	0,792	2,78
1200*3	0,185	0,133	1,39	0,168	2,78
1200*4	0,119	0,133	0,89	0,375	2,78
1500*0	0,024	0,133	0,18	0,857	2,78
1500*1	-0,204	0,133	-1,53	0,130	2,78
1500*2	0,157	0,133	1,18	0,240	2,78
1500*3	0,141	0,133	1,06	0,293	2,78
1500*4	-0,093	0,133	-0,70	0,488	2,78

Sumber : Data primer yang diolah, Tahun 2017

Maksud dari tabel 2. tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Nilai P-value untuk Putaran semuanya 0,000 dimana nilai $(0,000 < 0,05)$, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh secara parsial antara Putaran terhadap Daya yang diserap.
2. Nilai P-value untuk *Massa Unbalance* semuanya juga sebesar 0,000, karena nilai $(0,000 < 0,05)$, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh secara parsial *Massa Unbalance* terhadap Daya yang diserap.
3. Nilai P-value untuk interaksi antara putaran dan *massa unbalance*, sebagian bernilai $< 0,050$, tetapi sebagian besar bernilai $> 0,050$, sehingga untuk pengaruh interaksi

antara putaran dan *massa unbalance* dapat disimpulkan bahwa tidak terlalu signifikan pengaruhnya terhadap daya yang diserap.

TABEL 3. ANALISIS VARIAN UNTUK DAYA

Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Putaran	6	300. 600. 900. 1200. 1500. 1800			
Massa Unbalance	6	0. 1. 2. 3. 4. 5			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	35	4626,68	132,191	1732,60	0,000
Linear	10	4619,11	461,911	6054,18	0,000
Putaran	5	4579,73	915,946	12005,12	0,000
Massa Unbalance	5	39,38	7,877	103,24	0,000
2-Way Interactions					
	25	7,57	0,303	3,97	0,000
Putaran*Massa Unbalance					
	25	7,57	0,303	3,97	0,000
Error	72	5,49	0,076		
Total	107	4632,18			
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
0,276218	99,88%	99,82%	99,73%		

Sumber : Data primer yang diolah, Tahun 2017

Maksud dari table 3. di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Besarnya kontribusi pengaruh putaran, massa unbalance terhadap daya yang terserap sebesar 99,88%. Artinya sebesar 99,88% daya terserap dikarenakan oleh adanya Putaran dan Massa unbalance.
2. Pengujian secara simultan pengaruh antara putaran terhadap daya terserap diperoleh nilai F_{hitung} sebesar 12005,12 dan nilai Sig P sebesar 0,000. Karena nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($12005,12 > 3,33$) dan $Sig F < (0,000 < 0,05)$, maka dapat disimpulkan terdapat pengaruh simultan antara Putaran disk terhadap daya yang terserap.
3. Adapun hipotesisnya adalah sebagai berikut :

H_0 : Tidak ada *lack of fit*

H_1 : Ada *lack of fit*

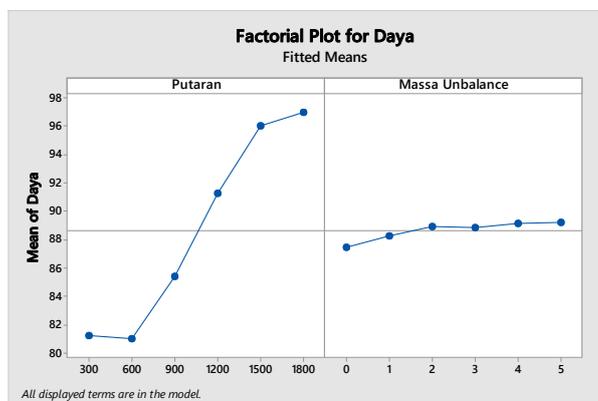
Hipotesa awal yang mengatakan tidak ada *lack of fit* berarti model yang dibuat telah sesuai dengan data, sedangkan hipotesa alternatif berarti model yang telah dibuat belum mewakili data.

Hipotesa awal (H_0) akan ditolak bila p-value kurang dari . Sebaliknya, hipotesa awal akan diterima apabila p-value melebihi .

Pada tabel 3, menunjukkan p-value hasil uji *lack of fit* bernilai 0,000 menggunakan level signifikansi 5% maka keputusannya akan menerima hipotesa awal yang mengatakan tidak ada *lack of fit*. Dengan demikian model yang dibuat sesuai dengan data.

Untuk memeriksa kecukupan model daya terserap tidak hanya melihat *lack of fit*, tetapi juga melakukan analisa residual. Ada 3 hal yang harus dilakukan dalam analisis residual, yaitu memeriksa kenormalan residual, membuat plot antara residual dengan hasil taksiran respon, dan membuat plot antara residual dengan order (x_j)

Plot interaksi diantara masing-masing variabel terhadap daya yang terserap seperti gambar 4. dibawah ini:



Gambar 4. Plot Interaksi untuk Daya terhadap Putaran dan *Massa Unbalance*.

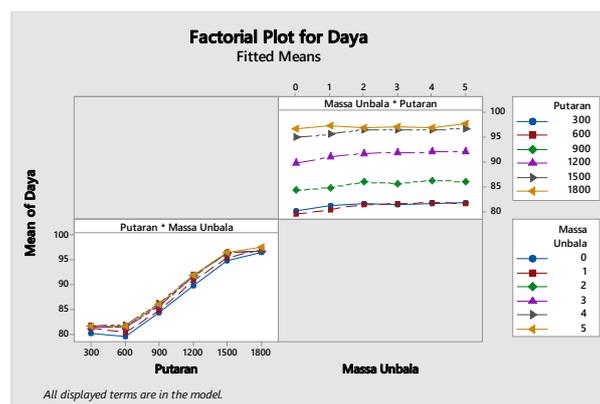
Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Dari gambar grafik Hubungan Variable Putaran, dan *Massa Unbalance* terhadap Daya, diatas secara umum dapat dianalisa sebagai berikut:

1. Pengaruh Variabel Putaran Terhadap Daya, secara garis besar terbagi dalam 3 tahap.
 - Tahap 1; untuk putaran 300 s/d 600 rpm tidak banyak terjadi perubahan yang signifikan bahkan cenderung terjadi sedikit penurunan penyerapan daya. Sedangkan tahap 2; untuk Putaran mulai 600 s/d 1500 rpm terjadi perubahan penyerapan Daya

yang sangat drastic yaitu sekitar 81 watt/600 rpm; 85 watt/900 rpm; 91 watt/1200 rpm dan 96 watt/1500 rpm. Terjadi kenaikan sekitar 16 watt (20%). Hal ini dapat terjadi karena adanya gaya sentrifugal yang besarnya berbanding lurus terhadap putaran; dan pada periode putaran ini terjadinya resonansi getaran yang besar. Kemudian tahap 3; untuk Putaran 1500 s/d 1800 rpm penyerapan dayanya relative lebih kecil yaitu sekitar 96 watt/1500 rpm ke 97 watt/1800 rpm; hal ini karena resonansi getaran sudah mulai berkurang.

2. Pengaruh Variabel Jumlah *Massa Unbalance* terhadap Daya, dari *Massa Unbalance* 0 (tanpa beban *Massa Unbalance*) s/d 5 (dengan beban 5 buah baut); perubahan yang terjadi tidak terlalu menyolok atau sekitar 87 watt/0 baut s/d 89 watt/5 baut. Terjadi perubahan hanya sekitar 2 watt (2,5%). Hal ini kemungkinan dikarenakan besar massa baut relative kecil dibandingkan dengan massa piringan atau 6,1 gram/baut dan massa piringan 1867 gram.

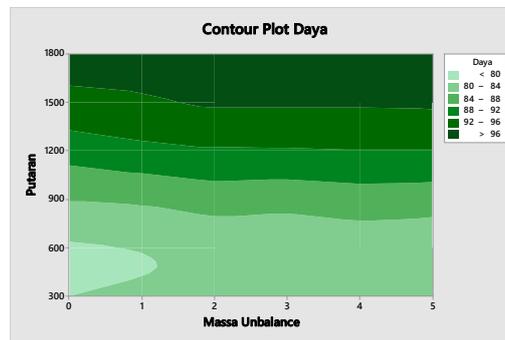


Gambar 5. Plot Interaksi untuk Daya secara umum.
Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Gambar 5. menunjukkan kurva interaksi antar variabel.

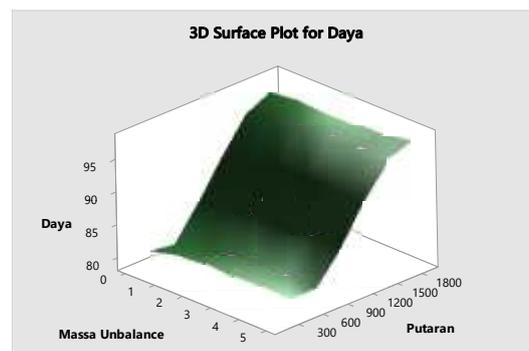
1. Dari plot interaksi Putaran dan *Massa Unbalance* terhadap Daya, terlihat pola yang seragam antara masing-masing *massa unbalance*, bahkan hampir berimpit diantara semua pola tersebut. Hal ini menunjukkan kalau pengaruh putaran sangat dominan.
2. Sedangkan dari plot interaksi *Massa Unbalance* dan Putaran terhadap Daya, terlihat sebagian pola menyebar dan ada 2 kelompok yang berimpit; yaitu: kelompok bagian bawah dan bagian atas. Ini dapat dinyatakan bahwa pada putaran rendah antara 300 s/d 600 rpm dan pada putaran antara 1500 s/d 1800 rpm perubahan yang terjadi relatif kecil.

Sedangkan Plot Kontur diantara masing-masing Variabel terhadap Daya yang terserap seperti gambar 5. dibawah ini:



Gambar 5. Plot Kontur untuk Daya.
Sumber: Data primer yang diolah, 2017

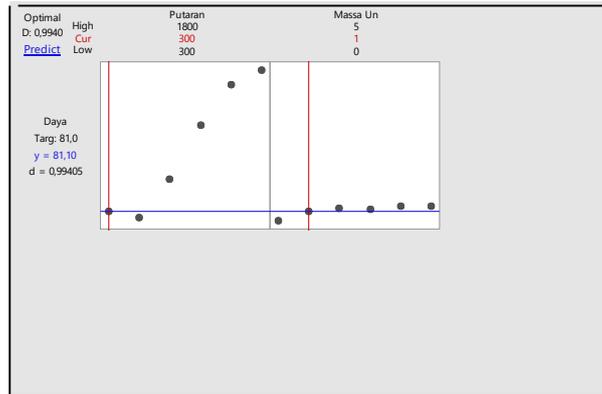
Gambar 5. merupakan plot kontur antara Putaran dan *Massa unbalance*. Gambar tersebut merupakan salah satu dari kemungkinan kombinasi pendugaan untuk mendapatkan nilai daya yang minimum. Area Daya berbentuk kurva-kurva yang berwarna semakin terang warna kurvanya semakin sedikit daya yang terserap. Hal ini juga dapat dilihat dengan lebih jelas melalui gambar grafik surface plot; dimana pada grafik ini merupakan grafik 3 dimensi kombinasi antara parameter-parameter Putaran pada sumbu x dan Massa Unbalance pada sumbu y, yang menghasilkan Daya yang terserap pada sumbu z. Grafik surface plot ini dapat dilihat pada gambar 6. dibawah ini.



Gambar 6. Plot Surface Untuk Daya
Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Menentukan Kondisi Optimal

Dengan mengacu pada data Daya yang terserap hasil percobaan diatas dan sesuai dengan rencana percobaan, yaitu menentukan terjadinya kondisi yang optimal, maka dengan memilih target daya sebesar 81 watt, diperoleh grafik sebagai berikut:



Gambar 5. Grafik Optimasi
 Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Hubungan kedua Variabel Bebas Terhadap Daya dengan target daya 81 watt.

Bila ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4 : RESPON OPTIMASI DAYA

Response Optimization: Daya						
Parameters						
Response Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance	
Daya Target	79,2	81	97,8	1	1	
Variable Ranges						
Variable	Values					
Putaran	300. 600. 900. 1200. 1500. 1800					
Massa Unbalance	0. 1. 2. 3. 4. 5					
Solutions						
Solution	Putaran	Massa Unbalance	Daya Fit	Composite Desirability		
1	300	1	81,1000	0,994048		
2	300	3	81,3333	0,980159		
3	600	2	81,3667	0,978175		
4	600	3	81,4333	0,974206		
5	300	2	81,4667	0,972222		
6	600	5	81,5333	0,968254		
7	300	4	81,6000	0,964286		
8	300	5	81,6333	0,962302		
9	600	4	81,7667	0,954365		
10	900	0	84,2000	0,809524		
Multiple Response Prediction						
Variable	Setting					

Putaran	300			
Massa Unbalance	1			
Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
Daya	81,100	0,159	(80,782. 81,418)	(80,464. 81,736)

Sumber : Data primer yang diolah, Tahun 2017

Kondisi optimal ini merupakan kondisi paling stabil (yang tidak banyak mengalami perubahan) dengan berbagai interaksi variabel bebas. Dari tabel 5, terlihat bahwa kondisi ini terjadi pada putaran antara 300 s/d 600 rpm dengan kombinasi *Massa Unbalance* antara 1 s/d 5. Terjadi pada penyerapan daya sekitar 81 watt dengan composite desirability > 95%.

SIMPULAN

Dari uraian pembahasan diatas, dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Rugi daya tidak terlalu banyak dipengaruhi oleh massa unbalance, yaitu: antara 1 s/d 5 baut rata-rata sebesar 2 watt (2,5%); tetapi lebih dipengaruhi oleh Putaran, yaitu: antara 600 s/d 1500 rpm sebesar 16 watt (20%).
2. Kondisi paling stabil (yang tidak banyak mengalami perubahan) dengan berbagai interaksi variabel bebas, terjadi pada putaran antara 300 s/d 600 rpm dengan kombinasi *Massa Unbalance* antara 1 s/d 5. Terjadi pada penyerapan daya sekitar 81 watt dengan composite desirability > 95%. Sebanyak 9 interaksi variabel.

DAFTAR PUSTAKA

- AMATROL, -Hands-On Vibration Analysis Skills for Predictive Maintenance-, ebooks (online Only). (<http://www.amatrol.com/coursepage/950-me1/predictive-maintenance-vibration-analysis-training/>)
- Ing. G. Manni, Balancing Theory and Applications, CEMB S.p.A. – Via Risogimento, August 1999, Rev. 2.1.
- Lifetime Reliability. Solutions, http://www.lifetime-reliability.com/free-articles/precision-maintenance/Rotating_Machinery_Rotor_Balancing.pdf
- Mukesh A. Bulsara , Anil D. Hingu , Pratik S. Vaghasiya , (2016) "Energy loss due to unbalance in rotor–shaft system", Journal of Engineering, Design and Technology, Vol. 14 Iss: 2, pp.277 – 285.
- Nur Irawan, Ph.D, Septin Puji Astuti,S.SI, MT Mengelolah Data Statistik dengan menggunakan Minitab 14, Andi Yogyakarta 2006.

PENGARUH INTENSITAS CAHAYA MATAHARI TERHADAP *OUTPUT* TEGANGAN *SOLARCELL* PENGISI BATERAI KENDARAAN LISTRIK**Nurhadi¹, Syamsul Hadi¹, Pondi Udianto¹, Rahman Abdillah¹**

¹ Jurusan Teknik Mesin, POLINEMA, Jl. Soekarno Hatta 9, Malang, 65141
E-mail: nurhadiabuzaka@gmail.com

Abstract

The reduced reserve of fuel oil encourages people to create any machine with alternative energy, such as the development of electric vehicles. The problem is, electric vehicles that have been developed still have weaknesses, for example requires a lot of batteries, no charging system, and relatively expensive. The research purpose to make electric vehicle charging system using solar cell. The charging system is designed using batteries and 10 WP and 20 WP Solar Cell as a voltage generator. The results showed that the highest voltage produced by 10WP Solar Cell on the day to 1 hour 10.00 AM resulted in the highest voltage of 14.3 V with the sunlight intensity of 90000 LUX, while on the second day, the high intensity of 104000 LUX only produce voltage 12.9 V at 08.00 AM. The highest voltage 20WP Solar Cell on day 1 is 18.9 V at 08.00 AM with the sunlight intensity of 73000 LUX. The highest of sunlight intensity on day 3, with a value of 102500 LUX at 12.00 AM only produces a voltage of 16.6 V. The conclusion that the highest intensity of sunlight does not always produce the highest output voltage.

Keywords: *charging system, , solar cell, electric vehicle, LUX, sunlight intensity*

Abstrak

Semakin berkurangnya cadangan bahan bakar minyak mendorong manusia untuk menciptakan peralatan dengan energi alternatif, misalnya pengembangan kendaraan listrik. Masalahnya, kendaraan listrik yang sudah dikembangkan masih memiliki kelemahan, misalnya membutuhkan baterai yang banyak, tanpa sistem pengisian, dan harga relatif mahal. Tujuan penelitian untuk membuat sistem pengisian kendaraan listrik menggunakan solar cell. Sistem pengisian baterai didesain menggunakan baterai dan *solar cell 10 WP dan 20 WP* sebagai penghasil tegangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan tertinggi yang dihasilkan *solar cell 10WP* pada hari ke 1 jam 10.00 WIB menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 14,3 V dengan intensitas cahaya matahari sebesar 90.000 lux, sedangkan pada hari ke 2, intensitas cahaya matahari yang tinggi 104.000 lux hanya menghasilkan tegangan sebesar 12,9 V pada jam 08.00 WIB. Tegangan *solar cell 20WP* tertinggi pada hari ke 1 sebesar 18,9 V pada jam 08.00 WIB dengan intensitas cahaya matahari sebesar 73.000 lux. Intensitas cahaya matahari tertinggi pada hari ke 3, dengan nilai sebesar 102.500 lux pada jam 12.00 WIB hanya menghasilkan tegangan 16,6 V. Kesimpulannya bahwa intensitas cahaya matahari yang tertinggi tidak selalu menghasilkan tegangan *output* yang tertinggi.

Kata-kata kunci: *sistem pengisian baterai, solar cell, kendaraan listrik, LUX, intensitas cahaya matahari.*

PENDAHULUAN

Semakin berkurangnya cadangan bahan bakar minyak mendorong manusia untuk menciptakan peralatan dengan energi alternatif, misalnya pengembangan kendaraan listrik. Masalahnya, kendaraan listrik yang sudah dikembangkan masih memiliki kelemahan, misalnya membutuhkan baterai yang banyak, tanpa sistem pengisian, dan

harga relatif mahal. Tujuan penelitian untuk membuat sistem pengisian kendaraan listrik menggunakan *solar cell*.

Penelitian tentang *solar cell* telah banyak dilakukan peneliti sebelumnya, baik yang meneliti tentang bagaimana membangkitkan energi listrik dengan *solar cell*, meningkatkan performa tegangan keluaran *solar cell*, maupun yang sudah lebih spesifik menggunakan tegangan keluaran *solar cell* untuk mengisi baterai.

Afifudin (2012:164-177) telah melakukan studi optimalisasi tegangan keluaran dari solar cell jenis *polycrystal* dan *amorphous* menggunakan lensa pemfokus cahaya matahari (lensa konvergen). Hasilnya bahwa lensa konvergen mempengaruhi besarnya daya dari cahaya yang digunakan, sehingga intensitas dan energi cahaya meningkat dan mempengaruhi nilai voltase dan arus listrik *solar cell*. Efisiensi *solar cell* jenis *polycrystal* meningkat sampai 35.08%, sedangkan *amorphous* sampai 31.77%.

Hilga (2016:12-13) telah menguji modul *solar cell* yang dilengkapi *reflector*, dimana tegangan keluaran yang dihasilkan dipengaruhi oleh intensitas cahaya, sudut kemiringan *reflector*, dan luas *reflector*. *Reflector* mempengaruhi fokus cahaya yang dipantulkan ke modul *solar cell*. Semakin besar intensitas cahaya yang diterima modul *solar cell*, maka semakin tinggi keluaran tegangan yang dihasilkan. Modul *solar cell* tanpa *reflector* menghasilkan tegangan keluaran maksimal sebesar 20,4 V dengan intensitas cahaya matahari sebesar 86.400 Lux. Modul *solar cell* dengan *reflector* sudut 65° menghasilkan tegangan paling tinggi sebesar 20,6 V dengan intensitas cahaya matahari sebesar 97.100 Lux. Modul *solar cell* dengan *reflector* sudut 75° menghasilkan tegangan maksimal sebesar 20,7 V dengan intensitas cahaya matahari sebesar 97.100 Lux. Sedangkan hasil tegangan keluaran modul *solar cell* dengan *reflector* sudut 85° sebesar 20,6 V dengan intensitas cahaya matahari sebesar 102.400 Lux. Kesimpulannya, bahwa penambahan *reflector* pada modul *solar cell* mengoptimalkan tegangan keluaran yang dihasilkan dibandingkan modul *solar cell* tanpa penambahan *reflector*.

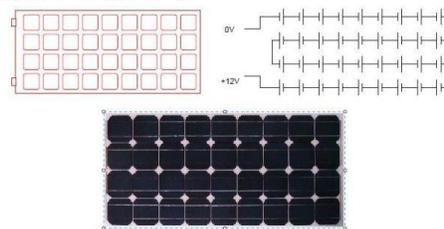
Sucipta (2015:1-7) juga telah melakukan penelitian yang mirip dengan Hilga, yaitu meneliti performa modul *solar cell* dengan penambahan *reflector* yang dibuat dari cermin datar dengan sudut 65°, dimana dia membuat kesimpulan bahwa dengan penambahan *reflector* pada modul *solar cell*, mampu meningkatkan performa modul *solar cell* yang diuji. Semakin luas, *reflector* menghasilkan daya listrik yang semakin besar, demikian pula efisiensinya, tetapi peningkatan tersebut tidak linier, dimana ada batas tertentu dimana pengaruh penambahan luas *reflector* tidak signifikan lagi terhadap performa modul *solar cell* tersebut.

Mudhofiroh (2014:12) telah menguji karakteristik *solar cell* 10-WP (*Watt Peak*) dengan cara membandingkan arus listrik yang dihasilkan antara *solar cell* dengan posisi diam/statis dengan *solar sel* yang dilengkapi kontrol arah (berpenjejak). Panel surya

berpenjejak dikontrol dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Nano dengan sensor arus. Dari hasil pengujian selama 11 hari diketahui bahwa panel surya berpenjejak menghasilkan arus rata-rata 0.33 Ampere, sedangkan panel surya diam menghasilkan arus rata-rata 0.15 Ampere.

Septina (2007:39) telah membuat prototipe *solar cell* murah dengan bahan organik-inorganik (*dye-sensitized solar cell-DSSC*) dengan menggunakan *dye* bahan organik jenis *anthocyanin dye* dari ekstraksi buah delima, dan semikonduktor nanopori TiO_2 yang disintesis dengan menggunakan metoda sol-gel dengan bantuan *block copolymer* sebagai template pori. Hasil pengujian menunjukkan ketika sel surya disinari dengan cahaya matahari, sel surya dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik dengan tegangan 162.4 mV dan arus listrik sebesar 0,07 mA untuk area aktif seluas 0.6 cm^2 .

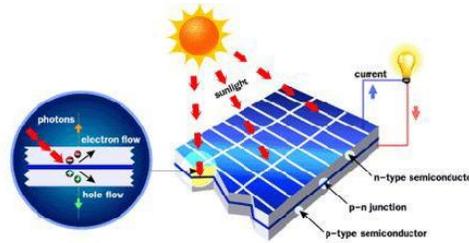
Sel surya atau juga sering disebut fotovoltaik adalah *device* yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. *Solar cell* dapat dianalogikan sebagai *device* dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial menghasilkan tegangan DC sebesar 0.5 sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala *milliampere* per cm^2 . Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul *solar cell*. Satu modul *solar cell* biasanya terdiri dari 28-36 *solar cell*, dan total menghasilkan tegangan DC sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar (*Air Mass 1.5*). Modul *solar cell* tersebut bisa digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus *outputnya* sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. Ilustrasi modul *solar cell* sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. Modul *Solar cell* dengan 28-36 sel surya dirangkai seri
(Sumber: Anonim, 2015)

Solar cell konvensional bekerja menggunakan prinsip p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif), sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Peran dari *P-N junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron (dan *hole*) bisa

diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Cara kerja *solar cell* diilustrasikan sebagaimana Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi cara kerja sel surya dengan prinsip *p-n junction*.

(Sumber: Septina, 2015).

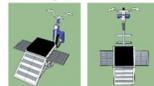
METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen, dimana pengambilan data dilakukan langsung pada alat uji yang telah disiapkan di laboratorium untuk menguji variabel bebas dan variabel terikat (Priyatno, 2011).

Variabel bebas pada penelitian ini adalah intensitas cahaya matahari (jam 08.00–16.00 WIB) dan luas area *solar cell* (10WP dan 20WP). Sedangkan variabel terikat berupa tegangan *output solar cell*.

Data yang telah diperoleh selanjutnya dituangkan dalam grafik untuk melihat hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dan dianalisis.

Desain peralatan menggunakan 2 buah *solar cell* 10WP yang dipasang dibawah jok kendaraan listrik yang bisa dilebarkan ke kanan dan ke kiri, dan sebuah *solar cell* 20WP yang dipasang dibelakang jok sebagaimana Gambar 3.



Gambar 3. Desain *solar cell* pada kendaraan listrik

Solar Cell 10WP berdimensi panjang x lebar x tebal sebesar 350x290x18mm, dapat menghasilkan tegangan maksimum sebesar 17.6 V dan arus maksimum sebesar 0.57A, sedangkan *solar cell* 20WP mampu menghasilkan tegangan maksimal 17.2 volt dan arus maksimal 1,16 ampere.

Untuk mengkonversi tegangan output *solar cell* digunakan *Buck converter* yang mampu membaca tegangan hingga 24V dan arus 10A (Yudhawan 2016). Sedangkan untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan *solar cell*, digunakan voltmeter dan amperemeter digital yang mampu mengukur tegangan hingga 100V dan arus hingga 10A. *Buck converter*, voltmeter dan amperemeter sebagaimana Gambar 4.



Gambar 4. *Buck converter, voltmeter dan ampermeter*

Semua komponen dirangkai secara keseluruhan menjadi sistem pengisian kendaraan listrik sebagaimana Gambar 5.



Gambar 4. Sistem pengisian baterai dengan *solar cell*

Sistem pengisian tersebut selanjutnya diletakkan pada tempat yang mendapatkan sinar matahari langsung, kemudian dilakukan pengambilan data berupa intensitas cahaya matahari, tegangan dan arus *output solar cell*, serta tegangan dan arus *output Buck Converter*. Pengamatan dilakukan selama 3 hari mulai dari jam 08.00-16.00 WIB.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengambilan data pada hari pertama, kedua, dan ketiga, diperoleh data sebagaimana Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Data V in, I in dan intensitas cahaya matahari pada *solar cell* (daya) 10 WP

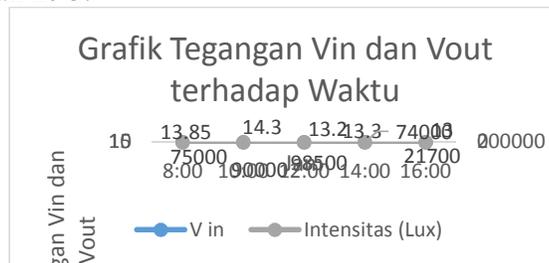
No	Waktu (WIB)	Pengujian hari ke:	V in (volt)	I in (ampere)	Intensitas cahaya matahari (Lux)
1	08.00	1	13,85	0,62	75.000
2		2	12,9	0,37	10.4000
3		3	13.8	0.29	65.500
4	10.00	1	14,3	0,46	90.000
5		2	13,2	0,33	59.000
6		3	13.1	0.24	57.200
7	12.00	1	13,2	0,52	98.500
8		2	13,4	0,31	92.700
9		3	13.5	0.52	97.000
10	14.00	1	13,3	0,37	74.000
11		2	13,0	0,26	62.700
12		3	13	0.45	64.000
13	16.00	1	13,0	0,20	21.700
14		2	12,8	0,09	15.800
15		3	12.9	0.03	11.400

Tabel 1. Data V in, I in dan intensitas cahaya matahari pada *solar cell* (daya) 20 WP

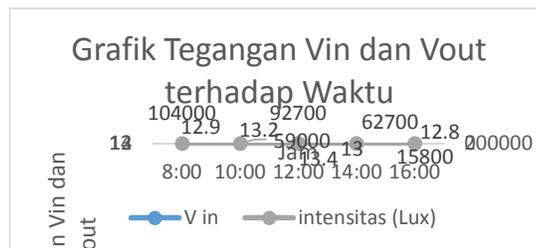
No	Waktu (WIB)	Pengujian hari ke:	V in (volt)	I in (ampere)	Intensitas cahaya matahari (Lux)
1	08.00	1	18,9	0,54	73.000

2		2	16,2	0,66	102.200
3		3	18	0,39	72.000
4	10.00	1	17,1	0,44	81.200
5		2	13,86	0,95	94.500
6		3	16,5	0,44	83.000
7	12.00	1	16,7	0,55	94.000
8		2	12,9	0,56	58.000
9		3	16,6	0,67	102.500
10	14.00	1	15,2	0,65	62.300
11		2	12,9	0,39	36.400
12		3	13,7	0,60	50.000
13	16.00	1	13,1	0,20	23.000
14		2	12,8	0,17	12.000
15		3	13,0	0,16	73.000

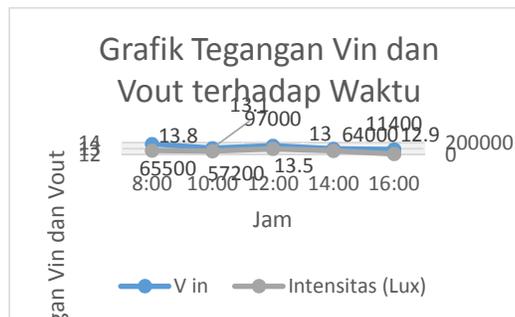
Data tersebut selanjutnya dituangkan dalam grafik sebagaimana Gambar 5-10 untuk melihat hubungan antara intensitas cahaya matahari dengan tegangan output *solar cell* pada hari ke-1, ke-2 dan ke-3.



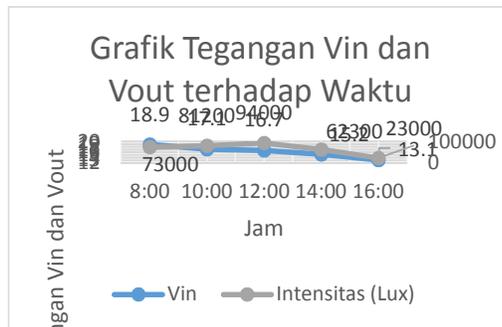
Gambar 5. Grafik intensitas cahaya matahari vs V_{in} dan V_{out} *solar cell* 10WP pada hari ke-1



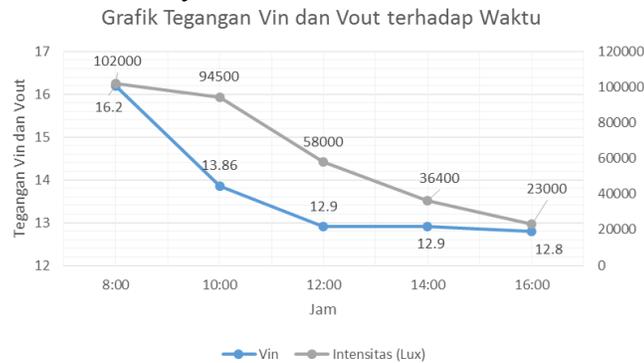
Gambar 6. Grafik intensitas cahaya matahari vs V_{in} dan V_{out} *solar cell* 10WP pada hari ke-2



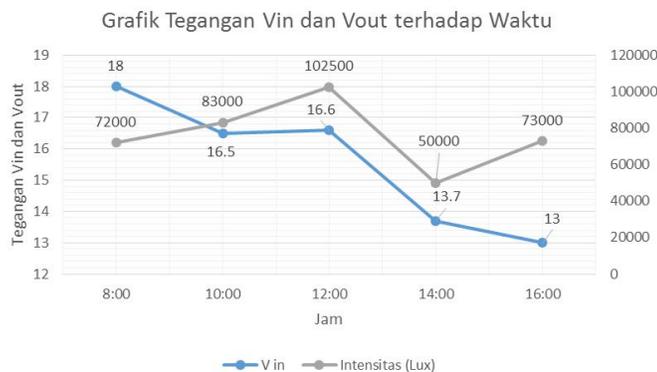
Gambar 7. Grafik intensitas cahaya matahari vs V_{in} dan V_{out} solar cell 10WP pada hari ke-3



Gambar 8. Grafik intensitas cahaya matahari vs V_{in} & V_{out} solar cell 20 WP hari ke-1



Gambar 9. Grafik intensitas cahaya matahari versus V_{in} dan V_{out} pada solar cell 20WP pada hari ke-2



Gambar 10. Grafik intensitas cahaya matahari versus V_{in} dan V_{out} pada solar cell 20WP pada hari ke-3

Analisis Data Solar Cell 10WP

Berdasarkan pengujian pada solar cell 10WP pada hari ke 1 antara jam 8.00 WIB sampai dengan jam 16.00 WIB, terlihat bahwa tegangan tertinggi sebesar 14,3 V dicapai

pada jam 10.00 WIB, dengan intensitas cahaya matahari sebesar 90.000 lux. Intensitas cahaya matahari tertinggi sebesar 98.500 lux pada jam 12.00 WIB menghasilkan tegangan 13.2 V dan terendah dicapai pada jam 16.00 WIB sebesar 21.700 lux yang menghasilkan tegangan sebesar 13 V

Pada pengujian *solar cell* 10 WP pada hari ke 2 antara jam 08.00 WIB sampai dengan jam 16.00 WIB, terlihat bahwa tegangan tertinggi sebesar 13,4 V dicapai pada jam 12.00 pada intensitas cahaya matahari sebesar 92.700 lux. Intensitas cahaya paling tinggi sebesar 104.000 lux dan menghasilkan tegangan 12.9 V pada jam 08.00 WIB. Tegangan terendah pada jam 16.00 WIB dengan nilai 12.8 V pada intensitas cahaya matahari sebesar 15.800 lux.

Pengujian *solar cell* 10WP pada hari ke 3 antara jam 08.00 WIB sampai dengan jam 16.00 WIB, terlihat bahwa tegangan tertinggi yang dicapai sebesar 13,8 V pada jam 08.00 WIB dengan intensitas cahaya matahari sebesar 65.500 lux. Intensitas cahaya matahari paling tinggi dicapai pada jam 12.00 WIB dengan nilai 97.000 lux menghasilkan tegangan 13.5 V. Intensitas cahaya matahari paling rendah pada jam 16.00 WIB senilai 11.400 lux dan menghasilkan tegangan sebesar 12,9 V.

Dari penelitian tersebut terlihat bahwa ternyata intensitas cahaya matahari yang tertinggi tidak selalu menghasilkan tegangan *solar cell* yang tertinggi. Hasil ini berbeda dengan penelitian sebelumnya dari Afifudin 2016, Hilga 2016 dan Sucipta 2015 yang menyatakan bahwa intensitas cahaya matahari mempengaruhi tegangan keluaran *solar cell*. Hal ini karena pada intensitas cahaya matahari yang tinggi, suhu lingkungan sekitarnya belum tentu tinggi juga. Suhu lingkungan dapat mempengaruhi tegangan output dari *solar cell* dan pada penelitian ini tidak mengukur suhu lingkungan sekitar. Selain itu pada ketiga penelitian sebelumnya menggunakan lensa konvergen dan *reflector* sebagai pengarah sinar matahari, sedangkan pada penelitian ini tidak, sehingga hal tersebut boleh jadi dapat berpengaruh terhadap tegangan *output solar cell*.

Analisis Data Solar Cell 20WP

Berdasarkan pengujian pada *solar cell* 20WP pada hari ke 1 antara jam 8.00 WIB sampai dengan jam 16.00 WIB, terlihat bahwa tegangan tertinggi sebesar 18.9 V dicapai pada jam 08.00 dengan intensitas cahaya matahari sebesar 73.000 lux dan terendah dicapai pada jam 16.00 WIB sebesar 23.000 lux dan menghasilkan tegangan sebesar 13.1 V. Intensitas cahaya matahari tertinggi sebesar 94.000 lux pada jam 12.00 WIB, menghasilkan tegangan sebesar 16.7 V.

Pada pengujian *Solar Cell* 20WP pada hari ke 2 antara jam 08.00 WIB sampai dengan 16.00 WIB, terlihat bahwa tegangan tertinggi yang dihasilkan sebesar 16.2 V pada

intensitas cahaya sebesar 102.200 lux. Intensitas cahaya matahari terendah pada jam 16.00 WIB sebesar 12.000 lux menghasilkan tegangan sebesar 12.8 V.

Pengujian *solar cell* 20WP pada hari ke 3 antara jam 08.00 WIB sampai dengan jam 16.00 WIB, terlihat bahwa tegangan tertinggi sebesar 18 V dicapai pada jam 08.00 WIB dengan intensitas cahaya matahari sebesar 72.000 lux. Tegangan terendah pada jam 16.00 WIB sebesar 13 V dengan intensitas cahaya matahari sebesar 73.000 lux. Intensitas cahaya matahari tertinggi pada jam 12.00 WIB senilai 102.500 lux, menghasilkan tegangan sebesar 16.6 V.

Dari penelitian tersebut terlihat bahwa ternyata intensitas cahaya matahari yang tertinggi tidak selalu menghasilkan tegangan *solar cell* yang tertinggi. Hasil ini juga berbeda dengan penelitian sebelumnya dari Afifudin 2016, Hilga 2016 dan Sucipta 2015 yang menyatakan bahwa intensitas cahaya matahari mempengaruhi tegangan keluaran *solar cell*. Hal ini karena pada intensitas cahaya matahari yang tinggi, suhu lingkungan sekitarnya belum tentu tinggi juga. Suhu lingkungan dapat mempengaruhi tegangan output dari *solar cell*, dan pada penelitian ini tidak mengukur suhu lingkungan sekitar.

Perhitungan Waktu Pengisian

Berdasarkan data yang diperoleh diatas, dilakukan perhitungan lamanya waktu pengisian baterai sampai penuh, menggunakan persamaan:

$$\frac{\text{kapasitas baterai}}{\text{arus total}} = \text{waktu(jam)} \dots\dots\dots (1)$$

(Sumber: Nurhadi, 2012:14)

Penelitian ini menggunakan 2 buah *solar cell* 10WP dan 1 buah *solar cell* 20WP, sehingga perhitungan waktu pengisian diselesaikan sebagai berikut.

Diketahui: Kapasitas baterai = 9Ah; Arus Solar Cell 10WP = 0,57A x 2 = 1,14A; Arus Solar Cell 20WP = 1,16A; Arus total = 1,14A + 1,16A = 2,3A.

Ditanya: Lamanya waktu pengisian

Jawab:

$$\frac{\text{kapasitas baterai}}{\text{arus total}} = \text{waktu(jam)}$$

$$\frac{9Ah}{2,3A} = 3jam, 54 menit$$

Perhitungan Waktu Pemakaian Kendaraan Listrik

Untuk menghitung waktu pemakaian kendaraan listrik, dilakukan sebagai berikut:

- Diketahui:
- Daya Motor = 350 Watt
 - Tegangan Baterai = 24V
 - $\frac{\text{Watt}}{\text{Tegangan Baterai}} = \text{Kuat Arus}$
 - $\frac{\text{kapasitas baterai}}{\text{Kuat Arus}} = \text{Waktu Pemakaian}$

Ditanya: Waktu pemakaian kendaraan listrik

Jawab:

$$\begin{aligned} - \frac{350\text{Watt}}{24\text{Volt}} &= 14,58 \text{ A} \\ - \frac{9\text{Ah}}{14,58} &= 0,61 \text{ jam} \times 60 \text{ menit} = 36,6 \text{ menit} \end{aligned}$$

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pembahasan penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Intensitas cahaya matahari yang tinggi tidak selalu menghasilkan tegangan output *solar cell* yang tertinggi. Hal ini karena suhu lingkungan dapat mempengaruhi tegangan output *solar cell*. Pada intensitas cahaya matahari yang tinggi, belum tentu suhu lingkungan sekitarnya juga tinggi.
2. Bila dibandingkan dengan *solar cell* 10WP, *solar cell* 20WP menghasilkan tegangan yang lebih tinggi. Tegangan *solar cell* 10WP maksimal sebesar 14.3 V, sedangkan tegangan *solar cell* 20WP maksimal 18.9 V (terjadi peningkatan 4,6V atau 32.16%). Jadi luas area *solar cell* mempengaruhi tegangan output. Semakin luas area *solar cell*, tegangan output yang dihasilkan semakin tinggi,
3. Waktu pengisian yang dibutuhkan kendaraan listrik selama 3 jam 54 menit. Lama waktu pemakaian kendaraan listrik yaitu 36.6 menit. Jadi sistem pengisian ini belum efisien.

Adapun saran dari untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Perlu dilakukan pengukuran suhu lingkungan sekitar *solar cell* untuk memperoleh hasil yang lebih akurat.
2. Perlu pembuatan *body* kendaraan listrik yang dilengkapi elemen *solar cell* secara menyeluruh, agar didapatkan *body* yang lebih *futuristic*. dan pengisian yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifudin, Faslucky dan Hananto, Farid Samsu. (2012). Optimalisasi Tegangan Keluaran Dari Solar Cell Menggunakan Lensa Pemfokus Cahaya Matahari. *Jurnal Neutrino* Vol.4, No. 2 April 2012, 164-177. Malang: Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maliki
- Anonim. (2015). *Struktur Panel Surya*. (<http://teknikelektro.org/struktur-panel-sel-surya/>), diakses tanggal 20 Desember 2016.
- Hilga Adis Prastica, Reynaldo (2016). *Pengaruh Penambahan Reflector Terhadap Tegangan Keluaran Modul Solar Cell*, Skripsi tidak diterbitkan. Surakarta: Program

- Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah
Mudhofiroh, Novi dan Noor, M Fathuddin. (2014). *Karakteristik Solar Cell 10-WP Pada Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan*, (Online), Vol. 4 No. 2, Edisi Nopember 2014 ISSN: 2088-4591 (12-13), (http://www.google.com/hasil_penelitian_solar_cell/, diakses 28 Desember 2016).
- Nurhadi. (2012). *Modul Praktek Teknik Listrik Otomotif*, Program Studi D-IV Teknik Otomotif Elektronik, Polinema. Malang
- Priyatno, Duwi. (2011). *Analisis Regres Linier Sederhana*. (<http://duwiconsultant.blogspot.co.id/2011/11/analisis-regresi-linier-sederhana.html>). Diakses pada tanggal 17 Maret 2017 jam 09.48 WIB.
- Septina, Wilman. (2015). *Teknologi Surya Artikel dan Berita Tentang Teknologi Surya*. (Online), (<https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-selsurya/>), Diakses pada tanggal 17 Desember 2016
- Sucipta, Made, Ahmad, Faizal dan Ketut Astawa. (2015). *Analisis Performa Modul Solar Cell Dengan Penambahan Reflector Cermin Datar*. Proceeding disajikan dalam Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV) Banjarmasin, 7-8 Oktober 2015. Bali: Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung – Bali (80362)
- Yudhawan, Bogi. (2016). *Rancang Bangun Dan Analisis Buck And Boost Converter Menggunakan Mosfet Untuk Charging System Baterai Dengan Solar Cell*. Skripsi Politeknik Negeri Malang. Malang.

PENINGKATAN KEKUATAN TARIK MATERIAL FCD – 50 DENGAN PROSES AUSTEMPER, CRYOGENIC AND TEMPER DUCTILE IRON (ACTDI)

Suriansyah Sabarudin¹⁾, Agus Suyatno²⁾, Dadang Hermawan³⁾

¹⁾Teknik Mesin, Universitas Widyagama, Jalan Borobudur No 35 Malang, Kota, 65128

²⁾ Teknik Mesin, Universitas Widyagama, Jalan Borobudur No 35 Malang, Kota, 65128

³⁾ Teknik Mesin, Universitas Widyagama, Jalan Borobudur No 35 Malang, Kota, 65128

E-mail: ¹⁾suriansyahsabarudin@gmail.com, ²⁾agus_suyatno30@yahoo.com,

³⁾dadang@widyagama.ac.id

Abstract

Steel dominates in industrial products, whether automotive, marine, railway, aircraft or building. Materials that can be used as a steel substitute or at least as a steel partner in meeting the needs of the community in the field of industry and various types of buildings and houses and housing. The material is Ductile Cast Iron 50 (FCD-50). Interpretation of the FCD-50 is a Ductile Cast Iron that has a tensile strength of 50kg / mm². To match or at least close to the mechanical properties of steel, this material must be enhanced its mechanical properties. The goal to be achieved in this research is to improve the mechanical properties of FCD-50 so that in its application more can be utilized industrial society and middle-income people down. The method to be used to improve the mechanical properties of FCD-50 is the method of ACTDI (Austemper Cryogenic and Temper Ductile Iron). For heat treatment process, FCD-50 specimen is inserted into kitchen heater, starting from 350C (room temperature) to 600⁰C and holding for 45 minutes, so that at 900⁰C heating does not occur crack. The immersion of 12 specimens in nitrogen liquid was carried out at different times, ranging from 12 hours, 24 hours and 72 hours. Research Results for As-cast Testing obtained a pull strength value of 514.59 MPa. For Tensile Test with ACTDI process, 12 hours immersion is obtained result of Pull Strength of 612.32 Mpa .. Soaking 24 hours resulted by Pull Strength of 597,20 Mpa. And the immersion of 72 hours obtained result of Power Strength of 608.75 Mpa. From the Tarik test that has been performed for FCD-50 test materials, the final result is obtained that all treatments are obtained by increasing the tensile strength. The highest increase in tensile strength is the ACTDI process by immersion in liquid nitrogen for 12 hours. Microstructures after soaking occur in the change in the structure of the structure where the number of perlite more when compared with the number of ferrite, as well as the arrangement of graphite nodules better than As-cast material.

Keywords: FCD-50, Cryogenic, Tensile Strength, Austemper and Microstructure

Abstrak

Baja mendominasi dalam produk-produk industri, baik industri otomotif, kapal laut, kereta api, kapal udara maupun dibidang bangunan. Material yang dapat dipakai sebagai pengganti baja atau minimal sebagai mitra baja dalam memenuhi kebutuhan masyarakat dibidang industri dan berbagai jenis bangunan gedung serta rumah dan perumahan. Material tersebut adalah Ductile Cast Iron 50 (FCD-50). Interpretasi dari FCD-50 adalah Ductile Cast Iron yang memiliki kekuatan tarik 50kg/mm². Untuk menyamai atau minimal mendekati sifat mekanik baja, maka material ini harus ditingkatkan sifat mekaniknya. Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk meningkatkan sifat mekanik dari FCD-50 agar dalam aplikasinya lebih banyak dapat dimanfaatkan masyarakat industri dan masyarakat yang berpenghasilan menengah kebawah. Metode yang akan dipakai untuk meningkatkan sifat mekanik FCD-50 adalah metode ACTDI (Austemper. Cryogenic and Temper Ductile Iron). Untuk proses heat treatment, specimen FCD-50 dimasukkan ke dalam dapur Pemanas, dimulai dari 35⁰C (temperature ruang) sampai 600⁰C dan di holding selama 45 menit, agar pada pemanasan 900⁰C tidak terjadi crack. Perendaman 12 specimen pada cairan nitrogen dilakukan dengan waktu yang berbeda-

beda, mulai dari 12 jam, 24 jam dan 72 jam. Hasil Penelitian untuk Pengujian As-cast diperoleh nilai Kekuatan Tarik sebesar 514,59 Mpa. Untuk Pengujian Tarik dengan proses ACTDI, perendaman 12 jam diperoleh hasil Kekuatan Tarik sebesar 612,32 Mpa.. Perendaman 24 jam diperoleh hasil Kekuatan Tarik sebesar 597,20 Mpa. Dan perendaman 72 jam diperoleh hasil Kekuatan Tarik sebesar 608,75 Mpa. Dari pengujian Tarik yang telah dilakukan untuk bahan uji FCD-50, diperoleh hasil akhir bahwa semua perlakuan diperoleh peningkatan kekuatan tariknya. Yang paling tinggi memberikan peningkatan kekuatan tarik dalam proses ACTDI dengan perendaman di nitrogen cair selama 12 jam. Mikrostruktur setelah dilakukan perendaman terjadi perubahan pada susunan struktur dimana jumlah perlite lebih banyak bila dibandingkan dengan jumlah ferrite, demikian pula susunan grafit nodul lebih baik dari material As-cast.

Kata Kunci : FCD-50, Cryogenic, Kekuatan Tarik, Austemper dan Mikrostruktur

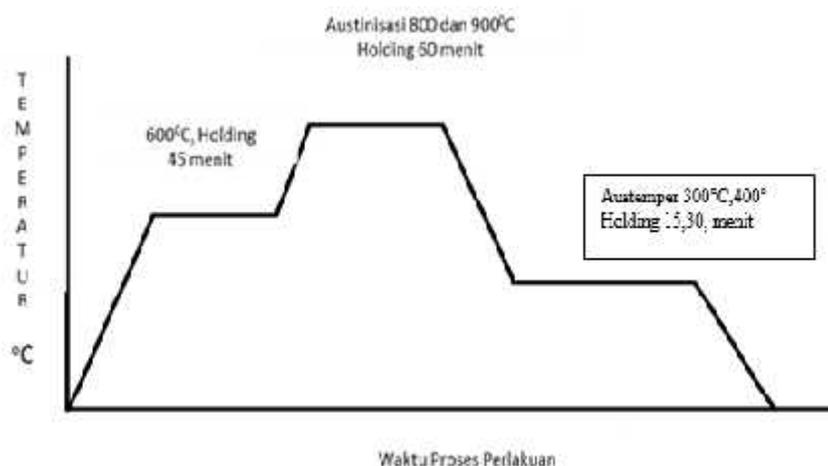
PENDAHULUAN

Perkembangan industri untuk komponen-komponen mesin semakin meningkat, baik komponen-komponen mesin untuk kendaraan bermotor maupun komponen mesin produksi (mesin bubut, frais, planer, dan lain-lain). Adapun komponen yang banyak memakai besi tuang bergrafit bulat adalah poros roda gigi, roda gigi, ring piston, silinder liner, kepala cylinder, dan lain-lain. Kebutuhan terhadap baja tulangan untuk pembangunan gedung dan perumahan sampai saat ini masih didominasi oleh baja tulangan, maka dengan ductile cast iron yang telah ditingkatkan kualitasnya, dapat dipakai sebagai mitra baja untuk memenuhi kebutuhan besi baja tulangan. Dari daftar kekuatan tarik Nodular cast iron ada yang menyamai kekuatan tarik baja karbon sedang **50-60 kg/mm²**. Jadi ada harapan Ductile Cast Iron dapat menggantikan sebagian fungsi baja dalam dunia industri, bangunan gedung, perumahan, jembatan, dan pelabuhan-pelabuhan. Pemakaian ductile cast iron yang terus meningkat, disebabkan keunggulannya pada sifat mekanik. Sifat mekanik itu seperti kekerasan, dan kekuatan tarik. *Austemper, Cryogenic And Temper Ductile Iron (ACTDI)* adalah salah satu metode untuk meningkatkan sifat mekanik Ductile Cast Iron (FCD-50). Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk meningkatkan sifat mekanik dari FCD-50 agar dalam aplikasinya lebih banyak dapat dimanfaatkan masyarakat industri dan masyarakat yang berpenghasilan menengah kebawah khususnya untuk kekuatan tarik FCD-50.

Salah satu type produk *Nodular Cast Iron* adalah *Ductile Cast Iron*45 (FCD-50) jenis inilah yang menjadi objek penelitian untuk ditingkatkan kualitas mekaniknya dengan metode ACTDI (*Austemper, Cryogenic And Temper Ductile Iron*). Klasifikasi

FCD dimulai dari FCD 37, 40, 45, 50, 60, 70, dan 80.(ASTM). Angka dibelakang FCD menunjukkan besarnya kuat tarik dari *Nodular Cast Iron*. FCD-50 artinya besi tuang nodular ini memiliki kuat tarik 50 Kg/mm². Adapun interpretasi dari 50 Kg/mm² adalah setiap luas-luasan 1mm² pada besi cor nodular mampu menahan beban tarik maksimal 50 Kg. FCD-50 ini adalah *as-cast*, sebagai objek penelitian, untuk melanjutkan penelitian yang pernah dilakukan oleh Sudarsono dengan metode ADI (Austempered Ductile Iron) untuk FCD-60.

Proses laku-panas (*Heat Treatment*) adalah kombinasi dari proses pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam/paduan dalam keadaan padat, sebagai suatu upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. *Austempering* adalah proses laku panas yang dikembangkan langsung dari diagram transformasi isothermal (I-T diagram) untuk memperoleh struktur yang sepenuhnya bainit. Temperatur austenitising untuk proses ini sama dengan temperature austenitising pada proses annealing/hardening, hanya saja disini pendinginannya dilakukan dengan quenching sampai temperature di atas Ms dan dibiarkan disana sampai transformasi menjadi bainit selesai. Sebagai media pendingin biasanya digunakan garam cair (salt bath), dengan temperature 200 – 425 °C) dengan demikian struktur akhir seluruhnya bainit, sama sekali tidak terjadi martensit. Hasil austempering mempunyai kekuatan/kekerasan tinggi (R_C 45 – 55) dengan keuletan/ketangguhan yang tinggi.



Gambar 1. Diagram Pemanasan dan pendinginan VS Waktu pada Proses Austemper Ductile Iron (ADI)

Kriogenik (*cryogenic*) merupakan salah satu teknologi pembekuan yang dapat meningkatkan sifat mekanik logam. Metode pembekuan (pendinginan) pada teknologi ini menggunakan nitrogen cair dengan temperature dibawah nol derajat Celsius. Proses untuk memperoleh nitrogen cair ini adalah : gas yang dimampatkan menjadi cairan (*liquid*) misalnya nitrogen (N_2) dan karbon dioksida (CO_2). Nitrogen cair sebagaimana telah diketahui sejak lama, dipergunakan sebagai pembekuan bahan-bahan organik untuk keperluan penyimpanan dan ekstraksi bahan-bahan penelitian bidang biologi terapan. Karbon dioksida cair pun telah sejak lama dipergunakan untuk pengisi tabung pemadam kebakaran. Nitrogen cair memiliki titik didih pada suhu $-195,8$ derajat Celsius, sedangkan karbon dioksida cair -57 derajat Celsius. Pada suhu yang lebih tinggi dari suhu tersebut, nitrogen dan karbon dioksida akan berbentuk gas volatil, sehingga umumnya nitrogen cair dan karbon dioksida cair berada pada suhu lebih rendah daripada titik didihnya. Dengan suhu yang sedemikian dingin, baik nitrogen cair maupun karbon dioksida cair mempunyai kemampuan membekukan bahan organik yang relatif lebih efektif daripada pendingin berbahan amonia ataupun freon.



Gambar 2. *ContainerCryogenic*

METODE PENELITIAN

Metode yang akan dipakai untuk meningkatkan sifat mekanik FCD-50 adalah metode ACTDI (Austemper. Cryogenic and Temper Ductile Iron). Sampel uji FCD-50 diperoleh dari hasil pengecoran, dimana setelah melalui prosedur pemaduan dengan unsur yang dibutuhkan seperti Mn, Si, C dan lain-lain maka diperoleh FCD-50. FCD-50 artinya Ductile Cast Iron atau besi cor bergrafit bulat dengan kekuatan tarik 50 kg/mm². Besi cor ini umumnya dikenal dengan nama Ductile Cast Iron (besi tuang bergrafit bulat), bahan uji ini diperoleh dengan cara pencairan bahan baku dengan memakai dapur induksi. Adapun proses penelitian adalah :

1. Setelah diperoleh sampel uji, proses berikutnya adalah sampel modifikasi FCD-50 ini dimasukkan ke dapur listrik dan dipanasi sampai temperatur 600⁰C. dan diholding 45 menit.
2. Langkah berikutnya sampel uji dipanasi lagi (diaustenisasi sampai temperatur 900⁰C dengan holding 60 menit).
3. Berikutnya spesimen didinginkan sampai temperatur 300⁰C. pada dapur ke 2 selama 20 menit (proses uastemper)
4. Selanjutnya spesimen didinginkan di ruang terbuka. Setelah mencapai suhu ruang specimen dimasukkan kedalam tabung nitrogen cair dngan waktu holding 24 jam, 72 jam dan 92 jam.
5. Proses berikutnya dilakukan pembuatan sampel uji, kemudian Pengumpulan data dari hasil pengujian dianalisa dan disimpulkan sementara seberapa jauh terjadi perubahan pada karakteristik sifat mekanik bahan setelah melalui perlakuan seperti diatas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

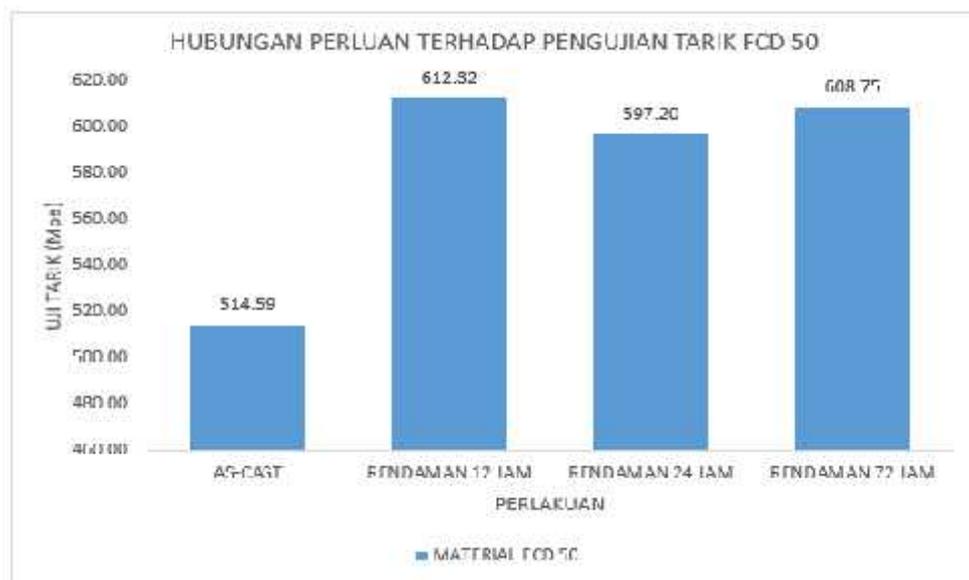
Pada tabel dan gambar dibawah ini memperlihatkan hasil akhir dari perlakuan terhadap benda uji FCD-50 dimana specimen setelah mengalami perlakuan Actdi. terjadi peningkatan kekuatan tarik. Peningkatan pada sifat mekanik ini terjadi setelah FCD-50 mengalami proses austenisasi dan holding selama satu jam. Mikrostruktur austenit setelah mengalami prose austempered dan pendinginan di dalam air garam pada temperature 70⁰C, akan terjadi transformasi dimana austenite akan berubah

menjadi Bainit. Pada proses pendinginan dari 900⁰C ketemperatur 300⁰C pada tungku/dapur ke 2 selama 30 menit. Proses perubahan sudah mulai berjalan dimana kristal FCC akan berubah menjadi kristal BCT dengan mikrostruktur Bainit. Ketika specimen di keluarkan dari tungku/dapur ,temperatur specimen masih berada pada posisi 300⁰C. pada temperature specimen tersebut, selanjutnya dimasukkan kedalam air garam (salt bath) pada temperature 70⁰C. Setelah mencapai temperature kamar, spesimen di masukkan ke dalam tabung yang berisi nitrogen cair -195⁰C. Pada saat proses perendaman ini , maka terjadi pendinginan cepat, semakin rendah temperatur pendinginan, semakin banyak austenite bertrasnformasi menjadi martensit.

Tabel1. Pengujian Tarik

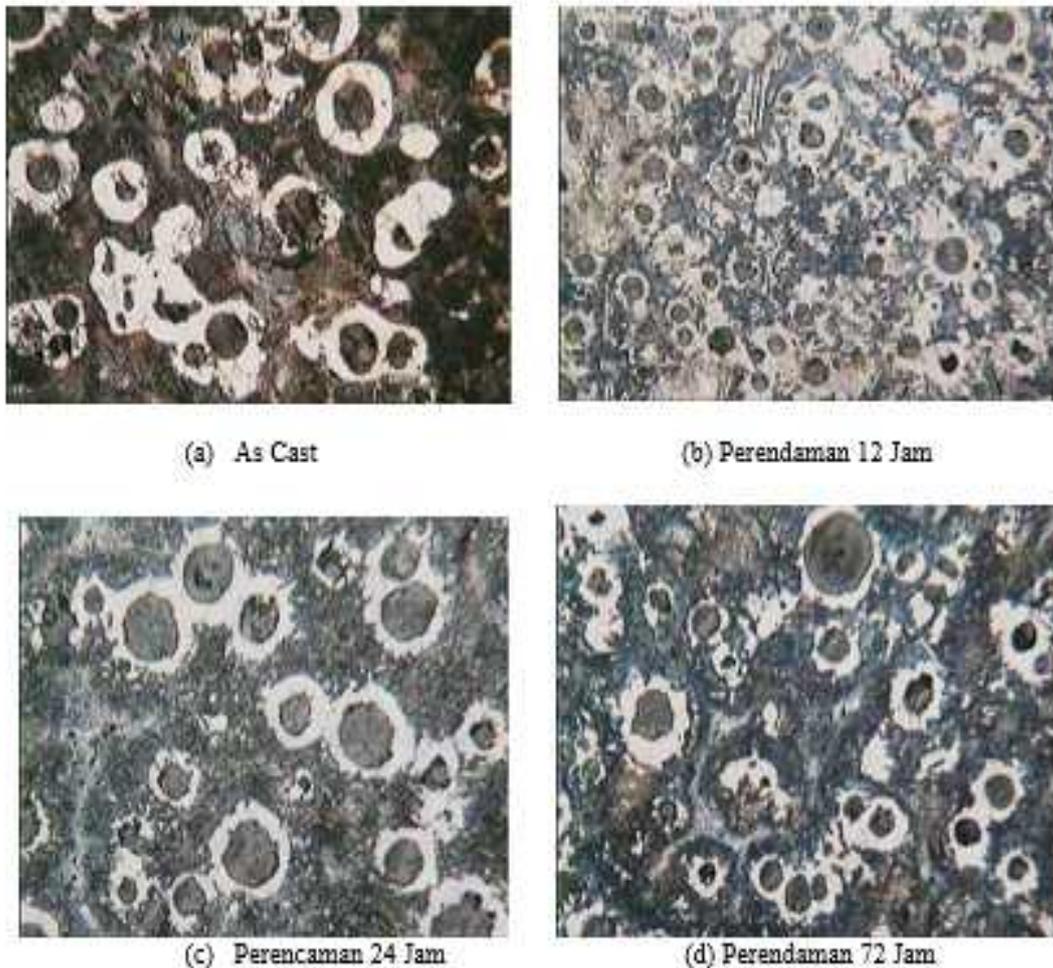
Spesimen Perlakuan	D	A	P (Kn)					u (Mpa)
	(mm)	(mm ²)	1	2	3	4	RATA2	
As-Cast	14	157	88.63	81.95	65.41	87.17	80.79	514.59
Rendaman 12 Jam	13.8	151	91.4	97.05	78.09	103.3	92.46	612.32
Rendaman 24 Jam	13.6	157	82.88	95.74	110.62	85.8	93.76	597.20
Rendaman 72 Jam	14	160	111.91	78.19	95.62	103.88	97.4	608.75

Sumber : Data sekunder yang diolah, Tahun 2017



Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Gambar 3. Grafik Tarik Pada Berbagai Kondisi



Sumber: Data primer yang diolah, 2017

Gambar 4. Strukturmikro Pembesaran 200 X

Hasil akhir dari ACTDI untuk mikrostruktur adalah Martensit, grafit nodul, ferrite, perlite. Pada gambar diatas terlihat mikrostruktur FCD-50 sebelum dimodifikasi. Mikrostrukturnya adalah terdiri dari perlite, ferit dan grafit nodul, yang membedakan FCD dengan besi tuang-besi tuang lainnya seperti white cast iron, gray cast iron, compact cast iron dan malleable cast iron masing-masing pada bentuk grafitnya. Untuk FCD grafitnya rata-rata berbentuk bulat, bentuk bulat ini disebabkan karena dipengaruhi unsur unsur yang terkandung didalamnya seperti Si dan Mg (Avner), dimana bentuk grafit yang bulat ini sebagai penyebab FCD ini lebih unggul dari besi tuang – besi tuang lainnya.

Pada gambar diatas grafik histogram menunjukkan peningkatan nilai pada sifat mekanik yang sedang diteliti pada proses ACTDI (Austemper, cryogenic and temper ductile iron). Peningkatan pada kekuatan tarik ini disebabkan oleh pendinginan dengan nitrogen cair dibawah 0°C (-195°C) selama 12 jam, 24 jam dan 72 jam. pada proses pendinginan dari 35°C sampai -195°C akan terjadi transformasi dari sisa austenite ke martensit dimana terjadi penambahan struktur mikro martensit sebagaimana yang terlihat pada gambar mikrostruktur pendinginan cryogenic. Pada gambar diatas grafik histogram memperlihatkan peningkatan nilai sifat mekanik pada semua FCD-50 modifikasi. Diperoleh nilai kekuatan tarik yang paling tinggi dari FCD-50 modifikasi pada proses ACTDI adalah pada perendaman 12 jam. Dari mikrostrukturnya terlihat grafit nodul yang lebih kecil dalam jumlah yang banyak dan lebih rapat, serta martensite yang terjadi lebih terstruktur rapi bila dibandingkan dengan mikrostruktur pada proses Actdi waktu perendaman 24 jam maupun perendaman 72 jam.

SIMPULAN

1. Pengujian Tarik Terjadi Peningkatan dari Material As-Cast setelah dilakukan perendaman 12 jam didapatkan peningkatan sebesar 612.32 Mpa.
2. Dari Pengujian mekanik dapat diketahui bahwa adanya peningkatan sifat mekanik setelah dilakukan perendaman dengan waktu yang berbeda-beda pada material FCD-50.
3. Struktur mikro setelah dilakukan perendaman terjadi perubahan yang lebih baik dari material As-cast (tidak dilakukan perlakuan).
4. Dari proses penelitian diatas hal yang perlu ditambahkan adalah waktu perendaman yang dilakukan bisa lebih divariasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME., 1973. "Ductile Iron"., Struktire Alloys Hand Book, ASME.
- Andoko. 2014 Peningkatan Sifat Mekanik Nodular Cast Iron dengan Metode Dua Langkah Austempering Heat Treatment
- Basuki, W, 1997, "Pengaruh penambahan Unsur Cu dan Cr Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro besi tuang kelabu FC-25 untuk tromol kendaraan bermotor (Bis)"..

- Dieter, George E., 1998. "mechanical Metallurgy", 3rd.ed., atau metallurgi mekanik", terjemahan Sriati Djapri, Erlangga.
- Djaprie, Sriati. M. Met, 1988. " Ilmu dan teknologi bahan terjemahan, Erlangga. Jakarta
- Djaprie, Sriati. M. Met, 1993. " Perlakuan Panas Besi Tuang"., Universitas Indonesia
- Hassan, S.B, J.B, Agboola, V.S, Aigbodion and E.J. Williams, 2011. Hardening Characteristics of Plain Carbon Steel and Ductile Cast Iron Using Neem Oil as Quenchant. Journal of Minerals & Materials Characterization & engineering.
- Nukman, Bustanul Arifin, Bambang Sugianto, 2002 Pengaruh Penambahan unsure 0,25% Mo pada besi tuang nodular yang diaustenisasi dan diaustemper menjadi austemper ductile iron terhadap sifat mekanisnya. Makara, teknologi, Vol. 6 N0. 1
- Suherman Wahid., 1988. "Heat Treatment"., Fakultas Industri ITS Surabaya.
- Suherman Wahid., 1988. "Ilmu Logam I Jurusan teknik Mesin".,Fakultas Industri ITS Surabaya.
- Surdia Tata, 1992. "Teknik Pengecoran Logam" Pradya Paramita. Jakarta
- Suriansyah (2002), " Pengaruh Ni-Si dan CE, Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Besi Tuang Kelabu Terhadap Ketahanan Aus Besi Tuang Kelabu FC-10", Universitas Indonesia.
- William Jonathan R. And Fatemi Ali 2007., Fatigue Performance Comparison and Life Predictions of Forged Steel and Ductile Cast Iron Crankshafts, A Final Project Report.

KINERJA MODEL TURBIN ANGIN POROS HORIZONTAL BERSUDU TIGA FLAT BERLAPIS TIGA**Sahid¹, Sunarwo², dan Dwiana Hendrawati³**

Program Studi Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. Sudarto, SH Tembalang Semarang Fax.(024) 7472396

*E-mail: sahid.poline@gmail.com***ABSTRACT**

The objective of this research is to study the performance of horizontal axis wind turbine has three-layer triple flat blades. The design of this turbine model is the development of a multi-blade flat-type wind turbine design which is currently used in the field. The turbine model has 9 flat blades that are grouped into three, each three layered. The turbine performance characteristic test is performed on both models was made. Test the turbine performance characteristics performed at various wind speeds. The test results are shown in graphical form of turbine performance characteristics. Based on the graph, turbine performance is compared descriptively. Based on wind turbine performance test, flat triple wind turbine is better than multiblade wind turbine at wind speed variation 8 m / s - 11 m / sec. The highest power coefficient value is obtained at 8 m / sec with variation of inter-distance distance 3 cm blade with a blade 15° angle of 13.6042. While the multiblade power coefficient value of 5.77518

Keywords: *Wind turbine, flat blade, triple layer, performance characteristics, power coefficient***ABSTRAK**

Tujuan penelitian adalah mengkaji kinerja model turbin angin poros horisontal bersudu tiga flat berlapis tiga. Desain model turbin ini merupakan pengembangan dari desain turbin angin multi blade tipe flat yang saat ini masih dipakai di lapangan. Model turbin memiliki 9 sudu flat yang dikelompokkan menjadi tiga, masing-masing berlapis tiga. Uji karakteristik kinerja turbin dilakukan terhadap kedua model yang sudah dibuat. Uji karakteristik kinerja turbin dilakukan pada berbagai kecepatan angin. Hasil uji ditampilkan dalam bentuk grafik karakteristik kinerja turbin. Berdasarkan grafik tersebut kinerja turbin dibandingkan secara deskriptif. Berdasarkan uji kinerja turbin angin, turbin angin flat tiga lapis lebih baik dibandingkan turbin angin multiblade pada variasi kecepatan angin 8 m/detik - 11 m/detik.. Nilai koefisien daya (Cp) tertinggi didapat pada kecepatan 8 m/detik dengan variasi jarak antar sudu 3 cm dengan sudut blade 15° sebesar 13,6042. Sedangkan pada multiblade nilai koefisien daya (Cp) sebesar 5,77518

Kata kunci: *Turbin angin, sudu flat, lapis tiga, karakteristik kinerja, koefisien daya***PENDAHULUAN**

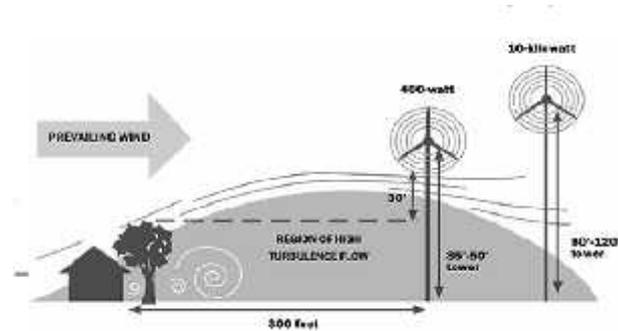
Krisis energi yang dikenal secara internasional sebagai “*Peak Oil*” yang disebabkan oleh kelangkaan bahan bakar minyak, telah mendorong pemerintah untuk mengambil kebijakan di bidang energi antara lain melalui Keppres Nomor 43 tahun 1991 tentang konservasi energi, Keppres Nomor 10 tahun 2005 tentang penghematan energi. Keppres ini mengisyaratkan perlunya segera mengembangkan dan menerapkan sumber energi terbarukan guna mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

Angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan. Pemanfaatan energi angin dapat dilakukan melalui teknologi turbin angin (ariati, 2008). Turbin angin berfungsi

untuk merubah energi kinetik berupa kecepatan angin menjadi energi mekanik pada propeller turbin. Energi mekanik tersebut kemudian digunakan untuk menggerakkan beban seperti pompa air, generator listrik, kompresor, dan mesin-mesin lainnya. Teknologi konversi energi angin telah banyak dipatenkan, antara lain France Paten No. 2522074; U.S. Paten No. 4,362,470; U.S. Paten No. 4,474,529; U.S. Paten No. 4,784,568; U.S. Paten No. 4,830,570; Japan Paten No. 2003293928; Canada Paten No. 1295260; German Paten No. 821930; German Paten No. 162814; Denmark Paten No. 37015; Finland Paten No. 65940, (AWEA, 2004) dan (BWEA, 2002) namun paten yang telah ada menggunakan rotor angin dengan sudu bentuk airfoil (sayap) standar NACA.

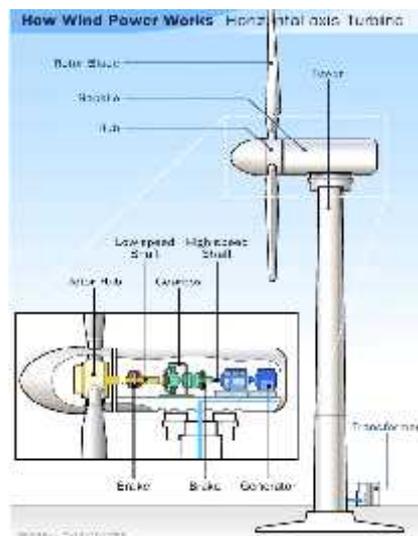
Sudu airfoil biasanya berjumlah 3 sangat cocok untuk potensi kecepatan angin tinggi (di atas 7 m/s). Oleh karena *planarea* atau *rotor solidity* airfoil kecil menyebabkan torsi yang dihasilkan oleh angin kecepatan rendah tidak mencukupi, sehingga rotor akan berhenti. Potensi angin kecepatan rendah memerlukan *planarea* besar, turbin angin yang cocok untuk kondisi ini adalah turbin angin sudu datar (*flat*) *multiblade*. Kelemahan potensi angin di Indonesia adalah tingkat kontinuitas yang rendah. Kecepatan angin sangat bervariasi dari rendah sampai tinggi. Untuk itu perlu dikembangkan desain turbin angin yang dapat secara baik beroperasi pada kecepatan rendah maupun tinggi. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengembangkan desain turbin angin poros horizontal sudu datar berlapis banyak. Sudu turbin berjumlah 3 sehingga cocok untuk kecepatan angin tinggi. Namun setiap sudu dibuat berlapis sehingga menambah *plan area* turbin. Dengan demikian saat kecepatan angin rendah turbin ini masih dapat beroperasi. Fungsi lapis pada sudu selain meningkatkan *plan area*, pengaturan jarak dan sudut sudu pada masing-masing sudu menimbulkan akselerasi angin pada sisi keluar. Hal ini akan menambah gaya reaksi arah tangensial sehingga putaran turbin meningkat. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah perlunya kajian optimasi kinerja turbin angin poros horizontal sudu datar berlapis antara lain terhadap jumlah sudu, jumlah lapis sudu, sudut pith sudu, sudut sudu pada masing-masing lapis, jarak antar sudu atau tebal lapis, dan posisi antar sudu. Kajian optimasi dilakukan secara eksperimental dan numerical (*computational fluid dynamic*) dengan software *fluent*. Tujuan utama penelitian adalah mengembangkan desain turbin angin poros horizontal menggunakan sudu datar berlapis banyak yang akan digunakan sebagai penggerak mula pada pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia.

Faktor yang mempengaruhi kecepatan angin adalah ketinggian kincir angin dari permukaan tanah, dimana aliran angin dapat bersifat turbulen atau laminar. Pemasangan kincir angin yang baik adalah pada daerah aliran laminar, seperti terlihat pada Gambar dibawah.



Gambar 1. Turbulensi kecepatan angin di suatu lokasi (AWEA, 2004)

Gambar 2 menjelaskan prinsip kerja angin mengenai baling-baling (*propeller*) kemudian berputar, mengkonversi energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik dan akhirnya menjadi energi listrik.



Gambar 2. Skema prinsip kerja dari kincir angin (BWEA, 2002)

Angin memiliki energi kinetik yang besarnya tergantung dari kecepatannya. Angin yang mengenai baling-baling akan mengakibatkan baling-baling tersebut berputar pada porosnya. Pergerakan berputar tersebut akan ditransmisikan oleh poros ke elemen mesin yang lain seperti roda gigi (*gear box*) atau transmisi puli dan sabuk (*belt*), untuk meningkatkan putaran yang akan ditransfer ke poros generator. Dari transmisi tersebut

dihubungkan ke poros generator dengan putaran yang lebih tinggi sehingga cukup untuk membangkitkan energi listrik. Generator akan merubah energi mekanik menjadi energi listrik.

Angin merupakan sumber energi yang terbarukan. Pemanfaatan angin sebagai sumber energi sudah lama dilakukan oleh manusia. Pemanfaatan energi angin masih belum optimum. Hal ini dikarenakan sumber energi minyak masih melimpah dan murah. Saat ini bahan bakar minyak harganya melambung tinggi, sehingga sumber energi alternatif termasuk angin menjadi populer. Angin merupakan energi murah dan ramah lingkungan dan dapat diperbaharui (*renewable energy*). Angin dihasilkan secara hukum alam karena adanya perbedaan tekanan udara pada suatu daerah tertentu. Perbedaan tekanan timbul akibat matahari memanaskan pada daerah tertentu sehingga atmosfer disekitarnya menjadi hangat, atau dengan kata lain suhu udara di daerah tersebut naik. Dengan naiknya suhu maka akan menaikkan tekanan udara pada daerah tersebut. Sementara di lain tempat ada daerah yang masih dingin, hal tersebut merupakan daerah dengan tekanan udara relatif rendah. Adanya perbedaan tekanan udara tersebut, maka udara akan bergerak dari daerah dengan udara bertekanan tinggi menuju ke daerah dengan udara bertekanan rendah. Perpindahan udara tersebut yang sehari-hari kita kenal dengan nama angin (Beri H and Yao Y, 2011).

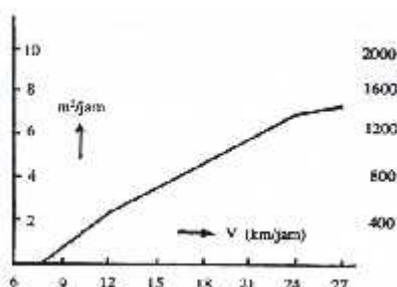
Tabel 2
Pengelompokkan potensi energi, pemanfaatan, dan lokasi potensial (LAPAN, 2005)

No.	Kelas	Kec. Angin (m/s)	Daya Spesifik (W/m ²)	Kapasitas (kW)	Lokasi (Wilayah)
1.	Skala Kecil	2,5 – 4,0	< 75	s/d 10	Jawa, NTB, NTT, Maluku, Sulawesi
2.	Skala Menengah	4,0 – 5,0	75 – 150	10 – 100	NTB, NTT, Sulsel, Selatan Jawa
3.	Skala Besar	> 5,0	> 150	> 100	Sulsel, NTB, NTT, Pantai Selatan Jawa

Winarto dkk. (2003) membuat model turbin angin multi blade yang digunakan untuk menggerakkan dinamo listrik pada kecepatan angin di atas 10 m/s, generator dapat menghasilkan listrik tegangan 220 V, namun pada kecepatan rendah turbin angin tidak dapat memberikan putaran yang diinginkan sehingga tegangan listrik yang dihasilkan rendah.

Rahmat dkk. (2006)] melakukan modifikasi jumlah sudu pada Turbin Angin Darrieus dengan Kombinasi Sudu Savonius Satu Tingkat untuk meningkatkan efisiensi turbin.

Hasil uji menunjukkan peningkatan efisiensi yang tidak signifikan jika dibandingkan dengan turbin tunggal. Penelitian yang lain juga telah dilakukan oleh Hartanto dkk. (2007), yaitu Pembuatan dan Pengujian Turbin Angin Darrieus dengan Variasi Sudut Sudu. Penelitian ini dilakukan sebagai usaha untuk meningkatkan unjuk kerja turbin angin melalui optimasi jumlah sudut sudu pengarah. Hasil uji menunjukkan sudut sudu mempengaruhi unjuk kerja turbin angin. Model turbin angin untuk menggerakkan pompa air dibuat oleh Bondan dkk. (2007). Hasil uji model ini dapat dilihat pada Gambar 8.



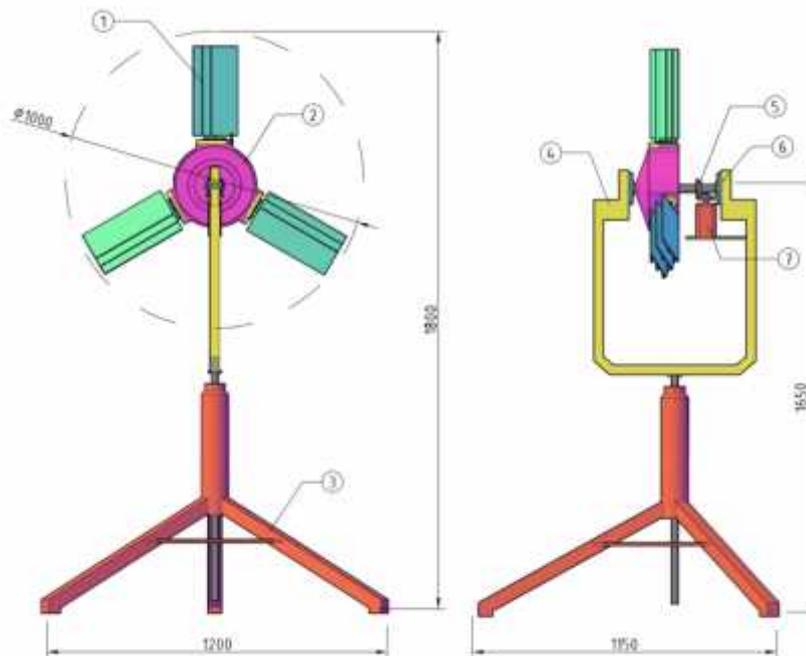
Gambar 3. Hasil uji model pompa dengan penggerak turbin angin buatan Bondan

Hasil uji tersebut menunjukkan model yang dibuat Bondan memiliki kemampuan yang baik dan layak untuk dikembangkan. Sebagai contoh untuk kecepatan angin 18 km/jam atau 5 m/s dapat menghasilkan debit air 4 m³/jam. Kapasitas air yang dihasilkan masih kecil jika digunakan untuk pengairan lahan pertanian. Untuk itu perlu dilakukan penyesuaian-penyesuaian, antara lain adalah jenis dan ukuran turbin angin harus disesuaikan dengan potensi angin yang ada. Kemudian jenis dan ukuran pompa harus disesuaikan dengan kebutuhan untuk pengairan. Penelitian yang lain juga telah dilakukan oleh Herlambang dkk. (2008), yaitu Pembuatan dan Pengujian Turbin Angin Nibe 3-Sudu (*three-bladed*) tipe poros horizontal. Penelitian ini dilakukan sebagai usaha untuk meningkatkan unjuk kerja turbin angin HAWT menggunakan inverter untuk mengatur kecepatan angin pada PLTB. Hasil uji menunjukkan unjuk kerja turbin angin masih rendah.

METODE PENELITIAN

Penelitian diawali dengan membuat model turbin angin poros horisontal tipe sudu flat. Rotor yang dibuat berjumlah 2 buah terdiri dari sebuah turbin sudu datar sudu sembilan dan sebuah turbin sudu flat berjumlah tiga, yang masing-masing berlapis tigadatar 2 lapis sudu dengan posisi sudu dan jarak sudu b. Sudu dapat diatur sudut

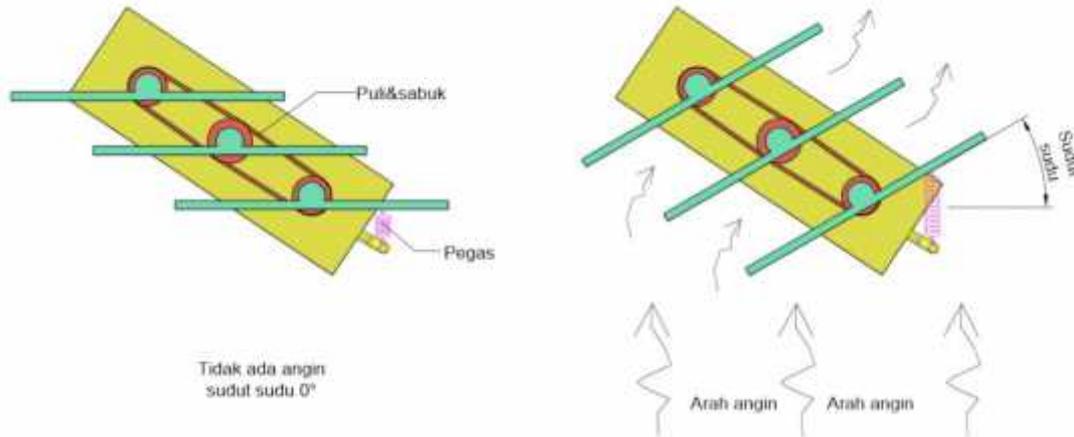
pithnya (sudut sudu 0° sd, 45°). Sudu turbin dibuat dari bahan ST 37 lebar 50 mm, panjang 350 mm. Sudu-sudu dipasang pada *hub* diameter 100 mm. Turbin angin keseluruhan berdiameter 800 mm. Pemilihan bahan sudu menggunakan bahan ST 37 dengan pertimbangan ringan dan kuat untuk beban kerja poros yang memutar sudu turbin. Model turbin angin dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Model instalasi pengujian PLTAn: (1) sudu lapis banyak; (2) piringan; (3) rangka bawah; (4) tiang garpu; (5) roda gigi; (6) bearing; (7) generator listrik

Uji yang dilakukan terhadap model turbin angin yang sudah dibuat, meliputi uji karakteristik daya dan koefisien daya terhadap putaran turbin. Turbin angin diuji pada berbagai kecepatan angin dengan variasi sudut pitch sudu (sudut 0° sd, 45°). Parameter yang diukur dalam pengujian adalah kecepatan angin (m/s) yang akan digunakan memutar sudu turbin; putaran poros (rpm), yaitu putaran yang dihasilkan oleh poros turbin setelah sudu turbin dikenai angin dengan kecepatan yang telah ditentukan; torsi (Nm), yaitu besarnya torsi yang dihasilkan dari putaran poros setelah sudu turbin dikenai angin dengan kecepatan yang telah ditentukan; daya turbin (watt), yaitu besarnya daya air yang mampu dihasilkan oleh turbin angin; daya generator (watt), koefisien daya (%), yaitu perbandingan antara daya keluaran dengan daya masukan. Variabel uji dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil uji berupa grafik karakteristik masing-masing rotor turbin dikaji

dan dianalisis secara diskriptis. Sehingga akan menghasilkan kesimpulan pada turbin angin dengan parameter optimum dimana turbin memiliki unjuk kerja terbaik.



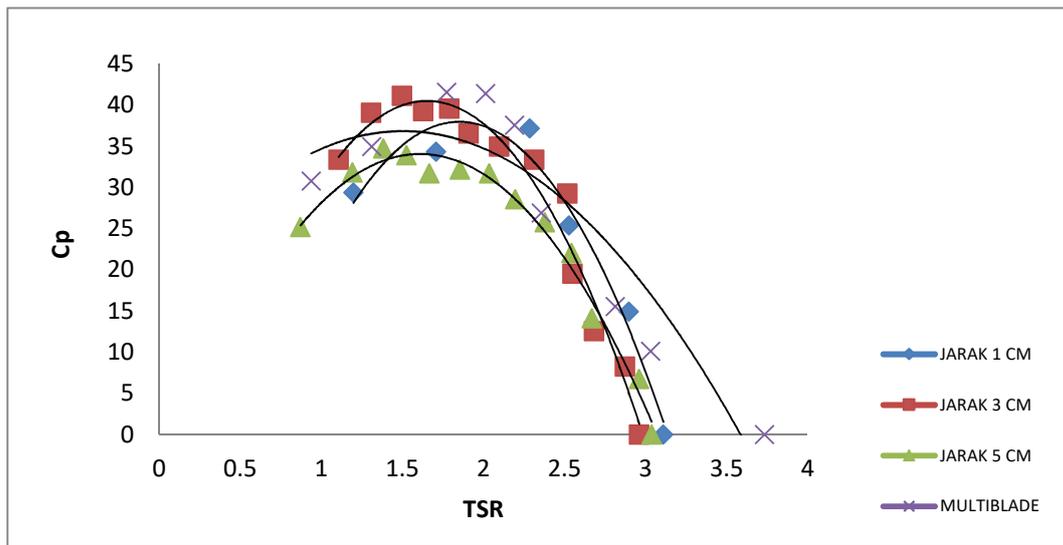
Gambar 5. Sudu datar lapis banyak

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 6 merupakan grafik karakteristik koefisien daya (C_p) terhadap tip speed ratio (TSR) pada kecepatan angin 3 m/s. C_p merupakan rasio daya mekanik yang dihasilkan oleh poros turbin angin terhadap daya kinetic angin. C_p menunjukkan kualitas kinerja sebuah turbin angin. TSR merupakan rasio kecepatan linear ujung sudu terhadap kecepatan angin bebas. Semakin besar TSR menunjukkan semakin tinggi putaran turbin angin yang dihasilkan oleh daya angin. Terdapat 4 kurva di dalam grafik tersebut meliputi kurva turbin angin multiblade (flat tunggal), kurva turbin angin *flat* tiga lapis (FTL) dengan jarak antar sudu 1 cm, 3 cm dan 5 cm.

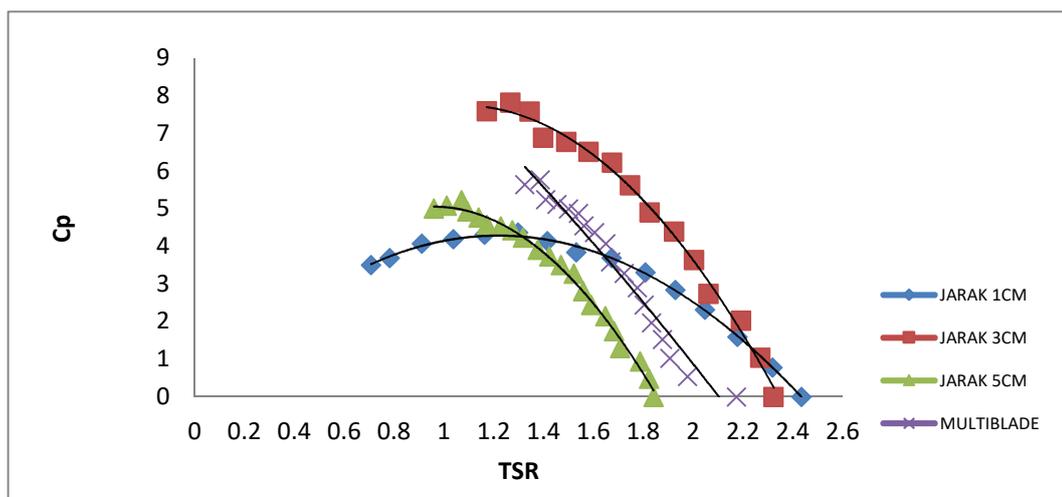
Pengujian kinerja diawali pada beban kosong, pada pengujian ini dihasil putaran paling tinggi untuk semua turbin angin. Masing – masing pada turbin angin *multiblade*, **FTL** dengan jarak antar sudu 1 cm, 3 cm dan 5 cm adalah 218,06 Rpm, 193,2 Rpm, 188,4 Rpm, 179,6 Rpm. Langkah berikutnya menambah beban dengan cara melakukan pengereman, penambahan beban mengakibatkan putaran turun dan daya mekanik meningkat hingga mencapai kapasitas maksimum turbin angin. Kapasitas maksimum masing – masing pada turbin angin *multiblade* dan **FTL** dengan jarak antar sudu 1 cm, 3cm, dan 5 cm yaitu 2,1602 Watt, 2,1698 Watt, 2,4997 Watt, dan 1,8567 Watt. Setelah mencapai kapasitas maksimum penambahan beban mengakibatkan putaran dan daya mekanik turun.

Keempat kurva memiliki *trend* yang sama, puncak – puncak C_p masing – masing untukturbin angin *multiblade* dan **FTL** dengan jarak antar sudu 1 cm, 3 cm, dan 5 cm adalah 41,562% , 37,153%, 41,121%, 34,70855%. Mengacu pada puncak – puncak C_p menunjukkan turbin angin *multiblade* memiliki C_p paling tinggi dibandingkan yang lainnya.



Gambar 6. Grafik Karakteristik Hubungan Antara Koefisien Daya (CP) Terhadap Tip Speed Ratio (TSR) Pada Kecepatan Angin Bebas 3 m/detik

Gambar 7 menjelaskan karakteristik hubungan antara C_p terhadap TSR pada kecepatan angin bebas 11 m/detik pada kedua *blade* uji yaitu *Multiblade* dan **FTL** . Terdapat 4 kurva di dalam grafik tersebut meliputi kurva turbin angin multiblade, kurva turbin angin flat tiga lapis dengan jarak antar sudu 1 cm, 3 cm dan 5 cm. berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat nilai C_p tertinggi pada sudu **FTL** dengan jarak 3 cm. hal ini juga terjadi pada angin bebas 8 m/detik – 10 m/detik sudu **FTL** jarak 3 cm memiliki nilai C_p masing-masing 13,6042%, 10,268%, 9,33509%, dan 7,8284%. Sedangkan pada sudu *multiblade* kecepatan angin bebas 8 m/detik – 11 m/detik memiliki nilai C_p masing-masing 13,606%, 9,6773%, 7,86153%, dan 5,77183%. Kemudian nilai TSR pada sudu **FTL** jarak 3 cm kecepatan angin bebas 8 m/detik – 11 m/detik tertinggi masing - masing yaitu 2,42931, 2,4309, 2,33907, 2,32221. Sedangkan nilai TSR untuk sudu *multiblade* pada kecepatan angin bebas 8 m/detik – 11 m/detik masing - masing yaitu 2,29999, 2,2387, 3,34957, 2,17377.



Gambar 7. Grafik Karakteristik Hubungan Antara Koefisien Daya (C_p) Terhadap *Tip Speed Ratio* (TSR) Pada Kecepatan Angin Bebas 11 m/detik

Pengujian dan pengolahan data bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari turbin angin **FTL** melalui nilai C_p dan nilai TSR. Nilai C_p dipengaruhi oleh daya kinetik (P_k) dan daya mekanik (P_m). Daya angin ($P_{kinetik}$) memiliki nilai yang konstan pada setiap kecepatan angin bebas yang diuji yaitu 3 m/detik - 11 m/detik. Nilai C_p semakin turun pada kecepatan angin yang semakin besar. Hal ini dikarenakan nilai C_p merupakan hasil dari perbandingan antara daya mekanik (P_m) dengan daya kinetik (P_k). Daya mekanik (P_m) dipengaruhi oleh putaran dan torsi. Torsi berbanding terbalik dengan putaran. Semakin kecil putaran maka torsi yang dihasilkan semakin besar. Dari pengujian kedua sudu uji yaitu *multiblade* dan **FTL**, maka dapat dilihat kurva lengkung terjadi akibat C_p yang sudah mencapai titik optimum, dimana C_p turbin mengalami penurunan setelah mencapai titik puncak.

Berdasarkan data hasil perhitungan C_p dan TSR terhadap kedua sudu uji yaitu sudu *multiblade* dan **FTL** yang ditunjukkan dalam grafik, dapat diketahui bahwa turbin dengan sudu *multiblade* memiliki nilai C_p yang lebih tinggi dibanding sudu **FTL** pada semua jarak antar sudu pada kecepatan angin bebas 3 m/detik - 7 m/detik. Nilai C_p *multiblade* tertinggi pada kecepatan angin bebas 3 m/detik sebesar 41,562%. Dengan selisih 0,4% pada sudu **FTL** dengan jarak antar lapis 3 cm didapat nilai C_p sebesar 41,12135%. Hal tersebut membuktikan bahwa turbin flat tiga lapis juga cocok digunakan pada potensi kecepatan angin rendah. Hasil ini menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan

terhadap nilai C_p . Sedangkan pada kecepatan angin bebas 8 m/detik - 11 m/detik, turbin dengan sudu **FTL** dengan jarak antar sudu 3 cm dan sudut blade 15^0 memiliki nilai C_p tertinggi. Nilai C_p tertinggi didapat pada kecepatan 8 m/detik sebesar 13,6042% sedangkan pada sudu *multiblade* pada kecepatan angin bebas 8 m/detik memiliki nilai C_p sebesar 13,2395%. Selisih nilai C_p tersebut hanya sebesar 0,5%. Namun pada kecepatan angin bebas 11 m/detik sudu **FTL** jarak 3 cm nilai C_p tertinggi sebesar 7,8284% sedangkan untuk sudu *multiblade* memiliki nilai C_p tertinggi sebesar 5,77183%. Selisih antara kedua nilai C_p tersebut sebesar 2%. Hal ini menunjukkan turbin angin sudu **FTL** memiliki potensi untuk dikembangkan. Maka dapat disimpulkan bahwa turbin angin sudu **FTL** baik digunakan pada kecepatan angin rendah maupun kecepatan angin tinggi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa Turbin angin sudu flat tiga lapis yang diuji pada kecepatan angin 3 m/s sampai 11 m/s dengan berbagai sudut serang yakni 10^0 , 15^0 , 30^0 , turbin dengan kinerja terbaik pada sudut serang 15^0 jarak 3 cm. Turbin angin sudu flat cocok digunakan pada kecepatan angin rendah hal ini pada C_p yang diperoleh pada kecepatan 3 m/s yaitu sebesar 41,12135 %. Pada kecepatan rendah turbin angin 3 sudu flat berlapis memiliki koefisien daya lebih rendah dibandingkan turbin angin multi blade flat tunggal, namun tidak signifikan. Sedang pada kecepatan angin tinggi turbin angin 3 sudu flat berlapis memiliki kinerja lebih baik. Dengan demikian desain turbin ini memiliki prospek untuk diterapkan pada kecepatan angin tinggi (di atas 7 m/s)

DAFTAR PUSTAKA

- Ariati, R. 2008. Pengembangan Desa Mandiri Energi (DME) Berbasis Energi Non Fosil. <http://www.energi terbarukan.net>., diakses 20 Agustus 2009
- AWEA. 2004. *The American Wind Energy Association*. <http://www.awea.org>. diakses tanggal 5 Oktober 2009
- Beri H, and Yao Y. 2011. *Effect of Chamber Airfoil on Self Starting of Vertical Axis Wind Turbine*. *Journal of Environment Science and Technology*. Vol. 4 (3), pp. 302-312
- Bondan PA, Rilyandi H, Yuli R. 2007. Rancang Bangun Turbin Angin Savonius sebagai Penggerak Pompa Sudu Luncur. *Jurnal Eksergi* Vol 3 nomor 1. hal 8-13. ISSN 0216-8685
- BWEA. 2002. *The British Wind Energy Association*. <http://www.bwea.com>. diakses tanggal 6 Oktober 2009

- DESDM (Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral). 2005. *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025, Jakarta.
- El-Tous Y. 2008. *Pitch Angle Control of Variable Speed Wind Turbine*. *American Journal of Engineering and Applied Sciences* vol.1 (2). Pp. 118-120
- Freris L.L. 1989, *Wind Energy Conversion System*, London, UK : Prentice Hall
- Grant A and Kelly N. 2003. *The Development of a Ducted Wind Turbine Simulation Model*. *Eight International IBPSA Conference*. Eindhoven Netherlands
- Hartanto W. 2007. Pembuatan dan Pengujian Turbin Angin Darrieus dengan Variasi Sudut Sudu. Polines. Semarang
- Herlambang, Yusuf D. 2008. Unjukkerja Turbin Angin Nibe 3-Sudu Menggunakan Pompa Sudu Luncur untuk Pengambilan Air. *Jurnal Eksergi*. vol. IV nomor 2. hal 12-16. ISSN 0216-8685
- Hofman H dan Harun. 1987. *Energi Angin*. Penerbit Binacipta, Jakarta
- Rahmat, Arum Y, Adi ND. 2006, Pembuatan dan Pengujian Turbin Angin Darrieus Terhadap Variasi Jumlah Sudu dengan Kombinasi Sudu Savonius Satu Tingkat, Polines, Semarang
- Winarto A, Andri TW, Gatot SS, Khoirozy. 2003. *Turbin Angin Multi Blade sebagai Penggerak Dinamo Listrik*. *Jurnal Rekayasa Mesin* vol III nomor 6. hal 233-244. ISSN 1411-6863.

PENINGKATAN USAHA PEMASANGAN FIGURA PADA KERAJINAN CORAN ALUMINIUM PRODUK UKM DI JUWANA PATI JAWA TENGAH**Sri Harmanto¹⁾, Ahmad Supriyadi¹⁾, Moch. Abdul Kodir²⁾**¹⁾ Staf pengajar jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang²⁾ Staf pengajar jurusan Akuntansi Politeknik Negeri SemarangE-mail : sri_harmanto@yahoo.co.id**ABSTRACT**

Small and Middle Enterprises (SME) handicraft from aluminum casting material in Juwana Pati Central Java was able to give a big contribution to the economy in Indonesia. Products marketing of the handicraft were distributed on major cities in Indonesia such as Semarang, Surabaya, Yogyakarta, Bandung, Jakarta, and Bali as a tourist destination city, also to domestic and foreign tourists. The purpose of the third year IbPE program activity was the implemented of science and technology in the installation of frames on aluminum casting products to increase quality, so it can increase income and sales prices. The purpose of banking training is to help SME to apply in making a capital loan plan from banks to increase their business development. The methods applied in the activities of the third year of IbPE program are: introduction, implementation, and assessment. The results achieved from these activities of the third year of IbPE program are: the realization of Appropriate Technology (AT) in the form of equipment for making and installation of frames in aluminum casting products so it can increase the handicraft product quality, increase income and selling prices, planning capital addition from bank, and the addition of two employees. The output of these activities are: scientific articles published in journals and mass media, the proceedings of national seminars, modules on the making of frames, banking modules, and Appropriate Technology (AT).

Keywords: *installation of frames, aluminum castings handicraft, SME products***ABSTRAK**

Usaha Kecil Menengah (UKM) kerajinan dari bahan coran aluminium di Juwana Pati Jawa Tengah ternyata mampu memberikan sumbangan besar terhadap perekonomian di Indonesia. Pemasaran produk merambah kota-kota besar seperti Semarang, Surabaya, Yogyakarta, Bandung, Jakarta, dan Bali sebagai daerah tujuan wisata, baik wisatawan dalam negeri maupun manca negara. Tujuan dari kegiatan program IbPE tahun ke-3 ini adalah untuk penerapan IPTEKS dalam hal pemasangan pigura pada produk kerajinan coran aluminium agar terjadi peningkatan mutu sehingga bisa menaikkan harga dan omset penjualan. Sedangkan pelatihan perbankan bertujuan agar UKM bisa merencanakan peminjaman modal dari bank untuk peningkatan pengembangan usaha. Metode yang diterapkan di dalam kegiatan program IbPE tahun ke-3 yaitu : pendahuluan, pelaksanaan, dan penilaian. Hasil yang dicapai dari kegiatan program IbPE tahun ke-3 adalah : terwujudnya Teknologi Tepat Guna (TTG) berupa peralatan pembuatan dan pemasangan pigura pada produk kerajinan coran aluminium sehingga terjadi peningkatan mutu produk kerajinan, peningkatan omset dan harga penjualan, perencanaan penambahan modal dari bank, dan adanya penambahan karyawan sebanyak 2 orang. Sedangkan luaran dari kegiatan ini adalah : artikel ilmiah yang dipublikasikan melalui jurnal dan media massa, prosiding seminar nasional, modul tentang pembuatan pigura, modul perbankan, dan TTG.

Kata kunci : *pemasangan pigura, kerajinan coran aluminium, produk UKM***PENDAHULUAN**

Usaha Kecil Menengah (UKM) kerajinan dari bahan coran aluminium di Juwana Pati Jawa Tengah ternyata mampu memberikan sumbangan besar terhadap perekonomian di Indonesia. Pemasaran produk merambah kota-kota besar seperti Semarang, Surabaya,

Yogyakarta, Bandung, Jakarta, Bali sebagai daerah tujuan wisata, baik wisatawan dalam negeri maupun manca negara, dan ekspor ke beberapa negara, seperti Thailand, Jepang, dan Eropa. Pemasaran produk UKM pengecoran aluminium “UD BUDI JAYA LOGAM” dan UKM “PRIMA LOGAM & ANTIQUE” di desa Sejomulyo dan desa Karang ini pada umumnya hanya berdasarkan pesanan sehingga mengalami pasang surut. Dalam satu bulan untuk hasil poles, pelapisan, dan lukisan penjualan rata-rata mencapai sekitar 8.000 buah. Hal ini dipengaruhi oleh permintaan pasar dan harga produk. Pasar biasanya menginginkan harga murah namun berkualitas. Dengan harga bahan baku dan biaya produksi yang terus meningkat menyebabkan terhambatnya proses produksi dan omset penjualan. Untuk itulah diperlukan upaya-upaya agar terjadi peningkatan mutu produk sehingga memiliki harga jual yang tinggi.

Produk-produk kerajinan UKM pengecoran di Desa Sejomulyo dan desa Karang, Juwana, Pati, Jawa Tengah dapat dilihat seperti pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 1. Produk-Produk Asli Kerajinan Coran Aluminium

Sumber : Kegiatan IbPE Tahun Ke-1 di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM”



Gambar 2. Produk Kerajinan Coran Aluminium Hasil Pelapisan

Sumber : Kegiatan IbPE Tahun ke-1 di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM”



Gambar 3. Produk Kerajinan Coran Aluminium Hasil Lukisan Dengan Cat
Sumber : Kegiatan IbPE Tahun ke-2 di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM”



Gambar 4. Produk Kerajinan Coran Aluminium Dengan Pemasangan Figura
Sumber : Kegiatan IbPE Tahun ke-3 di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM”

Latar belakang dilakukannya kegiatan pengabdian kepada masyarakat di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM” dan UKM “PRIMA LOGAM & ANTIQUE” melalui Program IbPE Tahun ke-3 ini adalah disebabkan karena permasalahan produksi, yaitu produk-produk kerajinan coran aluminium baik hasil poles, pelapisan, dan lukisan masih perlu ditingkatkan mutu dan omset penjualannya, khususnya kerajinan hasil lukisan dengan cat pemasarannya kurang menggembirakan. Hal ini disebabkan karena biaya produksinya tinggi sementara harga jualnya rendah sehingga keuntungan UKM kecil. Sedangkan permasalahan manajemen yang masih terjadi di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM” dan UKM “PRIMA LOGAM & ANTIQUE” ini adalah masalah modal, di mana untuk mengembangkan usahanya diperlukan tambahan modal yang cukup besar

sementara UKM belum mengetahui cara-cara peminjaman uang di bank yang sesuai dengan kemampuan UKM dalam pengembaliannya.

Dengan adanya permasalahan-permasalahan tersebut di atas maka diperlukan suatu solusi atau pemecahan masalah sehingga dapat meningkatkan mutu produk dan penambahan modal dari bank yang sesuai dengan kebutuhan UKM.

Tujuan dari pelaksanaan kegiatan Program IbPE Tahun ke-3 ini adalah untuk meningkatkan mutu, harga, dan omset penjualan dengan cara pembuatan dan pemasangan pigura pada produk kerajinan coran UKM, serta memperoleh pinjaman bank sebagai modal untuk mengembangkan usahanya.

Menurut Wikipedia, pigura adalah merupakan bingkai foto (bahasa Inggris: *photo frame*) atau bingkai gambar (bahasa Inggris : *picture frame*) atau sering disebut pigura adalah tepi dekoratif yang dibuat untuk memasang, melindungi, dan memajang sebuah gambar, foto, atau lukisan.

Beberapa fungsi/kegunaan dari pigura antara lain adalah :

- a. Sebagai pelindung/penguat foto, gambar, lukisan suatu obyek
- b. Sebagai tempat meletakkan/menempel/menjepit/menggantung suatu obyek
- c. Sebagai penambah keindahan/artistik suatu obyek

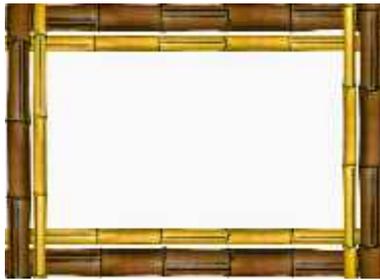
Pigura juga digunakan untuk memajang dokumen penting berkaitan dengan reputasi dan dedikasi dari konsumen tersebut di ruang kerjanya supaya diketahui pengunjung atau relasinya tanpa menjelaskan satu persatu tentang prestasinya. Contohnya seperti : Piagam Penghargaan, Sertifikat, Mahar, Tanda Kelulusan, Papan Pengumuman, dll.

Bahan-bahan pigura banyak ragamnya, tergantung dari keinginan, kreasi, dan *trend* pada saat ini. Bahan-bahan pigura yang lazim digunakan antara lain adalah :



Gambar 5. Kelompok kayu

Sumber : <https://www.google.com/search=jenis+pigura&client>



Gambar 6. Kelompok bambu

Sumber : <https://www.google.com/search=jenis+pigura&client>



Gambar 7. Kelompok kertas

Sumber : <https://www.google.com/search=jenis+pigura&client>



Gambar 8. Kelompok logam

Sumber : <https://www.google.com/search=jenis+pigura&client>



Gambar 9. Kelompok fiber

Sumber : <https://www.google.com/search=jenis+pigura&client>



Gambar 10. Kelompok batu-batuan

Sumber : <https://www.google.com/search=jenis+pigura&client>



Gambar 11. Kelompok kerang-kerangan

Sumber : <https://www.google.com/search=jenis+pigura&client>

Inovasi merupakan suatu proses dalam menciptakan sebuah produk komersial dari penemuan, (Dista Maya, 2012). UMKM yang mempunyai peranan besar dalam ekspor adalah UMKM yang mengandalkan keahlian tangan (*hand made*), seperti kerajinan perhiasan, ukiran kayu dan termasuk juga Kerajinan Pigura Kaligrafi.

Menurut Howkins (2001), pada awal abad ke-21 telah memasuki era baru, yaitu era ekonomi kreatif. Ekonomi kreatif merupakan kegiatan ekonomi yang digerakkan oleh industri kreatif yang mengutamakan peranan kekayaan intelektual. Produk didefinisikan sebagai segala sesuatu yang ditawarkan ke suatu pasar untuk diperhatikan, diperoleh, digunakan, atau dikonsumsi sebagai pemenuhan keinginan atau kebutuhan (Kotler, 2002). Heizer dan Render, (2009) menyatakan sebuah strategi produk yang efektif menghubungkan keputusan produk dengan investasi, pangsa pasar, dan siklus hidup produk, serta menjelaskan seberapa beragamnya suatu lini produk. Pendampingan dalam administrasi, pembukuan (akuntansi), dan perpajakan diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan dan keterampilan teknis dalam kegiatan yang berkaitan dengan ekspor dan penyusunan laporan keuangan, dengan menggunakan teknologi komputer, yaitu *software* program akuntansi khusus untuk usaha kecil (Perreault, 2009).

METODE

Metode pendekatan yang ditawarkan untuk mendukung realisasi program IbPE Tahun ke-3 ini melalui beberapa tahapan kegiatan, yaitu :

- a. Tahap 1 : Kegiatan pendahuluan (*introduction*)
- b. Tahap 2 : Kegiatan penilaian (*assesment*)
- c. Tahap 3 : Pelaksanaan (*implementasi*)

Pada umumnya sistem kerja yang terdapat di UKM kerajinan coran aluminium adalah majikan-pekerja yang langsung memasarkan produknya ke pasar dan juga ikut langsung dalam kegiatan proses produksi. Oleh karena itulah jadwal kegiatan pendampingan maupun *workshop* yang harus dihadiri pengusaha UKM disesuaikan dengan kegiatan UKM. Untuk mengatasi permasalahan produksi dan manajemen di UKM perlu dilakukan pemasangan pigura pada produk kerajinan coran aluminium dan pelatihan perbankan.

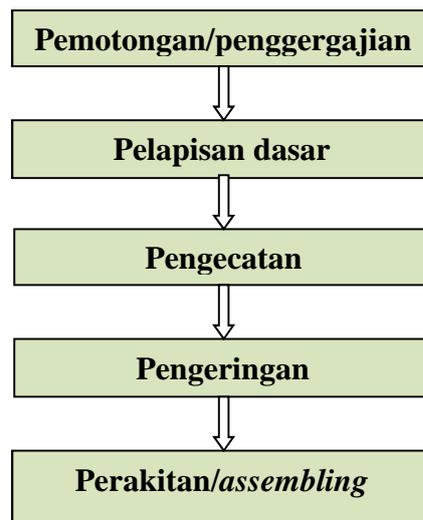
Peralatan yang digunakan untuk mendukung kegiatan program IbPE Tahun ke-3 ini adalah berupa peralatan pembuatan pigura seperti pada Gambar 12 di bawah ini.



Gambar 12. Peralatan Pembuatan Pigura

Sumber : Kegiatan IbPE Tahun ke-3 di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM

Diagram alir proses-proses pembuatan pigura pada produk kerajinan coran aluminium di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM” dan UKM “PRIMA LOGAM & ANTIQUE” dapat dilihat seperti pada Gambar 13 di bawah ini.



Gambar 13. Diagram Alir Proses Pembuatan Pigura

Sumber : Kegiatan IbPE Tahun ke-3 di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM”

HASIL DAN PEMBAHASAN

Urutan proses-proses pembuatan pigura pada produk kerajinan coran aluminium di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM” dan UKM “PRIMA LOGAM & *ANTIQUÉ*” seperti pada Gambar 14 sampai dengan Gambar 17 di bawah ini.



Gambar 14. Produk Kerajinan Coran Aluminium

Sumber : Kegiatan IbPE Tahun ke-3 di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM”



Gambar 15. Proses Pemotongan dan pelapisan dasar

Sumber : Kegiatan IbPE Tahun ke-3 di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM



Gambar 16. Pengeringan dan pengecatan

Sumber : Kegiatan IbPE Tahun ke-3 di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM



Gambar 17. Perakitan

Sumber : Kegiatan IbPE Tahun ke-3 di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM

Dengan penambahan pigura pada produk-produk kerajinan coran aluminium tersebut terjadi kenaikan harga dan omset penjualan yang cukup berarti. Harga jual produk dari Rp 15.000,- s.d. Rp 125.000,- menjadi Rp 105.000,- s.d. Rp 326.000,- dan omset penjualan rata-rata setiap bulan dari 8.000 buah menjadi 8.500 buah (hasil poles,

pelapisan, lukisan, dan pigura). Hal ini juga berdampak pada peningkatan keuntungan yang dapat dirasakan oleh UKM sebesar sekitar 62 %.



Gambar 18. Pelatihan Pembuatan Pigura Dan Perbankan

Sumber : Kegiatan IbPE Tahun Ke-3 di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM

Dari pemecahan permasalahan yang dilakukan di UKM “ UD BUDI JAYA LOGAM ” dan UKM “ PRIMA LOGAM & ANTIQUE “ hasilnya dapat dilihat seperti pada Tabel 1, Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 1
Perbaikan kualitas produk dan manajemen

No.	Permasalahan	belum program IbPE Tahun ke-3	Setelah program IbPE Tahun ke-3	Keterangan
1	Produksi	Produk tanpa pigura, penampilan kurang menarik	Penambahan pigura penampilan lebih menarik	Penambahan pigura
2	Manajemen	UKM belum bisa menentukan besarnya pinjaman bank	UKM sudah bisa menentukan besarnya pinjaman bank	Pelatihan perbankan
3	Omset penjualan (Seluruh produk)	Rata-rata 8.000 buah per bulan (poles, pelapisan, dan lukisan)	Rata-rata 8.500 buah per bulan (poles, pelapisan, lukisan, dan pigura)	Peningkatan omset sekitar 6,3 %

Sumber : Kegiatan IbPE Tahun ke-3 di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM”

Tabel 2
Keuntungan UKM (Khusus pigura)

N o.	Nama Produk	Omset Penjualan (bh/bln)	Keuntungan UKM/bh (Rp)	Keuntungan UKM/bln (Rp)
1	Topeng	300	40.000,-	12.000.000,-
2	Lain-lain	200	30.000,-	6.000.000,-
Total			Jumlah	18.000.000,-

Sumber : Kegiatan IbPE Tahun ke-3 di UKM “UD BUDI JAYA LOGAM”

Rencana pengembangan usaha UKM dengan jalan penambahan modal hasil pinjaman di bank menjadikan motivasi UKM untuk merealisasikannya. Hal ini sudah bisa diperhitungkan oleh UKM besarnya pinjaman dari bank agar sesuai dengan kemampuan dalam pengembaliannya.

SIMPULAN

Dari serangkaian kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat pada Program IbPE Tahun ke-3 ini terdapat peningkatan dalam beberapa hal baik dalam hal produksi maupun manajemen. Secara rinci dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Terjadi peningkatan kualitas/mutu produk kerajinan coran aluminium dengan adanya penambahan pigura
2. Adanya peningkatan omset dan harga jual produk kerajinan coran aluminium.
3. Adanya peningkatan keuntungan UKM
4. Adanya keberanian UKM dalam merencanakan pinjaman modal di bank

Saran-saran yang perlu disampaikan dalam kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat pada Program IbPE Tahun ke-3 ini adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya peran serta yang sungguh-sungguh dari Pemerintah setempat untuk membantu UKM, khususnya dalam permodalan dan pemasaran produk yang lebih luas lagi
2. Diperlukan kesadaran yang tinggi bagi UKM penerima bantuan peralatan pembuatan pigura agar bersedia menularkan Ipteks tersebut kepada sesama UKM agar dapat berkembang secara bersama-sama
3. Diperlukan adanya inovasi dan pengembangan penggunaan peralatan dari UKM untuk meningkatkan beragam jenis produk untuk meningkatkan jumlah pesanan

4. Diperlukan perawatan dan penggunaan peralatan yang diberikan pada UKM secara benar dan sungguh-sungguh agar masa pakainya menjadi lebih lama

Adapun dampak dan manfaat dari kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat Program IbPE Tahun ke-3 ini adalah :

1. Dapat meningkatkan pengetahuan dan ketrampilan pekerja UKM tentang proses-proses pembuatan pigura pada kerajinan coran aluminium
2. Adanya peningkatan mutu produk kerajinan coran aluminium
3. Dapat meningkatkan gairah dan semangat dalam bekerja
4. Adanya peningkatan penghasilan dan kesejahteraan para pekerja dan pemilik UKM
5. Adanya keberanian UKM di dalam merencanakan peminjaman uang di bank untuk meningkatkan usahanya

DAFTAR PUSTAKA

Dista , A dan Maya ,I, 2012. *Peningkatan Kinerja UKM Dengan Pengelolaan Intellectual dan Inovasi, Proceeding of Conference in Business, Accounting and Manajemen*. Semarang Unisula

Heizer, J. dan B. Render. 2009. *Manajemen Operasi*, Buku 1, Edisi 9, Jakarta: Penerbit Salemba Empat

Howkins, J., 2001, *The Creative Economy, How People Make Money from Ideas*. London-England: Penguin Books Ltd. 80 Strand

Kotler, P. 2002. *Manajemen Pemasaran*, Edisi Milenium 2, Jakarta: Prenhallindo

Perreault, 2009, *Pemasaran Dasar : Pendekatan Manajerial Global* Buku 2 , Salemba Empat

Wikipedia, Bahasa Indonesia, Istilah pigura

Harian Suara Merdeka, 20 Juli 2016

Rachmad Said, S., (2011), JPTK, Vol. 20, No. 1, Mei, 2011.

Sindo Suara Merdeka, 29 Mei 2015

Sindo Suara Merdeka, 23 Mei 2015

<https://www.google.com/search=jenis+pigura&client>

PEMANASAN KATALIS TEMBAGA DALAM MUFFLER UNTUK MEREDUKSI GAS BUANG MOTOR BENSIN**Yuniarto Agus Winoko¹**

Jurusan Teknik Mesin, Polinema, Jl Soekarno Hatta 9, Malang, 65141

E-mail: dhimazyuni@gmail.com

ABSTRACT

Increased air pollution resulting from incomplete combustion of gasoline engine in particulate and gas form. The exhaust gases are carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NOX), sulfur oxide (SOX), and unburned hydrocarbons (HC). The efforts to reduce exhaust gas by installing copper catalytic converter and adding heaters. The objective is to determine the optimum reduction of CO and HC before and after the catalyst is installed. Knowing how much percentage of optimum reduction of exhaust emissions. Determine operating temperature during optimum exhaust gas reduction. Data obtained in laboratory experimental method and then compared standart. The optimum result when the standard 4,99% CO and HC of 492ppm, when installed catalysts of 3.12% CO and 104 HC. The percentage decrease of optimum HC by 49,02% and CO equal to 49,69% against standard. The reduction of exhaust emissions occurs when the temperature is 500 ° C

Keywords: *Copper, heater, gasoline engine, muffler, exhaust gas***ABSTRAK**

Peningkatan polusi udara adalah akibat dari pembakaran mesin bensin tidak komplit dalam bentuk partikulat dan gas. Gas buang berupa karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NOX), sulfur oxide (SOX), dan hidrokarbon yang tidak terbakar (HC). Upaya mengurangi gas buang adalah dengan cara memasang catalytic converter tembaga dan menambahkan pemanas. Tujuannya adalah untuk menentukan pengurangan optimal CO dan HC sebelum dan sesudah katalis dipasang, mengetahui berapa persen pengurangan optimum emisi gas buang, serta menentukan suhu operasi yang diperlukan supaya pengurangan gas buang terjadi secara optimal. Data diperoleh dengan metode eksperimen laboratorium dan kemudian dibandingkan standart yang ada. Hasil optimum dalam kondisi standar 4,99% CO dan HC 492ppm, saat memasang katalisator sebesar 3,12% CO dan 104 HC. Persentase penurunan HC optimum sebesar 49,02% dan CO sebesar 49,69% dibandingkan standar yang ada. Pengurangan emisi gas buang terjadi saat suhu 500 ° C

Kata kunci: Tembaga, pemanas, mesin bensin, knalpot, gas buang**PENDAHULUAN**

Pemakaian bahan bakar untuk motor bensin setiap tahun meningkat, kondisi ini menyebabkan konsentrasi gas buang meningkat dan berakibat kotornya udara lingkungan sekitar. Perawatan mesin kendaraan yang tidak memadai, modifikasi ruang bakar, pemakaian bahan bakar dan pemakaian komponen yang tidak sesuai adalah penyebab tingginya gas buang (Bapedal.2002). Untuk mencegah peningkatan emisi gas buang agar menghasilkan langit biru, maka pemerintah membuat regulasi peraturan menteri lingkungan Hidup “Nomor.05 tahun 2006”, tentang ambang batas emisi gas buang kendaraan lama. Pada regulasi tersebut menggunakan metode uji gas CO dan HC

dilakukan pada kondisi tanpa beban (*idle*) dan kandungan asap pada percepatan bebas (*free acceleration*).

Terbentuknya gas buang saat mesin berputar akibat pembakaran tidak sempurna yang disebabkan kondisi campuran udara terhadap bahan bakar yang kurang atau berlebih (Yuniarto. 2017). Terbentuknya HC akibat *crevice volume* akibat celah kecil antara piston ring, piston dan silinder, sehingga saat proses pembakaran terjadi api tidak dapat menjangkau lokasi tersebut. Proses ini mengakibatkan terjadi perbedaan suhu sehingga ada sebagian bahan bakar yang tidak terbakar. Homogenitas turbulensi hidro karbon yang mengakibatkan bahan bakar tidak terbakar secara sempurna. Kedua katup sama-sama terbuka (*valve overlap*) sehingga udara-bahan bakar dapat mengalir kedalam saluran gas buang (Pulkrabek. 1997). Adanya endapan disekitar ruang bakar sehingga api tidak dapat membakar secara sempurna bahan bakar di ruang bakar. Kondisi ini menimbulkan lapisan tipis terbakar sebagian sehingga pelumas menyerap uap bahan bakar. Selanjutnya pelumas masuk ke ruang bakar dan terbakar saat piston berekspansi dan membentuk deposit. Terbentuknya CO (Yuniarto. 2015) akibat start dingin karena bahan bakar lebih banyak dari pada udara. Selain itu akibat perbandingan udara dan bahan bakar serta homogenitas bahan bakar. Homogenitas mempermudah oksigen bereaksi dengan karbon, kurangnya oksigen dalam campuran mengakibatkan karbon bereaksi tidak sempurna dengan oksigen. Saat suhu pembakaan tinggi terbentuk CO, walaupun campurannya miskin oksigen dalam karbon dioksida berdisosiasi (memisahkan diri) membentuk karbon diokasida dan oksigen.

Peneliti terdahulu tentang katalis untuk mengatasi polusi emisi CO dan HC dari motor bensin, diantaranya Andi S. 2012. meimpulkan bahwa efisiensi CO naik 47,93% dan 50,36% HC saat temperatur 325°C. Bagus I dan Purwanto H. 2013 menyimpulkan bahwa tembaga berlapis mangan mampu menurunkan karbon monoksida secara signifikan. Ali M. 2014. Menyimpulkan bahwa penggunaan katalis tembaga dapat menurunkan 41,85% CO dan 29,16%HC dan 12,88% CO₂. M. Hasan A dan Septi C.S. 2016. Menyimpulkan bahwa katalis tembaga dapat menurunkan 1,31% CO dan 582ppm HC dan CO₂ naik 0,47%.

Rumusan masalah Bagaimana pengaruh penambahan pemanas pada katalis tembaga yang terpasang dalam *muffler*. Berapa besar suhu terbaik untuk pemanasan ulang dengan menggunakan katalis tembaga. Batasan masalah Menggunakan katalis tembaga

dengan penambahan pemanas dari katalis tembaga (Cu), polutan yang terukur HC dan CO, waktu reaktifan tembaga belum diperhitungkan. **Tujuan** penelitiann ini menentukan besar reduksi optimum CO dan HC sebelum dan sesudah terpasang katalis. Mengetahui berapa besar prosentase penurunan optimum emisi gas buang. Menentukan suhu operasi saat reduksi gas buang optimum.

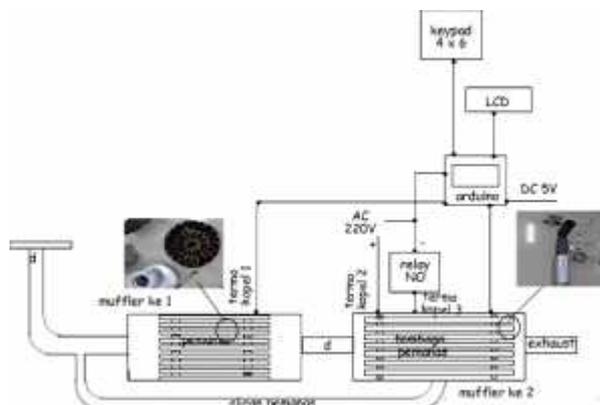
KAJIAN TEORI

Katalis adalah suatu zat yang dapat mempercepat laju suatu reaksi kimia tanpa adanya perubahan sifat secara signifikan dari katalis itu sendiri (Yuniarto.2015). Terdapat 2 (dua) jenis katalis yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Kerugian katalis homogen bersifat korosif dan sulit dipisahkan dari produk, keuntungannya reaksi tidak memerlukan suhu dan tekanan tinggi. Sifat katalis heterogen (Bahl. 2007) adalah komposisi dan massa tidak berubah pada akhir reaksi dan tidak mempengaruhi akhir kesetimbangan tetapi memperpendek waktu untuk mencapai kesetimbangan. Perubahan suhu mengubah laju dari reaksi katalitik dan katalis tidak dapat memulai suatu reaksi. Keuntungan katalis heterogen adalah aktivitasnya tinggi, masa pakai katalis lama, tidak korosif dan ramah lingkungan serta dapat digunakan kembali.(Fogler S.H. 1992).

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini variabel bebas atau vaeiabel yang mempengaruhi atau yang menyebabkan terjadinya perubahan pada variabel terikat (Montgomery, D.C. 2004.). Pada penelitian ini variabel bebasnya putaran mesin 1000, 2000, 3000 dan 4000. Variabel terikat adalah variabel yang terjadi akibat variabel bebas, dalam penelitian ini adalah pembacaan emisi CO dan HC. Variabel kontrol adalah variabel yang dikondisikan dalam keadaan konstan, sehingga hubungan variabel bebas dan variabel terikat tidak terpengaruh oleh kondisi yang lain. Dalam penelitian ini suhu pemanas 300, 400 dan 500°C. Menggunakan mesin dengan spesifikasi (Anonim.1992) dengan spesifikasinya, kapasitas mesin 1486cc 4 silinder sebaris. Besar rasio kompresi 9,3 dan daya maksimum46 kW pada putaran mesin 5000rpm, torsi maksimum sebesar 11,32 kW pada 2800rpm. Posisi pemasangan katalis tembaga dan rangkaiannya ditunjukkan gambar 1. Lembaran tembaga permukaannya dibuat berkelok kelok dengan tujuan

untuk memperbesar luas bidang kontak saat proses adsorpsi berlangsung, sedang bagian tengahnya diberi pipa tembaga untuk dudukan atau penguat lembaran tembaga.



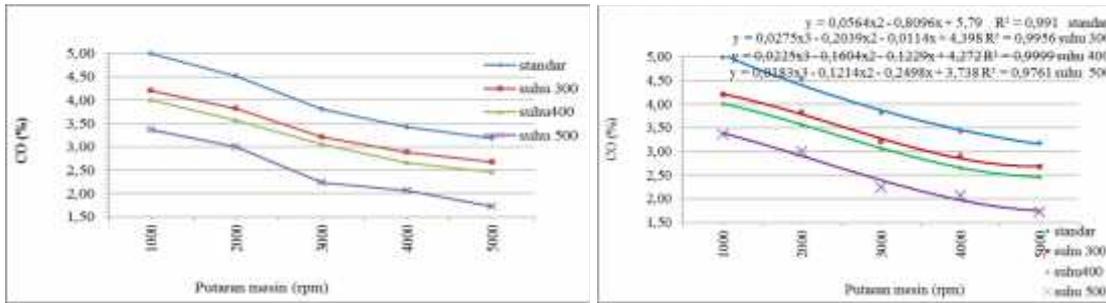
Gambar 1. Rangkaian muffler

Desain *muffler* di mana fungsi *muffler* pertama mereduksi bunyi akibat pembuangan sisa gas hasil pembakaran. *Muffler* ke dua berfungsi untuk pemanasan gas buang dengan bahan dasar tembaga yang berfungsi untuk mereduksi gas buang. Jika suhu gas buang kurang tinggi maka gas buang akan lembali melalui aliran pemanas, suhunya sesuai untuk direduksi oleh tembaga. Pengontrolan suhu gas kerja pemanas menggunakan termo kopel, yang terhung dengan LCD untuk pembacaannya.

Prosedur pengukuran CO dan HC yang melalui *muffler* standar maupun muffle yang terisi tembaga dalam mengukur CO dan HC adalah,

1. Saat suhu mesin dingin gas analyzer sudah dalam kondisi terangkai bersana dengan , sensor suhu dan juga blower dalam kondisi hidup.
2. Hidupkan mesin dengan putaran stasioner, selanjutnya tunggu sampai suhu mencapai suhu kerja mesin sekitar 90°C.
3. Proses pengambilan dara saat [utaran mesin 1000, 2000. 3000 dan 4000rpm.
4. Masukkan probe sedalam 30 sampai 35cm ke dalam saluran muffler untuk mengukur CO dan HC mesin standar.
5. Cetak data gas buang dari gas analyzer, dengan menekan tombol cetak.
6. Matikan mesin dan tunggu sampai suhu mencapai suhu ruangan, selanjutnya matikan blower, lakukan sebanyak 3 (tiga kali) kali pengukuran.
7. Selanjutnya ganti dengan *muffler* yang berisi katalis tembaga dan ukur saat suhu pemanasa 300, 400 dan 500°C, lakukan sesuai dengan prosedur di atas,

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2 Perbandingan emisi CO

Gambar 2 menunjukkan hasil pengujian emisi CO saat menggunakan *muffler* standar dan menggunakan muffler yang berisi tembaga yang dipanaskan dengan suhu 300, 400 dan 500°C. Saat pengujian putaran kontrolnya ada;ah 1000, 2000, 3000, 4000 dan 5000rpm. Kecenderungan untuk semua hasil pengujian emisi CO sama, di mana saat menggunakan muffler standar terjadi penurunan emisi CO untuk setiap putaran mesin. Kondisi ini terjadi karena saat putaran mesin meningkat, maka suhu yang keluar dari *muffler* juga semakin tinggi. Reduksi nilai berdasarkan tabel 1 perbandingan reduksi CO saat suhu 300°C dengan muffler standar terbesar pada 1000rpm yaitu 0,79% CO dan terkecil terjadi saat 5000rpm dengan nilai 0,51% CO. Saat suhu 400°C dengan menggunakan muffler standar terbesar pada 1000rpm bernilai 0,98%CO dan terkecil pada 5000rpm sebesar 0,72%CO. Saat suhu 500°C dengan menggunakan *muffler* standar nilainya terbesar 1,63%CO dan terkecil 1,35%CO pada 4000rpm dengan muffler yang diberi pemanas.

Tabel 1
Reduksi CO saat terpasang pemanas

Suhu pemanas (°C)	Putaran mesin (rpm)				
	1000	2000	3000	4000	5000
suhu 300 - standar	-0,79	-0,69	-0,60	-0,53	-0,51
suhu 400 - standar	-0,98	-0,94	-0,75	-0,76	-0,72
suhu 500 - standar	-1,63	-1,51	-1,57	-1,35	-1,58

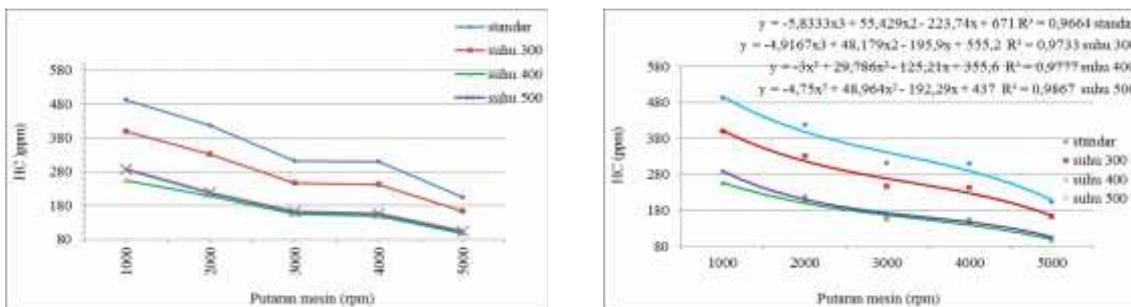
tabel 2 menunjukkan besar prosesntase reduksi gas buang tanpa menggunakan pemanas dibandingkan dengan menggunakan pemanas. Reduksi yang terjadi saat *muffler* dipanaskan dengan suhu 300°C, pada 1000rpm terjadi reduksi 15,83% CO dan saat 2000rpm sebesa 15,30%. Pada 3000rpm reduksinya 15,75% dan saat 4000rpm 15,50 serta saat 5000rpm sebesar 16,04%CO. Reduksi saat *muffler* dipanaskan dengan suhu

400°C, pada 1000rpm terjadi reduksi 19,64% CO dan saat 2000rpm sebesar 20,840%. Pada 3000rpm reduksinya 19,69% dan saat 4000rpm 22,22% serta saat 5000rpm sebesar 22,64%CO. Reduksi saat *muffler* dipanaskan dengan suhu 500°C, pada 1000rpm terjadi reduksi 32,67% CO dan saat 2000rpm sebesar 33,48%. Pada 3000rpm reduksinya 41,31% dan saat 4000rpm 39,47% serta saat 5000rpm sebesar 49,69%CO suhu 500°C.

Tabel 2
 Prosentase reduksi CO saat terpasang pemanas terhadap standar

Suhu pemanas (°C)	Putaran mesin (rpm)				
	1000	2000	3000	4000	5000
suhu 300 - standar	-15,83	-15,30	-15,75	-15,50	-16,04
suhu 400 - standar	-19,64	-20,84	-19,69	-22,22	-22,64
suhu 500 - standar	-32,67	-33,48	-41,21	-39,47	-49,69

Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian hidrokarbon yang tidak terbakar sempurna (unburner hydrocarbon), untuk setiap perlakuan dengan kondisi *point to point* dan kondisi *trend line*. Berdasarkan gambar 3 menunjukkan bahwa besarnya kesalahan dengan tingkat kepercayaan 5% dapat diterima. Tabel 3 menunjukkan perhitungan reduksi HC untuk setiap kondisi putaran mesin. Pada saat muffler dengan suhu pemanasan 300°C, untuk 1000rpm terjadi reduksi 93ppm terhadap standar, 2000rpm sebesar 87ppm, 3000rpm sebesar86ppm dan 4000rpm reduksinya 67ppm serta 5000rpm sebesar 42ppm.



Gambar 3 Perbandingan emisi HC

Tabel 3
 Reduksi HC saat terpasang pemanas

suhu 300 - standar	-93	-87	-65	-67	-42
suhu 400 - standar	-144	-122	-93	-94	-65
suhu 500 - standar	-205	-200	-151	-154	-100

Kondisi berbeda saat *muffler* diberi input pemanas pada suhu 400°C terjadi reduksi 144ppm saat 1000rpm, 122ppm saat 2000rpm, 93ppm saat 3000rpm dan 94pm saat

4000rpm serta 65ppm saat 5000rpm. Saat *muffler* diberi input pemanas pada suhu 500°C terjadi reduksi 205ppm saat 1000rpm, 200ppm saat 2000rpm, 151ppm saat 3000rpm dan 154pm saat 4000rpm serta 100ppm saat 5000rpm.

Tabel 4
Prosentase reduksi HC saat terpasang pemanas terhadap standar

Suhu pemanas	Putaran mesin (rpm)				
	1000	2000	3000	4000	5000
suhu 300 - standar	-18,90	-20,81	-20,83	-21,68	-20,59
suhu 400 - standar	-29,27	-29,19	-29,81	-30,42	-31,86
suhu 500 - standar	-41,667	-47,847	-48,397	-49,838	-49,02

Tabel 4 menunjukkan prosentase penurunan emisi HC saat menggunakan pemanas terhadap kondisi standar. Saat *muffler* mendapatkan input suhu sebesar 300°C pada 1000rpm sebesar 18,90%, saat 2000rpm sebesar 20,81%, untuk 3000rpm sebesar 20,83[^] dan 4000rpm sebesar 20,59% terhadap standar. Saat *muffler* mendapat panas dengan suhu 400°C maka prosentase penurunannya adalah, pada 1000rpm sebesar 29,270%, saat 2000rpm sebesar 29,19%, untuk 3000rpm sebesar 29,81%, 4000rpm sebesar 30,42% dan 5000rpm sebesar 31,86% terhadap standar. Saat *muffler* mendapat panas dengan suhu 500°C maka prosentase penurunannya adalah, pada 1000rpm sebesar 41,67%, saat 2000rpm sebesar 47,85%, untuk 3000rpm sebesar 48,40%, 4000rpm sebesar 49,84% dan 5000rpm sebesar 49,03% terhadap standar.

SIMPULAN

Hasil optimum saat menggunakan *muffler* standar menghasilkan 4,99%CO dan HC sebesar 492ppm. Saat terpasang katalis untuk suhu 500°C sebesar 3,12% CO dan 104ppm HC. Prosentase penurunan optimum HC sebesar 49,69% dan 49,69% CO terhadap standar. Penurunan emisi gas buang terjadi saat suhu 500°C

DAFTAR PUSTAKA

- Ali M.2014 “*Catalytic Converter Jenis Plat Tembaga Berbentuk Sarang Lebah Untuk Mengurangi Emisi Kendaraan Bermotor*” Jurnal Gamma ISSN 2086-3071 September 2014. pp 104 – 108,
Anonim.1992. “*Buku Pedoman Kijang KF 40,50. P.T Toyota-Astra Motor Training Centre*”. Jakarta.

- Andi S., 2012. “*Analisa Variasi Temperatur Logam Katalis Tembaga (Cu) Pada Catalytic Converter Untuk Mereduksi Emisi Gas Karbon monoksida (CO) Dan Hidrokarbon (HC) Kendaraan Bermotor*”. Jurnal ROTOR, Volume 5 Nomor 1.
- Bagus I., Purwanto., Hadiyanto. 2013. “*Unjuk Kemampuan Katalis Tembaga Berlapis Mangan Dalam Mengurangi Emisi Gas Carbon Monoksida Motor Bensin*”. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan 2013. ISBN 978-602-17001-1-2 532 pp532-541
- Bahl B.S. Tuli. Bahl Arun. 2007. “*Essentials Of Physical Chemistri*”. S, Scand &Compnay LTD. New Dehli.
- Bapedal. 2002. “*Faktor Penyebab Meningkatnya Kadar Emisi Gas Buang*”. Jakarta
- Fogle, S. H. 1992. “*Elements of Chemical Reaction Engineering*”, Second Edition, The University of Michigan, Frentice-Hall International, Inc., USA
- Gempur Adnan. 2006. “*Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor.05 tahun 2006 Tentang Motor Lama*”. Jakarta
- M. Hasan A & Septi C S. 2016. “*Penggunaan Tembaga (Cu) sebagai Katalis pada Saluran Gas Buang Gasoline Engine dan Pengaruhnya terhadap Emisi Gas Buang yang dihasilkan*” Jurnal Integrasi Vol. 8, No. 1, April 2016, ISSN: 2085-3858 pp 34-36.
- Montgomery, Douglas C. 2004. *Design And Analysis of Experiments; second edition. John Wiley & Sons, New York.*
- Pulkrabek W. 1997. “*Engineering Fundamental of The Internal Combustion Engine*”. Pretice Hall International, INC.
- Yuniarto. 2017. “*Pengujian daya dan Emisi Gas Buang*”. Polinema Press. ISBN 078-602-6695-13-0
- Yuniarto. 2015. “*Penggunaan Zeolit Alam Untuk Mengurangi Emisi Gas Buang Pada Kendaraan Ringan*” Poseding Seminar Nasional Mechanical Fair. ISBN 978-602-7981-82-9 pp 741-749

RANCANG BANGUN SIMULASI ALAT PENGERING DENGAN MEMANFAATKAN PANAS BUANG RADIATOR SEBAGAI SUMBER ENERGI PANAS**I Kadek Ervan Hadi Wiryanta¹⁾, I Made Anom Adiaksa²⁾**

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negri Bali, Jalan Kampus Bukit Jimbaran, P.O Box
1064 Tuban, Badung, Bali
E-mail: ervanhw@pnb.ac.id

ABSTRACT

The purpose of this research was designing a dryer simulation using heat rejected from radiator as the heat source. In the design process an experimental analysis of radiator performance was investigated to know the potential of heat energy that can produce by the radiator. The radiator performances that investigated was the heat transfer rate at the air side radiator and the radiator effectiveness. The design process of the dryer simulation was carried out using an electric heater to boiling the water in the reservoir tank. The process of circulating hot water from the reservoir to the radiator was carried out using a pump with a flow rate of 30 liters / minute. The heat dissipation process on the radiator was carried out using a fan with a flow rate of 1 m /s. The results showed that the excess heat generated by the radiator will tend to increase with time. Average heat transfer rate is 3974.3 Watts, and the maximum heat transfer rate was 4680 Watt at 6 minutes. The effectiveness of the radiator () over time tends to increase with an average of $\eta = 0.3$ and the maximum value were 0.35 at 12 minutes.

Keywords: *design, dryer simulation, radiator, heat transfer rate, effectiveness.*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membuat sebuah rancang bangun simulasi alat pengering dengan memanfaatkan panas buang dari radiator sebagai sumber energi panasnya. Dalam proses rancang bangun ini dilakukan sebuah analisa secara eksperimental terhadap unjuk kerja radiator. Unjuk kerja yang diamati adalah besarnya laju perpindahan panas pada sisi udara dan juga efektivitas dari radiator. Analisa unjuk kerja dilakukan untuk dapat mengetahui besar potensi energi panas yang mampu dihasilkan oleh radiator tersebut. Proses rancang bangun alat simulasi pengering dilakukan dengan menggunakan sebuah heater listrik untuk memanaskan fluida berupa air pada tangki reservoir. Proses sirkulasi air panas dari reservoir menuju radiator dilakukan menggunakan sebuah pompa dengan debit aliran 30 liter/menit. Proses pembuangan panas pada radiator dilakukan dengan menggunakan kipas dengan kecepatan aliran udara 1 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa besar panas buang yang dihasilkan oleh radiator akan cenderung meningkat terhadap waktu. Laju perpindahan panas rata-rata yaitu 3974.3 Watt, dan besar laju perpindahan panas maksimum 4680 Watt pada waktu 6 menit. Efektivitas radiator (η) terhadap waktu cenderung meningkat dengan rata-rata $\eta = 0.3$ dan nilai efektivitas maksimum diperoleh pada waktu 12 menit yaitu sebesar 0.35.

Kata Kunci: *rancang bangun, simulasi pengering, radiator, laju perpindahan panas, efektivitas,*

PENDAHULUAN

Radiator merupakan sebuah alat penukar kalor sederhana (*compact heat exchanger*) yang digunakan untuk memindahkan energi panas dari satu media ke media lainnya dengan tujuan untuk melakukan pendinginan pada media/fluida kerjanya. Sebagai alat penukar kalor, radiator akan bekerja dengan cara mentransfer beda temperatur dari dua buah fluida yang berbeda. Selain sebagai alat untuk mendinginkan, radiator sebagai alat penukar kalor juga mempunyai hasil buangan berupa udara panas. Ini diperoleh dari transfer panas oleh bagian sirip radiator ke udara/lingkungan. Hasil panas buang yang dihasilkan oleh radiator merupakan sebuah sumber panas yang cukup potensial untuk dimanfaatkan kembali, baik sebagai pemanas udara, pengering dan lain sebagainya, sehingga dapat bermanfaat bagi masyarakat luas.

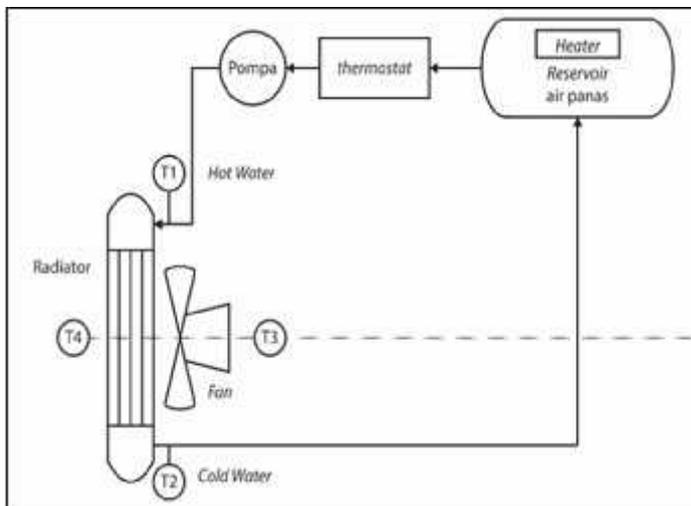
Untuk dapat membuat sebuah alat pengering dengan memanfaatkan panas buang dari radiator, perlu dilakukan investigasi terlebih dahulu terhadap performa/unjuk kerja dari radiator. Hal ini penting dilakukan agar dalam rancang bangun alat pengering dengan menggunakan panas buang dari radiator nantinya bisa tepat dan optimal. Beberapa penelitian tentang analisa unjuk kerja radiator telah dilakukan, kajian termal terhadap unjuk kerja dari radiator mobil dengan menggunakan nanofluid berupa *ethylene glycol/copper* sebagai fluida kerja radiator menunjukkan bahwa koefisien perpindahan panas total pada sisi udara radiator akan mengalami peningkatan dengan penambahan nanofluid sebesar 0 - 5 %. (**Sheikhzadeh, 2014**). Pada penelitian terhadap radiator mobil dengan *Multi-walled carbon nanotubes*, dapat diketahui dimana dengan peningkatan konsentrasi nano partikel maka laju perpindahan panas akan menurun. (**Oliveira, GA, 2016**). Penelitian secara eksperimental pada radiator panel juga telah dilakukan, dengan memvariasikan suhu air panas masuk, posisi sambungan, dan laju alir massa air pemanas. Dari penelitian diketahui bahwa panas buang yang dihasilkan akan meningkat secara linear dengan kenaikan temperatur air masuk untuk semua kondisi sambungan. (**Calisir, T., 2015**). Penelitian terhadap unjuk kerja radiator juga dilakukan secara numeric dengan pemodelan CFD, diantaranya dengan memvariasikan jenis nano-fluida kerja dan juga modifikasi terhadap radiator dengan penambahan *louvered fin*. (**Niveditha, V., 2016** dan **Sagar, P. Vijaya, 2015**.)

Dari uraian tentang unjuk kerja radiator tersebut, menarik untuk dibuat sebuah rancangan alat simulasi teknologi tepat guna berupa alat pengering dengan memanfaatkan

panas buang dari radiator sebagai sumber energi panas, yang nantinya bisa bermanfaat bagi masyarakat. Adapun radiator yang digunakan adalah sebuah radiator mobil bekas pakai, dengan menggunakan air sebagai fluida kerjanya.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan membuat sebuah rancangan simulasi alat pengering yang terdiri dari sebuah radiator bekas type *tube and fins*, tangki *reservoir* air, *heater*, pompa air panas, thermostat, dan kipas pendingin. Skema dari alat eksperimen seperti pada gambar 1.



- Keterangan :
1. *Heater* sebagai sumber pemanas air
 2. *Reservoir* sebagai tempat penampung air yang disirkulasikan.
 3. *Thermostat*, mengatur *on/off heater*.
 4. Pompa, untuk mensirkulasikan air panas ke radiator.
 5. Kipas/fan, menghembuskan udara pendingin.
 6. T₁ = thermocouple 1, suhu air masuk ke radiator.
 7. T₂ = thermocouple 2, suhu air keluar radiator.
 8. T₃ = thermocouple 3, suhu udara sebelum radiator.
 9. T₄ = thermocouple 4, suhu udara setelah melewati radiator.

Gambar 1 Skema rancangan penelitian

Spesifikasi dari radiator yang digunakan seperti pada Tabel 1 berikut.

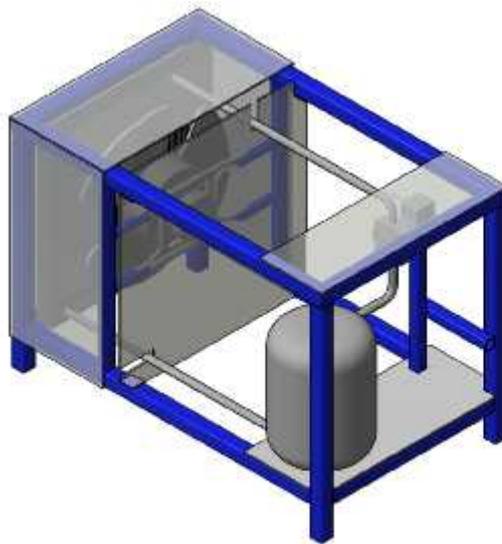
Tabel 1. Spesifikasi radiator

No	Data	Nilai
1.	Tipe radiator	<i>Compact heat exchanger- circular tube continuous fin</i>
2.	Volume Radiator	P x L x T= 500mm x 30 mm x 550 mm
3.	Diameter <i>tube</i>	10 mm
4.	Panjang <i>tube</i>	330 mm
5.	Jumlah baris <i>tube</i>	2
6.	Jumlah <i>tube</i> tiap baris	22
7.	Jarak antar <i>tube</i>	11 mm
8.	Jumlah tube arah transversal	2
9.	Jumlah tube arah longitudinal	22

Pompa yang digunakan pada penelitian ini adalah pompa air panas dengan debit aliran 30 /menit. Heater yang digunakan menggunakan daya 1200 Watt dan kecepatan kipas pendingin dari radiator adalah 1 m/s. Rangka dibuat dari besi L, untuk pipa saluran air digunakan pipa ukuran 1 inch dan diisolasi sempurna agar tidak ada panas yang keluar dari pipa-pipa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari rancang bangun alat simulasi pengering seperti pada gambar 2 berikut



Gambar 2 Rancangan Simulasi Alat Pengering

Untuk mengetahui unjuk kerja dari rancangan alat simulasi yang telah dibuat, dilakukan pengujian untuk menganalisa temperatur panas buang yang mampu dihasilkan, besarnya laju perpindahan panas, dan juga efektivitas dari radiator. Pengujian dilakukan dengan menggunakan air sebagai fluida kerja. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2 berikut

Tabel 2. Hasil pengujian radiator pada simulasi alat pengering

NO	Waktu (menit)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)
1	0	80	58	29	35,5
2	2	79,4	57,4	29	39,4
3	4	79,3	57,3	29	40,0
4	6	78,7	57,0	29	43,6
5	8	77,3	56,5	29	43,6
6	10	76,6	55,8	29	44,3
7	12	75,6	55,5	29	43,4
8	14	74,5	55,3	29	43,4

9	16	73,4	54,9	29	42,9
10	18	71,7	53,3	29	43,4
11	20	70,8	53,3	29	43,4
12	22	70,1	52,0	29	43,4
13	24	69,7	51,9	29	43,2
14	26	69,6	51,6	29	42,9
15	28	69,5	51,4	29	42,7
16	30	69,3	51,3	29	42,5

Perhitungan unjuk kerja radiator dari hasil data tersebut dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan dari analisa *compact heat exchanger* (Incropera, 2011).

- Laju perpindahan panas sisi udara (q_{cold}) :

$$q_{cold} = h_{cold} \cdot A_{cold} (T_{cin} - T_{cout}) \tag{1}$$

dimana :

$$h_{cold} = St \cdot G \cdot Cp \tag{2}$$

- Efektivitas radiator (ε) :

$$\epsilon = \frac{q_c}{q_{max}} = \frac{C_h (Th_i - Th_o)}{T_{min} (Th_i - T_{c,i})} = \frac{C_c (T_{c,o} - T_{c,i})}{C_{min} (Th_i - T_{c,i})} \tag{3}$$

Dimana :

$$q_{max} = C_{min} \cdot (Th_i - T_{c,i}) \tag{4}$$

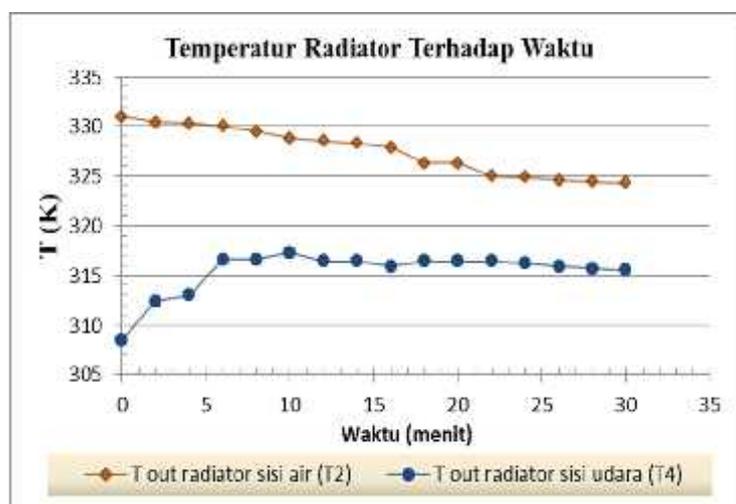
untuk menentukan nilai C_{min}, dipilih dari nilai C yang lebih kecil antara Chot (sisi air) dan Ccold (sisi udara), dimana C_{cold} = m_c · Cp_c and Ch = m_h · Cp_h

Hasil analisa unjuk kerja dari radiator ditunjukkan pada Tabel 3 berikut

Tabel 3. Unjuk kerja radiator

NO	Waktu (menit)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	q _c (Watt)	
1	0	80	58	29	35,5	2072,2	0,13
2	2	79,4	57,4	29	39,4	3227,0	0,20
3	4	79,3	57,3	29	40,0	3407,8	0,22
4	6	78,7	57,0	29	43,6	4475,3	0,29
5	8	77,3	56,5	29	43,6	4475,3	0,30
6	10	76,6	55,8	29	44,3	4680,0	0,32
7	12	75,6	55,5	29	43,4	4416,5	0,31
8	14	74,5	55,3	29	43,4	4416,5	0,31
9	16	73,4	54,9	29	42,9	4257,9	0,31
10	18	71,7	53,3	29	43,4	4020,6	0,33
11	20	70,8	53,3	29	43,4	4020,6	0,34
12	22	70,1	52,0	29	43,4	4020,6	0,35
13	24	69,7	51,9	29	43,2	4352,5	0,35
14	26	69,6	51,6	29	42,9	4269,1	0,34
15	28	69,5	51,4	29	42,7	4208,0	0,34
16	30	69,3	51,3	29	42,5	4151,4	0,33

Hasil analisa unjuk kerja radiator tersebut ditunjukkan pada **Gambar 3**, **Gambar 4**, dan **Gambar 5**. Hasil tersebut menunjukkan bahwa suhu keluar radiator di sisi udara (T_4) pada awalnya meningkat, Suhu akan mulai stabil setelah 5 menit kerja radiator sekitar 316 K. Temperatur keluaran radiator di sisi air (T_2) pada awalnya awalnya tinggi, ini karena radiator baru mulai mulai bekerja untuk mentransfer panas ke lingkungan, suhu akan cenderung stabil di kisaran 325 K setelah 18 menit bekerja. Hal ini menunjukkan bahwa proses disipasi panas dari radiator telah berjalan cukup baik, dimana panas dari air akan dibuang ke lingkungan oleh radiator sehingga suhu air akan cenderung stabil.

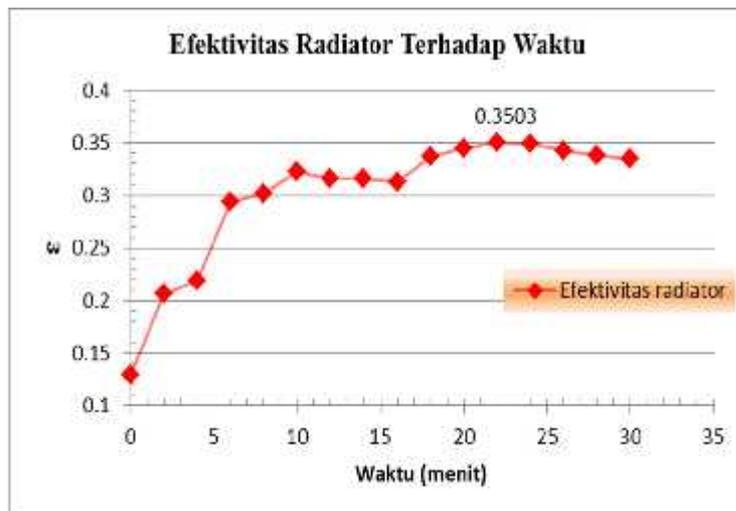


Gambar 3 Grafik temperatur radiator terhadap waktu

Laju perpindahan panas pada radiator sisi udara (q_{cold}) dan efektivitas radiator terhadap waktu juga dikaji. **Gambar 3** menunjukkan bahwa pada awalnya, laju perpindahan panas akan meningkat, dan akan cenderung stabil pada kisaran 3947,3 watt, dengan nilai maksimum q_c 4680 watt, setelah 10 menit bekerja. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan hasil temperatur keluar radiator pada sisi udara (T_4). **Gambar 4** menunjukkan efektivitas radiator terhadap waktu, dimana dapat diketahui bahwa efektivitas radiator () cenderung meningkat pada awal, dan setelah 17 menit akan cenderung stabil. Hal ini menunjukkan bahwa radiator yang digunakan pada sistem simulasi pengering bekerja dengan cukup baik. Radiator mampu menghasilkan panas yang signifikan (udara panas) untuk dapat digunakan sebagai sumber panas untuk sistem pengering. Efektivitas radiator maksimum adalah 0,35 dengan rata-rata sebesar 0,3.



Gambar 4 Grafik laju perpindahan panas sisi udara radiator terhadap waktu



Gambar 5 Efektivitas radiator terhadap waktu

SIMPULAN

Dari hasil rancang bangun alat simulasi pengering yang telah dilakukan , menunjukkan bahwa pemanfaatan radiator sebagai sumber energi panas dapat dilakukan dengan baik. Efektivitas radiator dan perpindahan panas sisi udara menunjukkan kesesuaian hasil dengan suhu udara yang dihasilkan radiator pada sisi udara. Tingkat perpindahan panas di sisi udara (q_c) meningkat dari waktu ke waktu dengan rata-rata q_c 3947,3 watt dan nilai maksimum 4680 watt. Efektivitas radiator pada sistem simulasi rata-rata antara 0,3 sampai nilai maksimum 0,35. Panas buang yang dihasilkan oleh radiator dalam simulasi pengering cenderung meningkat pada awalnya dari waktu ke waktu dan

akan cenderung stabil setelah menit ke-5 yaitu sekitar 316 K dengan suhu maksimum 317 K.

Dari hasil analisis eksperimental dalam penelitian ini, dapat disarankan beberapa hal untuk meningkatkan kinerja alat pengering. Yang pertama adalah perbaikan pada perancangan sistem, mengoptimalkan kecepatan kipas pendingin dan juga mengoptimalkan laju alir air panas dari reservoir ke radiator sehingga radiator dapat lebih optimal dalam membuang panas ke lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Calisir, T., 2015, "Experimental investigation of panel radiator heat output enhancement for efficient thermal use under actual operating conditions" EPJ Web of Conferences. 92, 02010.
- Holman, JP, 1986, "Heat Transfer Sixth Edition" McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Incropera, Frank.P, David P. Dewitt, 2011, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer Seventh Edition," John Wiley & Son, New York.
- Niveditha, V., 2016, "Thermal Analysis of Radiator with Different Nano Fluids" *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, Vol. 4 / IX : 143 - 148.
- Oliveira, GA, 2016, "Experimental Study on the Heat Transfer of MWCNT / Nanofluid Flowing Water in a Car Radiator". *Applied Thermal Engineering*.
- Sagar, P. Vijaya, 2015, "Thermal Analysis of an Automobile Radiator With and Without Louvered Fins" *Proceedings of International Conference on Recent Trends in Mechanical Engineering - 2K 15*. Vol. 2, No.1 : 219 - 223.
- Sheikhzadeh, 2014, "Analysis of Thermal Performance of a Car Radiator Employing Nanofluid", *International Journal of Mechanical Engineering and Applications*. Vol.2 (4), Pages: 47 - 51.

**INCREMENTAL BACKWARD HOLE-FLANGING PELAT TEMBAGA
MELALUI JALUR PEMBENTUKAN SPIRAL**Imam Mashudi¹⁾, Agus Hardjito²⁾, Agus Dani³⁾^{1,2,3)} Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141¹⁾ imam.mashudi.polinema@gmail.com²⁾ likyas9@yahoo.co.id³⁾ agus_dani@yahoo.co.id**Abstract**

Needs to improve construction efficiency, lower costs, energy savings, and environmentally friendly requirements, lightweight construction usage will continue to increase. Light construction of a series of thin profiles is confronted with the selection of appropriate fastening methods. The process of fastening the thin profile with the other part through drilling process followed by the process of threading or brazing will not provide enough strength because of insufficient fastening area. The latest publication has discussed the process of forming flange around the holes in plate components through incremental sheet forming (ISF) with simple forming tool driven by CNC machines without using molds as an alternative to traditional holes flanging requiring dedicated tool and mold in the form of flange profile which are desired. Many studies have been done on ISF technology in forward direction with various tool path strategies. There has not been much research to study the formation of flange in incremental backward hole flanging (IBHF) of thin plates or closed profiles. This research focuses on how geometrical form of the multipurpose flange forming tool, the effect of process variables and tool geometry on IBHF copper plates through a spiral incremental tool path strategy. The research yielded the results of a simple tool geometry with curvature that enabled the successful formation of flange through a spiral path strategy. From the data processing, the result of the research showed that the variable of horizontal direction formation step, the rate of formation, the rotation of the forming tool, and the shape forming radius affect the height of the flange resulted from the IBHF process.

Key Words: hole-flanging, incremental sheet forming, incremental backward, spiral path

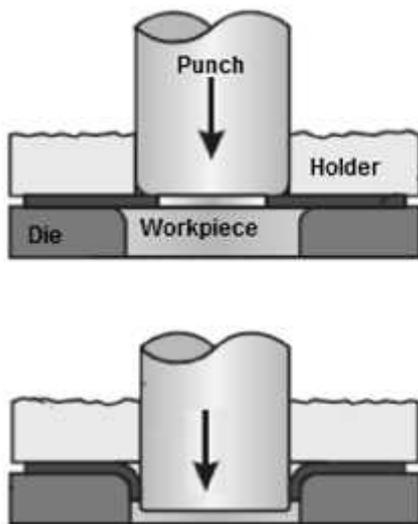
Abstrak

Kebutuhan meningkatkan efisiensi konstruksi, menekan biaya, penghematan energi, dan persyaratan ramah lingkungan, pemakaian konstruksi ringan akan terus meningkat. Konstruksi ringan dari rangkaian profil tipis dihadapkan pada pemilihan metode pengikatan yang tepat. Proses pengikatan profil tipis dengan bagian lainnya melalui proses pengeboran dan proses penguliran atau proses brasing tidak akan cukup memberikan kekuatan oleh karena tidak tersedianya cukup luasan pengikatan. Publikasi terbaru telah membahas proses pembentukan flensa, *hole flanging*, di seputar lubang pada komponen pelat melalui *incremental sheet forming* (ISF) dengan pahat pembentuk sederhana dijalankan dengan mesin CNC tanpa menggunakan cetakan sebagai alternatif dari *hole flanging* tradisional yang memerlukan pahat dan cetakan tertentu sesuai bentuk flensa yang diinginkan. Penelitian-penelitian telah banyak dilakukan pada teknologi ISF arah maju (*forward*) dengan berbagai strategi lintasan dari pahat pembentuk. Belum banyak dilakukan penelitian yang memungkinkan pembentukan flensa arah keluar (*incremental backward hole flanging*, IBHF) dari pelat tipis atau profil tertutup. Penelitian ini memfokuskan bagaimana bentuk pahat multi guna, pengaruh variabel proses dan geometri pahat pada IBHF pelat tembaga melalui strategi lintasan inkremental *spiral*. Penelitian memberikan hasil diperolehnya geometri pahat sederhana dengan lengkungan yang memungkinkan berhasil terbentuknya flensa melalui strategi lintasan spiral. Dari pengolahan data hasil penelitian diperoleh hasil variabel langkah pembentukan arah horisontal, laju pembentukan, putaran alat pembentuk, dan radius pahat pembentuk mempengaruhi ketinggian flensa hasil proses IBHF.

Key Words: *hole-flanging*, *incremental sheet forming*, *incremental backward*, lintasan spiral

PENDAHULUAN

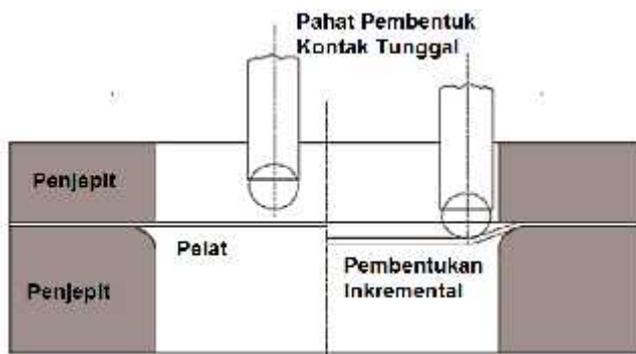
Kebutuhan untuk menekan biaya, meningkatkan efisiensi konstruksi, penghematan energy, dan persyaratan ramah lingkungan, pemakaian konstruksi ringan yang terbuat dari profil dinding tipis akan terus meningkat. Konstruksi ringan yang terbentuk dari rangkaian profil tipis akan dihadapkan pada pemilihan metode pengikatan yang tepat. Proses pengikatan bagian konstruksi profil tipis dengan bagian lainnya yang dicapai melalui proses pengeboran dan proses penguliran atau proses brasing tidak akan cukup memberikan kekuatan pengikatan oleh karena tidak tersedianya cukup luasan flensa di seputar lubang. Pembentukan flensa untuk profil terbuka dapat dicapai dengan mudah melalui *hole-flanging* konvensional dengan menempatkan pelat berlubang awal pada *die*, kemudian menekannya dengan *punch* bentuk silinder dalam sekali jalan arah maju, Gambar 1 [Schuler GmbH, 1998].



Gambar 1. *Hole-flanging* Konvensional

Penerapan *hole-flanging* konvensional hanya cocok untuk produksi massal dengan bentuk lubang yang sederhana. Proses ini sulit untuk memenuhi kebutuhan produk dengan jumlah sedikit dengan bentuk lubang yang kompleks dalam waktu yang cepat. Profil lubang kompleks akan dibutuhkan bentuk *punch* dan *die* yang kompleks, biaya pembentukan *punch* dan *die* yang mahal dengan waktu pembuatan yang lama. Pada tahun era 2000-an berkembang pendekatan teknologi baru proses pembentukan pelat yang dikenal dengan *incremental sheet forming* (ISF) [Tekkaya, A. E. et al., 2015]. Tidak seperti halnya pada proses *sheet metal forming* konvensional yang membutuhkan *punch* dan *die* yang khusus didedikasikan untuk mendapatkan bentuk tertentu, pada ISF ini

memungkinkan pembentukan flensa dengan alat pembentuk sederhana yang tidak tergantung pada kompleksitas bentuk lubangnya pada gerakan arah maju atau mundur. Kosep dasar proses pembentukan pelat metode ISF menggunakan pahat dengan bentuk bola dipasang pada mesin CNC kemudian digerakkan menekan pelat secara terprogram melalui lintasan tertentu yang dirancang dengan CAD/CAM. Pahat pembentuk menekan secara inkremental pada pelat sampai bentuk akhir produk dicapai, Gambar 2 [Kopac, J. et al., 2005].



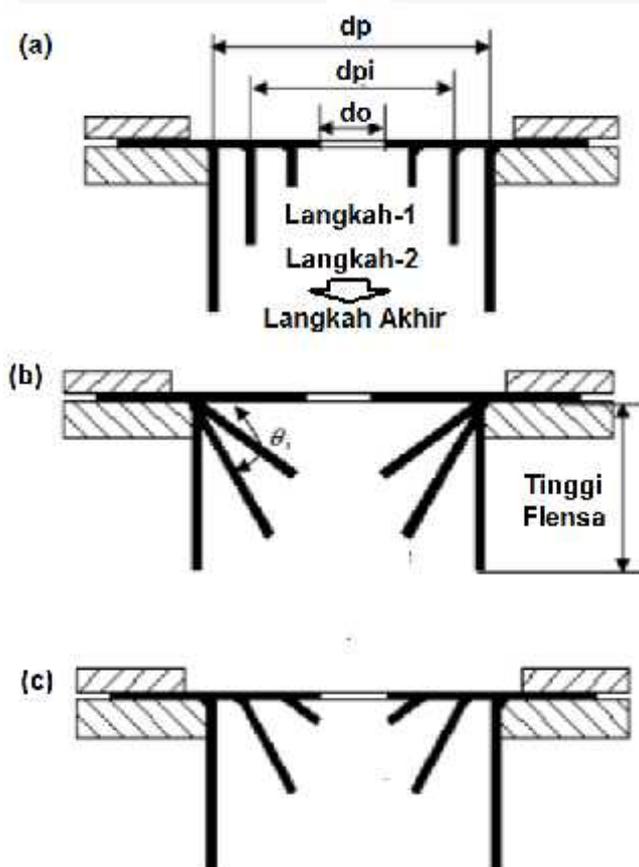
Gambar 2. Pemebentukan Pelat Secara Inkremental

Proses ISF mempunyai banyak keuntungan diantaranya [Cui, Z. et al., 2010]:

- Kemampuan produksi yang cepat dan murah untuk menghasilkan prototipe dan komponen dengan volume rendah, karena menghilangkan proses pembuatan dan konstruksi bentuk *die*.
- Kemampuan untuk membentuk geometri lebih kompleks daripada yang bisa dibuat dengan menggunakan teknologi *hole-flanging* konvensional.
- Bentuk dan dimensi dapat dikontrol dengan mengubah parameter seperti step dari lintasan gerakan pahat, diameter pahat, dan kecepatan pembentukan.
- Batas formasi yang lebih tinggi dapat dicapai dari pada proses *hole-flanging* konvensional.
- Metode ISF hanya memerlukan satu alat penjepit dan satu alat pembentuk, dibandingkan dengan kebutuhan bermacam-macam die dan punch untuk tahap pembentukan yang berbeda dalam proses pembentukan logam konvensional.

Strategi lintasan gerak pahat pembentuk untuk mendapatkan ketinggian flensa dalam *Incremental Forward Hole Flanging* (IFHF) telah menjadi perhatian oleh beberapa peneliti. Tiga strategi pembentukan telah dikembangkan untuk mengoptimalkan proses

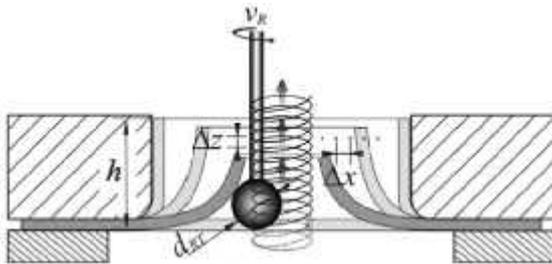
IFHF, Gambar 3 [Bambach, M. et al., 2014, Cui, Z. et al., 2010]. Strategi (a), pelat pembentuk mulai menekan pelat satu step dari diameter lubang awal, d_o , bergerak inkremental pada lintasan helikal ke arah maju dengan besar putaran, laju pembentukan, dan step spiral yang terprogram. Pahat pembentuk kemudian di tarik kembali sampai di atas permukaan pelat kemudian digeser menuju diameter berikutnya, d_i . Proses diulang sampai dicapai diameter akhir, d_p , yang diperlukan. Strategi (b), pahat pembentuk mulai menekan pada diameter akhir, d_p , dengan inkremental sudut pembentukan sebesar θ_i . Pahat digerakkan melalui lintasan spiral-helikel ke arah maju sampai akhir lintasan pada sudut awal pembentukan θ_i dengan besar putaran, laju pembentukan, dan step spiral yang terprogram. Dengan sudut θ_i semakin besar proses dilakukan berulang sampai dicapai sudut 90° dengan diameter akhir d_p . Strategi (c), merupakan kombinasi dari strategi (a) dan strategi (b).



Gambar 3. Strategi Lintasan Pahat

Petek, A. et al. [2012] melakukan penelitian *Incremental Backward Hole Flanging*. IBHF, menggunakan pahat pembentuk berujung bola dengan diameter badan pahat dibuat lebih kecil dari diameter bola. Pahat digerakkan vertikal di bawah pelat kemudian

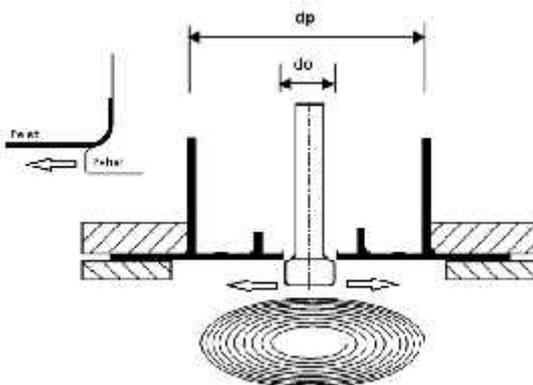
digerakkan satu step arah horisontal lebih besar dari diameter awal pelat. Melalui lintasan helikal pahat pembentuk digerakkan membengkokkan pelat arah vertikal dengan besar putaran, step vetikal, step horisontal, dan laju pembentukan yang terprogram, Gambar 4. Gerakan ini diulang-ulang sampai diameter akhir dicapai.



Gambar 4. IBHF dengan Lintasan Helikal

Mashudi, I. et al. [2015], melakukan penelitian model empiris ketinggian flensa pada IBHF pelat aluminium dengan pahat pembentuk berujung konis dengan strategi lintasan pembentukan helikal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketinggian flensa sangat dipengaruhi oleh langkah pembentukan arah vertikal dan langkah pembentukan arah horisontal.

Strategi pembentuk melalui lintasan murni helikal atau kombinasi incremental helikal-spiral akan diperlukan waktu yang lama untuk mencapai ukuran diameter akhir, d_p , oleh karena diperlukan gerakan horisontal dan vertikal yang berulang-ulang. Strategi pembentukan yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan pahat pembentuk dengan pundak melengkung dengan radius tertentu yang bergerak melalui lintasan spiral untuk mendorong pelat arah horisontal secara incremental yang akan membengkokkan pelat ke arah mundur oleh karena adanya lengkung dengan lintasan spiral sampai dicapai d_p , Gambar 5.



Gambar 5. IBHF dengan Lintasan Spiral

Oleh karena ketinggian flensa dihasilkan pada lintasan horisontal maka strategi ini akan memungkinkan mempercepat pembentukan ketinggian flensa. Penelitian memfokuskan pada bagaimana pengaruh variabel proses dan geometri dasar pahat pembentuk pada IBHF pelat tembaga untuk menghasilkan ketinggian flensa. Pemilihan bahan tembaga dimaksudkan untuk segera dapat memberikan hasil penelitian yang langsung dapat diterapkan dalam bidang peralatan pemanas dan pendinginan yang umumnya memakai pipa-pipa dari bahan tembaga untuk mendistribusikan fluida pemanas atau pendinginnya.

METODE PENELITIAN

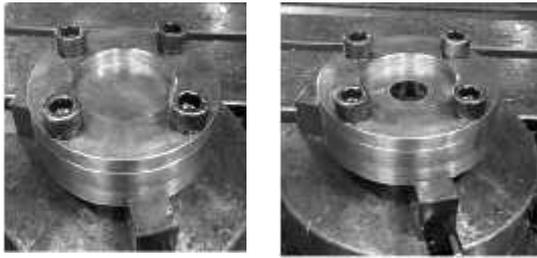
Rancangan penelitian menggunakan disain faktorial dua replikasi digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel radius lengkungan pundak pahat pembentuk (rd , mm), variabel langkah pembentukan arah horisontal (ah , mm), variabel laju pembentukan (vf , mm/menit), putaran alat pembentuk (n , put/menit), dan semua interaksinya terhadap ketinggian flensa hasil proses IBHF, Tabel 1. Program paket statistik MINITAB, versi 14 digunakan untuk mengolah data pengamatan yang diperoleh.

Tabel 1. Variabel dan Level

No	Variabel	-	+
1	rd = Radius pahat pembentuk, mm	2.5	3.5
2	ah = Langkah pembentukan arah horisontal, mm	0.5	1.0
3	vf = Laju pembentukan, mm/menit	100	200
4	n = Putaran pahat, putaran/menit	100	300

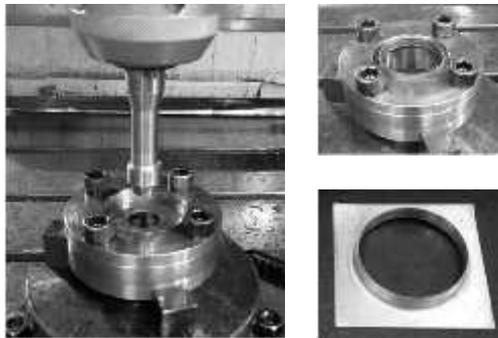
Benda uji dari lembaran pelat tembaga tebal 1 mm dipotong-potong berukuran 53 mm x 53 mm dengan mesin potong pelat. Pahat pembentuk dibuat dari baja karbon diameter pundak 22 mm dengan radius luar pundak 1 mm, diameter bodi pahat pembentuk 16 mm dengan radius pundak pahat pembentuk 2.5 mm dan 3.5 mm, Gambar 7, dengan mesin bubut CNC. Proses pembentukan ketinggian flensa dilakukan di mesin freis CNC.

Benda uji dipasang pada alat bantu penjepit yang sudah didesain mampu menjepit benda uji dengan sempurna, Gambar 6. Setelah benda uji terjepit dengan sempurna, selanjutnya dilakukan proses pelubangan untuk mendapatkan lubang awal dengan menggunakan pahat *end mill* untuk menghasilkan lubang awal sebesar 22 mm.



Gambar 6. Pelubangan Benda Uji

Setelah benda uji selesai dilakukan proses pelubangan awal dengan diameter 22 mm dengan pahat *end mill*, kemudian benda uji dilakukan proses pembentukan dengan IBHF untuk mendapatkan ketinggian flensa dengan diameter akhir 33 mm, Gambar 7.



Gambar 7. Proses Pembentukan dan Hasil Ketinggian Flensa

HASIL DAN PEMBAHASAN

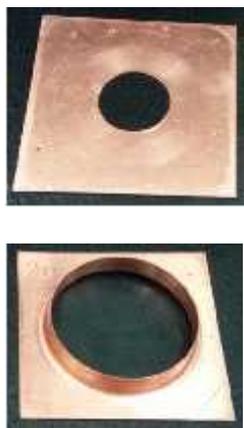
Mistar sorong digital dengan kecermatan 0.01 mm digunakan untuk mengukur ketinggian flensa, Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengamatan.

No	rd	ah	vf	n	y
1	2.5	0.5	100	100	9.58
2	3.5	0.5	100	100	9.37
3	2.5	1.0	100	100	9.08
4	3.5	1.0	100	100	9.41
5	2.5	0.5	200	100	9.38
6	3.5	0.5	200	100	9.34
7	2.5	1.0	200	100	9.07
8	3.5	1.0	200	100	9.60
9	2.5	0.5	100	300	9.21
10	3.5	0.5	100	300	8.66
11	2.5	1.0	100	300	9.25
12	3.5	1.0	100	300	9.27
13	2.5	0.5	200	300	9.30
14	3.5	0.5	200	300	9.44

15	2.5	1.0	200	300	9.31
16	3.5	1.0	200	300	9.23
17	2.5	0.5	100	100	9.23
18	3.5	0.5	100	100	9.49
19	2.5	1.0	100	100	9.04
20	3.5	1.0	100	100	9.49
21	2.5	0.5	200	100	9.34
22	3.5	0.5	200	100	9.68
23	2.5	1.0	200	100	9.18
24	3.5	1.0	200	100	9.51
25	2.5	0.5	100	300	9.18
26	3.5	0.5	100	300	8.98
27	2.5	1.0	100	300	9.30
28	3.5	1.0	100	300	9.33
29	2.5	0.5	200	300	9.33
30	3.5	0.5	200	300	9.44
31	2.5	1.0	200	300	9.25
32	3.5	1.0	200	300	9.43

Dari data pengamatan, Tabel 2., diperoleh hasil utama bahwa desain pahat pembentuk dengan ujung berpundak melengkung dengan radius tertentu yang digerakkan melalui lintasan spiral murni, Gambar 5, mampu menghasilkan ketinggian flensa, Gambar 8, dengan variasi ketinggian flensa sesuai variabel proses dan geometri pahat yang ditentukan. Penemuan ini menjadi penting oleh karena dengan proses pembentukan melalui strategi lintasan murni spiral akan membuka kesempatan untuk mempercepat proses pembentukan ketinggian flensa. Selanjutnya untuk menentukan seberapa signifikan pengaruh variabel-variabel tersebut terhadap ketinggian flensa digunakan program statistik MINITAB.



Gambar 8. Hasil Ketinggian Flensa dengan IBHF

Hasil lain dari penelitian ini dari pengolahan data pengamatan melalui tinjauan statistik melalui analisa faktorial dengan melibatkan semua fator utama dan semua interaksinya diperoleh gambaran signifikasi dari semua variabel utama dan semua interaksinya terhadap ketinggian flensa, pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengolahan Hasil Pengamatan pada Orde 4.

Factorial Fit: y versus rd, ah, vf, n						
Estimated Effects and Coefficients for y (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		9.29375	0.01757	528.88	0.000	
rd	0.12125	0.06062	0.01757	3.45	0.003	
ah	0.00625	0.00312	0.01757	0.18	0.861	
vf	0.14125	0.07063	0.01757	4.02	0.001	
n	-0.09875	-0.04937	0.01757	-2.81	0.013	
rd*ah	0.10250	0.05125	0.01757	2.92	0.010	
rd*vf	0.06750	0.03375	0.01757	1.92	0.073	
rd*n	-0.16500	-0.08250	0.01757	-4.69	0.000	
ah*vf	-0.09000	-0.04500	0.01757	-2.56	0.021	
ah*n	0.09750	0.04875	0.01757	2.77	0.014	
vf*n	0.05250	0.02625	0.01757	1.49	0.155	
rd*ah*vf	-0.05125	-0.02562	0.01757	-1.46	0.164	
rd*ah*n	-0.02125	-0.01063	0.01757	-0.60	0.554	
rd*vf*n	0.06375	0.03188	0.01757	1.81	0.088	
ah*vf*n	-0.08625	-0.04312	0.01757	-2.45	0.026	
rd*ah*vf*n	-0.06750	-0.03375	0.01757	-1.92	0.073	
S = 0.0994045 R-Sq = 86.46% R-Sq(adj) = 73.77%						
Analysis of Variance for y (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	0.35555	0.355550	0.088887	9.00	0.001
2-Way Interactions	6	0.50120	0.501200	0.083533	8.45	0.000
3-Way Interactions	4	0.11665	0.116650	0.029162	2.95	0.053
4-Way Interactions	1	0.03645	0.036450	0.036450	3.69	0.073
Residual Error	16	0.15810	0.158100	0.009881		
Pure Error	16	0.15810	0.158100	0.009881		
Total	31	1.16795				

Dari pengamatan hasil pengolahan pada Tabel 3. diperoleh bahwa Sedangkan variabel interaksi rd*ah, rd*n, ah*vf, ah*n, dan ah*vf*n yang semuanya melibatkan variabel utama rd, ah, af, dan n, menunjukkan secara signifikan mempengaruhi ketinggian flensa dengan masing-masing *p-value* kurang dari 0.05. Sedangkan variabel interaksi variabel interaksi (rd*vf), (vf*n), (rd*ah*vf), (rd*ah*n), (rd*vf*n), dan (rd*ah*vf*n) dengan didukung data statistik dengan masing-masing nilai *p-value* lebih besar dari 0.05 yang memberikan indikasi bahwa faktor-faktor tersebut tidak signifikan mempengaruhi ketinggian flensa. Dengan menghilangkan faktor-faktor interaksi yang tidak mempengaruhi ketinggian flensa tersebut diperoleh hasil Tabel 4.

Tabel 4. Pengolahan Hasil Pengamatan pada Orde 3.

Factorial Fit: y versus rd, ah, vf, n						
Estimated Effects and Coefficients for y (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		9.29375	0.02099	442.76	0.000	
rd	0.12125	0.06062	0.02099	2.89	0.009	
ah	0.00625	0.00312	0.02099	0.15	0.883	
vf	0.14125	0.07063	0.02099	3.36	0.003	
n	-0.09875	-0.04937	0.02099	-2.35	0.028	
rd*ah	0.10250	0.05125	0.02099	2.44	0.023	
rd*n	-0.16500	-0.08250	0.02099	-3.93	0.001	
ah*vf	-0.09000	-0.04500	0.02099	-2.14	0.043	
ah*n	0.09750	0.04875	0.02099	2.32	0.030	
ah*vf*n	-0.08625	-0.04312	0.02099	-2.05	0.052	
S = 0.118741 R-Sq = 73.44% R-Sq(adj) = 62.58%						
Analysis of Variance for y (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	0.35555	0.35555	0.088887	6.30	0.002
2-Way Interactions	4	0.44270	0.44270	0.110675	7.85	0.000
3-Way Interactions	1	0.05951	0.05951	0.059512	4.22	0.052
Residual Error	22	0.31019	0.31019	0.014099		
Lack of Fit	6	0.15209	0.15209	0.025348	2.57	0.062
Pure Error	16	0.15810	0.15810	0.009881		
Total	31	1.16795				

Dari pengamatan hasil pengolahan pada Tabel 4., diperoleh bahwa faktor rd, ah, vf, dan n dengan didukung data statistik mempengaruhi hasil ketinggian flensa. Untuk faktor utama ah mempunyai *p-value* melebihi 0.05 tetapi dengan memperhatikan interaksinya faktor vf dan n dengan masing-masing *p-value* kurang dari 0.05 memberikan penguatan bahwa faktor utama, ah, juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ketinggian flensa.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian awal ini diperoleh simpulan utama bahwa penggunaan pahat pembentuk dengan ujung berpundak melengkung yang digerakkan melalui strategi lintasan spiral murni mampu menghasil ketinggian flensa. Dengan pengolahan data pengamatan diperoleh simpulan tambahan bahwa variabel radius (rd, mm) alat pembentuk, variabel langkah pembentukan arah horisontal (ah, mm), variabel laju pembentukan (vf, mm/menit), dan variabel putaran alat pembentuk (n, put/menit) mempengaruhi ketinggian kerah hasil proses IBHF. Dari perolehan beberapa kesimpulan diatas maka diperlukan penelitian lanjutan yang lebih mendalam dengan range level faktor yang lebih lebar untuk mendapatkan nilai-nilai kritis (batas atas dan batas

bawahnya) untuk memperluas jangkauan aplikasinya, ditemukannya desain terbaik dari bentuk geometri pahat pembentuk, dan ditemukannya model empiris dari ketinggian flensa dari semua variabel yang mempengaruhinya.

SAMPAIAN TERIMA KASIH

Sampaiian terima kasih kepada Dirjen Dikti atas pendanaa yang disetujui. Sampaiian terima kasih juga kepada Kepala Laboratorium CNC, Kepala Laboratorium Metrologi Industri, dan Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang atas ijin dan bantuannya sehingga penelitian ini berhasil dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bambach, M., Holger, W., Gerhard, H. (2014), A new process design for performing hole-flanging operations by incremental sheet forming, *11th International Conference on Technology of Plasticity*, ICTP 2014, Nagoya Congress Center, Nagoya, Japan. Elsevier
- Cui, Z., Gao, L. (2010), Studies on hole-flanging process using multistage incremental forming, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 2, 124–128, Elsevier.
- Mashudi, I., Harjito, A., Dani, A. (2015), Empirical Modeling of Flange Height on Incremental Backwards Hole Flanging of Aluminium Sheet, *Proceeding of the Fourth Annual South East Asian International Seminar*, PNJ.
- Kopac, J., Kampus, Z. (2005), Incremental sheet metal forming on CNC milling machine-tool, *13th International Scientific Conference on Achievements in Mechanical and Materials Engineering*, Gliwice Silesian University of Technology, Poland
- Petek, A., Kuzman, K. (2012), Backward Hole-Flanging Technology Using an Incremental Approach, *Journal of Mechanical Engineering* 58(2012)2, 73-80.
- Schuler GmbH, 1998, Metal Forming Handbook, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Tekkaya, A. E., Homberg, W., Brosius, A. (2015), 60 Excellent Inventions in Metal Forming, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*.

**Analisis Proses dan Perencanaan Anggaran Penyediaan
Komponen Bak *Dump Truck***

Nurchajat

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang

e-mail: nurchajat_polmal@yahoo.co.id

Abstract

In the era of modern transportation is not familiar with the name of carts as a tool for moving materials / goods, remote land transportation equipment with heavy workload (heavy equipment) is currently very needed humans to accelerate the transfer of material / goods on a scale large enough a relatively short time, land transportation equipment capable of handling these needs is a dump truck. The basic price of a tub dump truck is still largely unknown to most dump truck users, no company has publicly disclosed or announced how much the minimum budget needed to produce it. The purpose of this paper is to determine the amount of budget making of dump truck components. The amount of cost budget can be known through work planning, work measurement, calculation of material needs, and the need for the number of machines / operators. From the analysis obtained the total price of material needs for the manufacture of front and side dump truck components is Rp. 13,476,849, -, with details of total cost for material requirement are: Rp. 11,284,332, - Rent machine machine and tool is Rp. 2.058.500, - Total Working cost without assembling operation Rp. 134.017, -

Keywords: *work plan, work measurement, material requirement calculation, and requirement of number of machine / operator*

Abstrak

Dalam dunia transportasi modern sudah tidak mengenal yang namanya gerobak sebagai alat pemindah bahan/ barang, peralatan-peralatan transportasi darat jarak jauh dengan beban kerja yang berat (*heavy equipment*) saat ini sangat dibutuhkan manusia untuk mempercepat pemindahan bahan/ barang dalam skala yang cukup besar dengan waktu yang relatif singkat, peralatan transportasi darat yang mampu menghandle kebutuhan tersebut adalah *dump truck*. Harga dasar dari bak *dump truck* masih belum banyak diketahui oleh kebanyakan pengguna mobil *dump truck*, belum ada perusahaan yang secara terbuka mempublikasikan atau memberitahukan berapa besarnya anggaran minimal yang diperlukan untuk memproduksinya. Tujuan penulisan ini adalah untuk mengetahui besarnya anggaran biaya pembuatan komponen bak *dump truck*. Besarnya anggaran biaya tersebut dapat diketahui melalui perencanaan kerja, pengukuran kerja, perhitungan kebutuhan material, dan kebutuhan jumlah mesin/ operator. Dari analisis diperoleh total harga kebutuhan material untuk pembuatan komponen bak dump truck bagian depan dan samping adalah Rp. 13.476.849,-, dengan rincian total biaya untuk kebutuhan material adalah: Rp. 11.284.332,- Sewa mesin mesin dan alat adalah Rp. 2.058.500,- Total Ongkos kerja tanpa operasi assembling Rp. 134.017,-

Kata kunci: *perencanaan kerja, pengukuran kerja, perhitungan kebutuhan material, dan kebutuhan jumlah mesin/ operator*

Pendahuluan

Dalam dunia transportasi modern sudah tidak mengenal yang namanya gerobak sebagai alat pemindah bahan, peralatan-peralatan dengan beban kerja yang berat (*heavy equipment*) sangat dibutuhkan manusia untuk mempercepat penyelesaian pengangkutan/ pemindahan bahan dalam skala yang cukup besar dengan waktu yang relatif singkat. Perkembangan teknologi yang sangat pesat dalam berbagai sektor industri terutama pada industri pertambangan mendorong manusia untuk berpikir cerdas agar dapat memindahkan suatu bahan yang berat dari satu tempat ke tempat yang lain. Pemindahan suatu bahan khususnya bahan tambang tenaga manusia tidak akan mampu untuk menunjang suatu proses produksi tanpa adanya peralatan penunjang. *Dump Truck* adalah solusinya, *Dump Truck* adalah alat yang digunakan untuk memindahkan produk atau material dengan beban yang cukup besar pada jarak menengah atau jauh antara (500 meter atau lebih). Selain itu *dump truck* mudah untuk disesuaikan dengan produksi alat-alat gali, sehingga sangat luwes berhubungan dengan alat-alat yang lain dan bisa digunakan pada jalan yang sangat ekstrim sekalipun. Selain itu, untuk pengoperasiannya pun dirasa lebih efisien, kita perlu menjalankannya seperti menjalankan mobil pada umumnya dan kita hanya perlu menekan tombol atau mengaktifkan hidraulik yang ada pada bawah bak *dump truck* jika kita ingin menurunkan muatan. Sehingga alat transportasi ini dianggap sangat ideal untuk menunjang kebutuhan pada lokasi pertambangan dibanding dengan alat transportasi yang lainnya.

Mengingat begitu pentingnya *Dump Truck* sebagai alat transportasi ini, memungkinkan pengadaan dan pembelian alat transportasi ini akan berlangsung terus, namun sampai sekarang belum ada yang secara terbuka mempublikasikan atau memberitahukan berapa besarnya anggaran minimal yang diperlukan memproduksinya. Oleh karena itu pada tahap awal ini penulis mengambil judul **Analisis Proses dan Perencanaan Anggaran Penyediaan Komponen Bak *Dump Truck***

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana rencana kerja pembuatan komponen bak *dump truck*.
- 2) Bagaimana menghitung jumlah dan harga material yang dibutuhkan untuk pembuatan komponen bak *dump truck*.
- 3) Bagaimana menghitung jumlah mesin/ operator, biaya sewa mesin, dan ongkos kerja operator dalam pembuatan komponen bak *dump truck*.

Tujuan Penelitian

- 1) Memberikan informasi terkait dengan pembuatan komponen bak *dump truck*.
- 2) Memberikan informasi terkait dengan kebutuhan material dan harga untuk pembuatan komponen bak *dump truck*.
- 3) Memberikan informasi terkait perhitungan jumlah mesin dan operator, biaya sewa mesin dan ongkos kerja operator dalam pembuatan komponen bak *dump truck*.

Production routing , Machining Time dan Standar Time.

Production routing

Dari gambar kerja, seorang perencana dengan segala pengetahuannya tentang proses pembentukan akan dapat merencanakan alternatif proses pembentukan, urutan proses pembentukan, mesin perkakas potong yang digunakan untuk membentuk komponen/produk tersebut dengan format *production routing*. Nurchajat, (2017)

Oleh karena itu pembahasan dibawah ini akan menjelaskan tentang bagaimana membuat perencanaan kerja untuk pembuatan benda kerja sesuai dengan gambar kerja (*engineering drawing*) terkait dengan penentuan proses mesin dengan format *production routing*.

Production routing merupakan suatu form perencanaan kerja yang digunakan untuk menentukan urutan proses operasi yang dilakukan dalam pembuatan komponen mesin mulai dari bahan baku hingga menjadi barang jadi. Production routing meliputi perencanaan dan penentuan tempat/ departemen dimana pekerjaan dilakukan, dikerjakaan dengan menggunakan mesin apa, tools dan auxiliary equipment apa saja yang digunakan. Seorang pelaksana harus menyiapkan daftar kegiatan yang diperlukan untuk membentuk suatu komponen mesin dengan mmahami gambar kerja terlebih dahulu untuk menentukan langkah proses pengerjaan yang akan dilakukan. *Production Routing* secara ringkas memuat *Operation Number, Operation Description, Machine, Auxiliary Equipment, Setting Time (ST), Down Time (DT), Allowance, Machining Time, Standart Time (STT)*. Apple, James M., (1983).

Machining Time

Mechining Time (min/unit) termasuk waktu yang berhubungan langsung dengan pembentukan benda kerja atau *produktif time*, kolom waktu ini diisi hasil pengukuran waktu permesinan per unit produk baik dengan cara *stop watch time study*, sampling kerja (*work sampling*), ataupun dengan menggunakan rumus-rumus waktu permesinan yang sudah ada (*predetermined time system*) terhadap sistem kerja tertentu yang sudah dibakukan.

Untuk proses permesinan yang dilaksanakan secara otomatis, *machining time* besarnya sama dengan waktu normal, karena waktu permesinan untuk suatu produk sejenis yang diproduksi secara massal akan memerlukan waktu yang sama sehingga tidak diperlukan lagi adanya suatu penyesuaian untuk mengkondisikan *machining time* menjadi waktu normal

Berikut adalah rumus yang digunakan untuk waktu pemotongan dengan power hack saw dinyatakan pada persamaan (2.1), yaitu :

$$t_c [\text{min /unit}] = \frac{h_m [\text{mm/unit}]}{v [\text{strook/ min}] \cdot f [\text{mm/strook}]} \dots\dots\dots (2.1)$$

Nurchajat, (2017)

t_c : machining time (*cutting time*) (min/unit)

h_m : tinggi material

v : kecepatan potong (stroke/min)

f : *feed rate* (mm/stroke)

$$n = \frac{v \times 1000}{f \times d} \dots\dots\dots (2.2)$$

Gerling, (2014)

Dengan :

n : putaran *spindle* (rpm)

v : kecepatan potong (m/min)

d : diameter benda kerja (mm)

sedangkan rumus yang digunakan untuk mengetahui waktu pemesinan pada mesin *mesin bubut* dinyatakan pada persamaan (2.3) sebagai berikut:

$$t_c = \frac{L \times i}{s \times n} \dots\dots\dots (2.3)$$

Gerling, (2014)

Dengan :

t_c : machining time (*cutting time*) (min/unit)

s : *feed rate* (mm/rev)

L : langkah pemotongan (mm)

n : putran *spindle* (rpm)

i : jumlah x pemotongan

kecepatan potong dan *feed rate* dapat diperoleh dari tabel yang nilainya tergantung dari bahan yang dipotong dan bahan pahat yang digunakan untuk memotong.

Dengan i pada proses turning dirumuskan sebagai berikut:

$$i = \frac{D_s - D_e}{2 \times a} \dots\dots\dots (2.4)$$

Nurchajat, (2017)

Dengan

D_s : Diameter awal benda kerja(mm)

D_e : Diameter akhir benda kerja (mm)

a : Kedalaman potong (mm)

Untuk mesin yang lain seperti *power hack saw, turning machine, milling machine, shaping machine, grinding machine* dll. pada umumnya memiliki rumus *cutting time* atau *machining time* yang hampir sama sebagaimana dijelaskan dalam buku *All About Machine Tool* dan buku-buku terkait dengan operasi proses pemesinan.

Setting Time (ST) dan Delay time

Machining time secara mandiri tidaklah cukup digunakan sebagai penetapan waktu acuan standar penyelesaian pembentukan benda kerja, karena di dalam proses pembentukan ada hal-hal lain yang tidak berhubungan langsung dengan pembentukan benda kerja namun hal tersebut tetap dibutuhkan untuk penyelesaian sehingga menyebabkan waktu penyelesaian pembentukan menjadi lebih lama. Penyebabnya dalam hal ini adalah diperlukannya *setting time, delay time, auxiliary time, dan Machining Time* .

Setting Time (min/hari) termasuk waktu yang tidak berhubungan langsung dengan pembentukan benda kerja, waktu yang diperlukan untuk mempersiapkan tempat kerja untuk eksekusi dari suatu operasi tertentu, dan mengurangnya sampai pada kondisi original, termasuk juga mempelajari gambar, waktu yang diperlukan untuk pengaturan *tool*, pengambilan dan pengembalian *tool*. Gerling, (2014)

Delay time adalah waktu yang diperlukan untuk *personal need, overcoming fatigue, dan unavoidable delay*. Waktu *delay* yg terjadi secara *irregular*, seperti bejalan ke toilet, istirahat secara periodik, menunggu material, menunggu lift, dsb Gerling, (2014). Mengingat bahwa operator adalah manusia pekerja hal-hal yang berkenaan

dengan *personal need, overcoming fatigue*, sifat bawaan manusia yang artinya tidak dapat dihilangkan, dan *unavoidable delay* hal-hal yang ada diluar manusia dan tidak dapat dikendalikan. Dalam banyak hal *Delay time* disebut juga dengan *down time*.

Auxiliary time waktu yang digunakan untuk operasi-operasi yang tidak langsung berhubungan dengan proses pemotongan namun sangat berpengaruh terhadap penyelesaian benda kerja, yang termasuk dalam hal ini adalah mengambil benda kerja, memosisikannya, melepasnya, setting kedalaman, mengukur, dan mengasah pahat. Gerling, (2014)

Secara umum *auxiliary time* dan *setting time* keduanya merupakan operasi yang berkenaan dengan persiapan benda kerja dan tool sehingga dalam pengukuran waktunya *auxiliary time* dan *setting time* dijadikan satu kedalam *setting time* saja.

Setting time, down time (min/hari) merupakan *non produktif time* yang bersifat manual, belum ada rumus-rumus matematis untuk menentukan *setting time, down time*, penetapan waktunya bisa diketahui melalui *stop watch time study*, atau *work sampling* dengan membakukan system kerjanya terlebih dahulu. Sutaaksana, Iftikar.,(1979).

Dengan diketahui *setting time* dan *down time*, maka kelonggaran (*allowance*) dapat dihitung dengan menggunakan rumus-rumus sebagai berikut :

$$Allw = \frac{DT + ST}{60 \cdot D} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Nurchajat, (2017)

Allowance biasanya dinyatakan dalam %

Dengan :

D : Waktu tersedia per periode untuk suatu shift kerja,

DT : *Down Time* per periode (min/hari)

ST : *Setting Time* per periode (min/hari)

Standart Time (STT)

Stand

art time (min/unit) sama dengan waktu permesinan (T_c) ditambah dengan kelonggaran waktu kerja dikalikan dengan waktu standart, yang secara matematis ditulis seperti pada persamaan (2.6) sebagai berikut :

$$STT = T_c + \% Allw \cdot STT \dots\dots(2.6)$$

$$STT = \frac{T_c}{1 - \% Alw}$$

Nurchajat, (2017)

dengan

t_c : machining time (*cutting time*) (min/unit)

Alw: Allowance dinyatakan dalam %

Menghitung Kebutuhan Material

Kebutuhan material dirumuskan sebagaimana persamaan (2.6) berikut ini :

$$P_n = P_{gn} + P_{dn} \dots\dots\dots(2.7)$$

Nurchajat, (2017)

Apabila produk cacat dinyatakan dalam % terhadap P_n ($P_n\%$) maka :

$$P_n = P_{gn} + P_{dn}$$

(100% - $P_n\%$) . $P_n = P_{gn}$, jadi :

$$P_n = \frac{Pg}{(1 - Pn\%)} \text{ (unit/jam) } \dots\dots\dots(2.8)$$

Nurchajat, (2017).

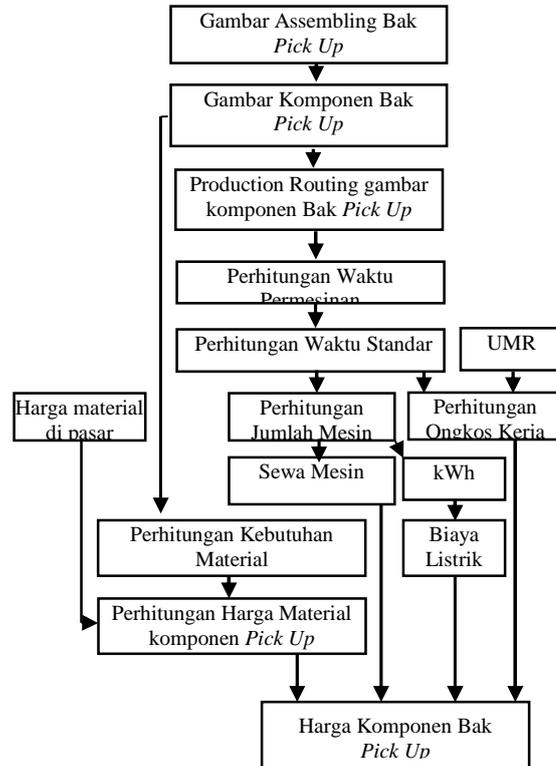
P_n : bahan baku yang harus disediakan

P_{gn} : good produk yang dihasilkan pada operasi ke n

perhitungan dimulai dari proses yang terakhir dengan Pgn minimal harus sama banyaknya dengan permintaan pasar (*demand rate*).

Desain Prosedur

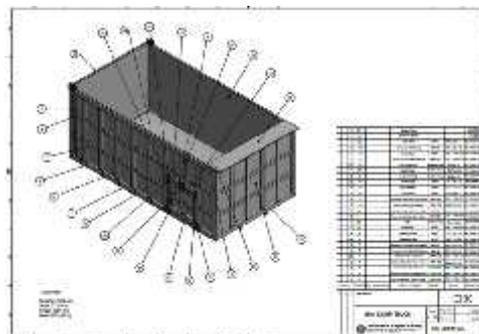
Prosedur perhitungan harga (*direct cost*) bak *dump truck* sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3.1 Prosedur perhitungan harga (*direct cost*) pembuatan komponen bak dump truck.

**Pengolahan Data dan Pembahasan
Production Routing**

gambar assembling bak dump truck (gambar 4.1) dengan spesifikasinya dan keterangan bagian-bagian pembentuk susunan assemblingnya sebagaimana ditunjukkan pada kepala gambar pada sudut kanan bawah dari bidang gambar.



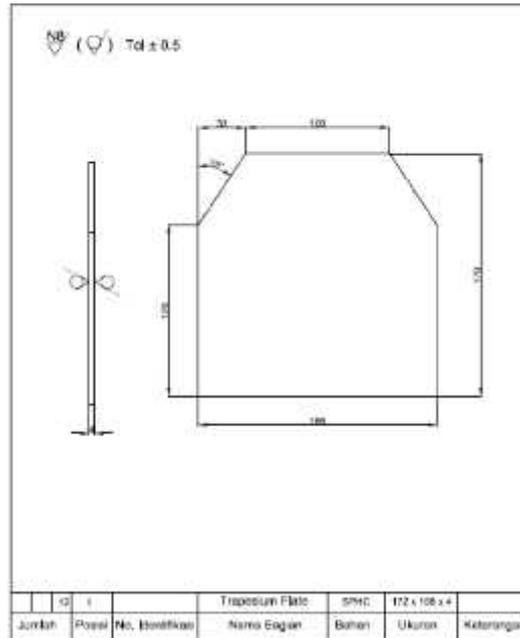
Gambar 4.1 Gambar assembling bak dump truck

Spesifikasi bak *Dump Truck* :

- Panjang : 5100 mm
- Lebar : 2735 mm
- Tinggi : 2134 mm
- Berat : 4034,68 kg

Dari setiap gambar komponen pembentuk bak *dump truck* sebagaimana disebutkan dalam kepala gambar (gambar 4.1) di atas dapat dibuat *Production Routing* masing-masing komponen.

Berikut adalah produk Trapesium Plate model 1 (gambar 4.2) yang diambil sebagai contoh analisisnya.



Gambar 4.2 Trapesium Plate model 1

Dari gambar 4.2 tersebut di atas dapat dibuat *Production Routingnya* sebagai berikut:

Tabel 4.1 *Production Routing* Trapesium Plate

PROJECT : BAK DUMP TRUCK		PART : TRAPEZIUM PLATE		PART NAME : ME DRAU 01-01			
PROGRAM : 2D DRAWS		PART : 01/01/01 - 01/01/01		SHEET : 1/1/2			
OPER. NO.	OPERATION DESCRIPTION	MACHINE	ACT. ALLOCATION	SET. TIME	WORK. TIME	BACK. TIME	STANDARD TIME
10	CUT 10 Length 100 x 100 ± 0.08	Oxy-Acetylene Cutting Machine	0.0000	15	08	0.00	0.08
20	CUT 20 Length 4 x 100	Oxy-Acetylene Cutting Machine	0.0000	15	08	0.00	0.08
30	CUT 30 Length 4 x 100 x 100	Oxy-Acetylene Cutting Machine	0.0000	15	08	0.00	0.08

Cutting Time dan Standard Time Calculation Operation no. 1

- Name : *Trapezium Plate*
- Part Number : *Me Draw 01-01*
- Material : *SPHC 4mm*
- Machine : *Oxy-Actylene Gas Welding (Cutting Machine)*

Dimensi material yang akan dipotong: l= 2064 mm 82,125 inch. _Dari material diatas, dipilih data *cutting condition* sebagai berikut:

- Ketebalan material (h) = 4 mm
- Cutting speed (v) = 15inch/min
- Cutting Oxygen = 20 lbs
- Oxygene Acetylene = 0,150
- Cubic feet of gas per foot of cut = 0.91
- Heating Oxygen = 4 lbs

Cutting Time dengan Oxy-Actylene Gas Welding

$$TC = \frac{W}{P} \times \frac{J_u}{U} \frac{h P}{U}$$

= 5,475menit/unit

ALLOWANCE

- ST = 10 min/hari
- DT = 60 min/hari
- D = 8 jam/hari

$$Allow = \frac{D + S}{6 \cdot D} = \frac{6 \frac{m}{h} + 1 \frac{m}{h}}{6 \cdot 8 \frac{ja}{h}} = 0,14 \cdot 100 \% = 14 \%$$

STANDARD TIME dengan Oxy-Actylene Gas Welding

$$TS = \frac{T}{(1 - \% A)} = \frac{5,4}{(1 - 0,1)} = 6,366 \text{ min/unit}$$

Operation No 2 perhitungan dilakukan dengan cara yang sama

Cutting Time dan Standard Time Calculation Operation No 2

- Name : *Trapezium Plate*
- Part Number : Me Draw 01-01
- Material : SPHC 4mm
- Date : 19 Mei 2017
- Machine : *Powerhacksaw*

Dimensi material yang akan dipotong: 4 x 172 x 168

Dari material diatas, dipilih *sawblade HSS* dan didapatkan:

- Ketebalan material (h) = 4 mm
- Pitch = 2.5 pitch/mm
- Cutting speed (v) = 150 stroke/mm
- Feed (s) = 0,15 mm/stroke

(*Machining Data Handbook (Table 6.1) Page 6-3*)

Cutting Time dengan power hacksaw

$$TC = \frac{h}{v \cdot s} = \frac{4 \text{ m} / \text{u}}{1 \frac{s}{m} \cdot 0,1 \frac{m}{s}} = 0,177 \text{ min/unit}$$

ALLOWANCE

Waktu *Allowance* untuk pengerjaan mesin dengan *Powerhacksaw*:

- ST = 15 min/hari
- DT = 60 min/hari
- D = 8 jam/hari

$$Allow = \frac{U + S}{6 \cdot U} = \frac{6 \frac{m}{h} + 1 \frac{m}{h}}{6 \cdot 8 \frac{ja}{h}} = 0,15 \cdot 100 \% = 15 \%$$

Standard Time dengan power hacksaw

Waktu Standard untuk pengerjaan dengan mesin gergaji *Powerhacksaw*:

$$TS = \frac{T}{(1 - \% A)} = \frac{0,1}{(1 - 0,1)} = 0,208 \text{ min/unit}$$

Jumlah Kebutuhan Material dan Harga Material

Dengan asumsi defect pada setiap tahapan proses=0%

Demand

: 12 unit/hari

Good Product Oxy-Actylene Gas Welding (Pg 1)

Good Product Powerhacksaw (Pg 2)

$$Pg 2 = \frac{D_1}{(1 - C_2 \%)} = \frac{1 \text{ u } /h}{(1 - 0)} = 12 \text{ unit/hari}$$

$$Pg 1 = \frac{P_2}{(1 - C_1 \%)} = \frac{1 \text{ u } /h}{(1 - 0)} = 12 \text{ unit/hari}$$

Dimensi material yang akan dipotong: 4 x 172 x 168

Luas permukaan benda kerja = 28896 mm²

Kebutuhan material dihitung berdasarkan kebutuhan raw material yang harus disediakan pada tahapan proses paling awal (Pg 1)

Pg 1= 12 unit/hari

Luas permukaan benda kerja yang dibutuhkan = Pg 1 x Luas permukaan benda kerja = 12 x 28896 mm²

$$= 0,346752 \text{ m}^2/\text{hari}$$

Steel Plate yang tersedia di pasaran berukuran 4 mm x 4' x 8' / lembar.

Beratnya adalah 93,32 kg. (4' = 1219,2 mm dan 8'=2438,4 mm).

Luas 4' x 8' = 1219,2 mmX2438,4mm = 2972653,44 mm² = 2973 m²/lembar

$$\text{Kebutuhan material} = \frac{L \quad p \quad m}{U \quad r_1 \quad m \quad l}$$

$$\text{Kebutuhan material } \textit{steel plate} = \frac{0,3 \text{ m}^2/\text{ha}}{2,9 \text{ m } /le} = 0.116 \text{ lembar}$$

Total beratnya adalah 0,116 lembar x 93.32 kg= 10,825 kg.

Harga *steel plate* per kilogram adalah Rp 8.650

Harga kebutuhan *Steel Plate* = 10,825 kg x Rp.8.650 = Rp. 93.637

Dengan cara yang sama maka total harga kebutuhan material untuk pembuatan komponen bak *dump truck* (25 komponen) adalah Rp. 11.284.332

Kebutuhan Jumlah Mesin dan Ongkos Kerja

Oxy-Actylene Gas Welding (N 1)

Powerhacksaw (N 2)

$$N 1 = \frac{P 1}{0 1} = \frac{1 \text{ u } /h}{7,8 \text{ u } /h /m} = 0,158 \text{ mesin}$$

$$N 2 = \frac{P 3}{0 3} = \frac{1 \text{ u } /ha}{2,6 \text{ u } /ha /m} = 0,002 \text{ mesin (orang)}$$

Jumlah Operator dan Ongkos Kerja

Perhitungan ongkos kerja per unit dapat dihitung sebagai berikut:

Gaji UMR kota Malang adalah Rp 1.962.000 (per bulan)

Ongkos kerja per orang per hari = $\text{Rp } 1.962.000 : 30 \text{ hari} = \text{Rp } 65.400$

Jadi ongkos kerja = Rp. 65.400/hari/orang

Perhitungan ongkos kerja pembentukan benda kerja

$OK_1 = 0,158 \times \text{Rp } 65.400 = \text{Rp } 10333,2$ Ongkos kerja untuk 12 unit

$OK_2 = 0,002 \times \text{Rp } 65.400 = \text{Rp } 130,8$ Ongkos kerja untuk 12 unit

Total ongkos kerja = $\text{Rp } 10333,2 + \text{Rp } 130,8 = \text{Rp } 10464$

Ongkos kerja untuk mengerjakan komponen-komponen yang lain dilakukan dengan cara yang sama.

Total Ongkos kerja tanpa operasi assembling Rp. 134.017

Perhitungan Sewa Mesin dan Alat

Jumlah Mesin yang diperlukan untuk proses pemesinan = 1 mesin

Harga sewa untuk 1 *Cutting Machine* adalah = Rp 6.000/jam

Total Standart Time proses pemesinan *cutting machine* = 26,08 min waktu sewa setara dengan 1 jam.

Jadi total sewa *Cutting Machine* = 1 jam x Rp 6.000/jam = Rp 6.000,-

Sewa mesin untuk pembentukan keseluruhan komponen bak *dump truck* adalah Rp. = Rp. 2.058.500,-

Biaya listrik termasuk sewa mesin

Total Keseluruhan biaya untuk penyediaan material komponen bak *dump truck* bagian depan dan samping

Total harga kebutuhan material = Rp. 11.284.332

Total biaya sewa alat = Rp. 2.058.500

Total ongkos kerja = Rp. 134.017

Total Biaya = Rp. 13.476.849

(Tiga belas Juta Empat Ratus Tujuh Puluh Enam Ribu Delapan Ratus Empat Puluh Sembilan Rupiah)

Pembahasan

Banyak kekurangan yang belum disampaikan dan juga karena keterbatasan kemampuan penulis disamping keterbatasan waktu ataupun jumlah halaman yang disediakan.

Prosedur yang dibuat masih ada kekurangan, yaitu yang terkait dengan proses assembling, sehingga dalam penulisan tidak ada pembahasan tentang bagaimana proses assembling dilaksanakan, bagaimana pembuatan *assembly diagram*, pengukuran waktu *assembly*, perhitungan kebutuhan elektrode, perhitungan biaya listrik untuk proses pengelasan, dan perhitungan ongkos operator assembling.

Karena mesin dan alat sewa(bukan milik sendiri) maka tidak semua dari prosedur yang ditetapkan diselesaikan dengan baik, sebagai contoh adalah perhitungan biaya listriknya, biaya listrik dalam hal ini termasuk dalam biaya sewa mesin.

Dalam penetapan waktu standar khususnya yang bersifat manual disini tidak dilaksanakan pengukuran sebagaimana mestinya, waktu pembentukan dan waktu standar didasarkan pada pengalaman kerja dan pengetahuan teknik pembentukan dan

pengukuran kerja yang memadai, sehingga penetapan waktu pembentukan dan waktu standar tersebut masih bisa dipertanggung jawabkan.

Waktu terkait dengan proses handling benda kerja dari satu lokasi mesin ke lokasi mesin yang lain tidak diperhitungkan sehingga proses tampak begitu singkat, walaupun diperhitungkan dalam pengambilan DT (down time) dan ST (setting time) mungkin terlalu kecil.

Ongkos kerja tampak nilainya relatif kecil, hal ini dimungkinkan karena standar kerja yang diambil adalah standar kerja perusahaan dengan pengawasan sedemikian sehingga operator bekerja sesuai dengan standar kerja yang telah dibuat.

Secara garis besar sebagaimana tujuan dari penulisan sudah tercapai semua, *production routing*, *material requirement*, *number of machine* yang digunakan untuk pembuatan komponen bak dump truck terselesaikan dengan baik, walaupun hanya satu komponen saja yang disampaikan dalam makalah ini namun prosedur perhitungan harga (*direct cost*) pembuatan komponen bak dump truck dan perhitungan-perhitungan lainnya bisa digunakan sebagai acuan untuk penulisan selanjutnya.

KESIMPULAN dan SARAN

Kesimpulan

Dari analisis secara berkesinambungan yaitu mulai dari gambar produk assembling, gambar komponen, pembuatan *production routing*, perhitungan *material requirement*, dan *number of machine*, perhitungan terkait dengan kebutuhan material, sewa mesin, dan ongkos kerja operator dapat diperoleh sebagai berikut:

- Total Harga kebutuhan material untuk pembuatan komponen bak *dump truck* (komponen 1 sd komponen 25) bagian depan dan samping adalah Rp 11.284.332,-
- Sewa mesin untuk pembentukan keseluruhan komponen bak *dump truck* adalah Rp. 2.058.500,-
- Total Ongkos kerja tanpa operasi assembling Rp. 134.017,-
Total biaya untuk penyediaan komponen bak dump truck bagian depan dan samping Rp. 13.476.849,- (Tiga belas Juta Empat Ratus Tujuh Puluh Enam Ribu Delapan Ratus Empat Puluh Sembilan Rupiah)

Saran

- Karya ilmiah ini masih dapat dilanjutkan dengan pembahasan tentang bagaimana proses assembling dilaksanakan, bagaimana pembuatan *assembly diagram*, pengukuran waktu *assembly*, perhitungan kebutuhan elektrode, perhitungan biaya listrik untuk proses pengelasan, dan perhitungan ongkos operator assembling.
- Perlu ada pengukuran waktu pembentukan dan waktu standar khususnya yang bersifat manual sesuai dengan prosedur pengukuran waktu yang standar.
- Waktu terkait dengan proses handling dari satu lokasi mesin ke lokasi mesin perlu dipertimbangkan untuk akurasi waktu penyelesaian pekerjaan yang lebih valid.

DAFTAR PUSTAKA

- Apple, James M., 1983. Plant Lay Out and Material Handling, John Wiley & Sons, New York.
- Dervitsiotis, Kostas N., 1981. Operations Management, McGra- Hill International Book Co, Singapore
- Gerling., 2014. *All about Machine Tools*, Wiley Eastern Limited, New Delhi.
- Nurchajat., 2017. Permesinan dan Tata Letak Mesin, Polinema Press
- Sutalaksana, Iftikar., 1979. *Teknik Tata Cara Kerja*, Teknik Industri ITB.
- Machining Data Handbook*

RANCANG BANGUN MESIN PENCACAH SINGKONG DAN TANGKAI TALAS

Idiar¹⁾, Erwansyah²⁾, dan Sugianto³⁾

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung
Jalan Timah Raya Kawasan Industri Air Kantung Sungailiat, 33211
E-mail: idiar@polman-babel.ac.id

Abstract

Cassava and taro stalk is a common plant and is often used as animal feed ingredients, especially for chicken and duck breeders in the village of Simpang Rimba South Bangka Regency. In the manufacture of animal feed is the constraint faced is the process of cassava cultivation and taro stalk is still done manually using a knife or machetes so that the process takes a long time. To overcome the above problems, the researchers made a cassava tiller machine and a double-cut taro handle with a capacity of 30 kg / 30 minutes. The purpose of this research is to get 100% faster enumeration time with the size of thickness of 2 - 7 mm. Stages in this study is by way of data collection through field surveys, interviews and literature study. The next step is data processing, concept creation and alternative selection, machine manufacture and assembly, then test the engine functions and data analysis. The concept and alternative design of the selected engine uses 0.5 HP electric motors using two types of cutting systems. The results showed that the chopper machine was able to chop the cassava and the taro stalk with a capacity of 30 kg within 30 minutes and the size of the thickness of the results of 2 - 7 mm.

Keywords: *cassava, taro stalk, feed, enumerator*

Abstrak

Singkong dan tangkai talas merupakan tanaman yang umum dan sering digunakan sebagai bahan pakan ternak khususnya bagi para peternak ayam dan bebek di desa Simpang Rimba Kabupaten Bangka Selatan. Dalam pembuatan pakan ternak tersebut kendala yang dihadapi yaitu pada proses pencacahan singkong dan tangkai talas masih dilakukan secara manual menggunakan pisau atau parang sehingga prosesnya memerlukan waktu yang lama. Untuk mengatasi permasalahan diatas peneliti membuat mesin pencacah singkong dan tangkai talas tipe pemotong ganda dengan kapasitas 30 kg/30 menit. Tujuan dari penelitian adalah mendapatkan waktu pencacahan lebih cepat 100% dengan ukuran tebal hasil cacahan 2 – 7 mm. Tahapan dalam penelitian ini yaitu dengan cara pengumpulan data melalui survey lapangan, wawancara dan studi pustaka. Adapun langkah berikutnya adalah pengolahan data, pembuatan konsep dan pemilihan alternatif, pembuatan mesin dan perakitan, lalu uji coba fungsi mesin dan analisa data. Konsep dan alternatif rancangan mesin yang dipilih menggunakan motor listrik 0,5 HP dengan menggunakan dua tipe sistem pemotong. Hasil penelitian yang didapatkan menunjukkan bahwa mesin pencacah mampu mencacah singkong dan tangkai talas dengan kapasitas 30 kg dalam waktu 30 menit dan ukuran tebal hasil cacahan 2 – 7 mm.

Kata Kunci: *singkong, tangkai talas, pakan, pencacah*

PENDAHULUAN

Simpang Rimba adalah sebuah kecamatan yang terletak di kabupaten Bangka Selatan provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Kecamatan Simpang Rimba merupakan

kecamatan terjauh dari ibu kota Kabupaten Bangka Selatan dengan luas wilayah sebesar 362,31 km. Kecamatan ini secara administratif terbagi menjadi 7 desa yaitu: Jelutung II, Gudang, Sebagin, Rajik, Permis, Simpang Rimba dan Bangka Kota (www.bangkaselatan.com/profil-bangka-selatan/kecamatan-simpang-rimba).

Sektor pertanian merupakan salah satu sektor utama dalam perekonomian Kecamatan Simpang Rimba, karena merupakan kontributor terbesar pertama terhadap PDRB Kecamatan Simpang Rimba. Dilihat dari subsektor pendukungnya, kontribusi subsektor tanaman bahan makanan (tabama) dan subsektor perkebunan yang terbesar. Subsektor tabama ditopang oleh komoditas padi, jagung, ketela pohon dan lain-lain, dimana pada tahun 2010 Kecamatan Simpang Rimba mampu menghasilkan ketela pohon sebesar 268 ton (www.bangkaselatan.com/profil-bangka-selatan/kecamatan-simpang-rimba). Kondisi tersebut mendukung dalam hal ketersediaan bahan baku pakan ternak untuk unggas. Berdasarkan hal tersebut, salah satu sektor yang sedang dikembangkan oleh pemerintah setempat untuk meningkatkan perekonomian adalah peternakan ayam dan bebek.

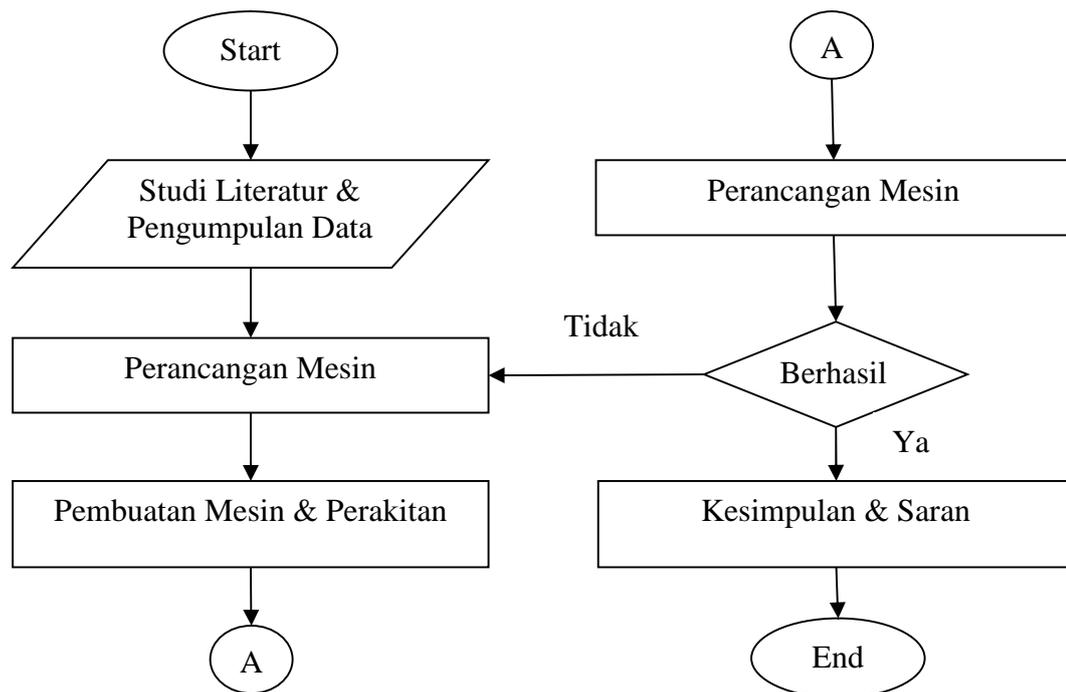
Pakan ternak adalah semua bahan pakan yang bisa diberikan dan bermanfaat bagi ternak serta tidak menimbulkan pengaruh negatif terhadap tubuh ternak. Pakan yang diberikan harus berkualitas tinggi, yaitu mengandung zat-zat yang diperlukan oleh tubuh ternak dalam hidupnya seperti air, karbohidrat, lemak, protein. Pakan sendiri merupakan komoditi yang sangat penting bagi ternak. Zat-zat nutrisi yang terkandung dalam pakan dimanfaatkan oleh ternak untuk memenuhi kebutuhan hidup pokok dan produksi ternak itu sendiri. Selain itu, pakan juga merupakan dasar bagi kehidupan yang secara terus menerus berhubungan dengan kimiawi tubuh dan kesehatan. Dalam pemberiannya pakan harus sesuai dengan kebutuhan tubuh ternak tersebut. Bahan pakan merupakan bahan makanan ternak yang terdiri dari bahan kering dan air yang harus diberikan kepada ternak untuk memenuhi kebutuhan hidup pokok dan produksinya.

Pakan merupakan salah satu faktor yang sangat penting untuk peningkatan produktivitas ternak. Pakan dengan kualitas dan kuantitas yang cukup sangat dibutuhkan untuk mendukung pertumbuhan dan produksi ternak. Pakan memegang peranan yang sangat penting di dalam keberhasilan suatu usaha peternakan. Total produksi dalam usaha peternakan sekitar 80% nya keluar untuk pakan saja (www.ilmuternak.com/2017/1/pengertian-pakan-ternak).

Perkembangan usaha peternakan ayam dan bebek di Kecamatan Simpang Rimba memberikan dampak yang positif terhadap perkembangan sektor peternakan unggas yang ada di wilayah tersebut. Hal tersebut menunjukkan bahwa wilayah ini merupakan salah satu daerah yang memiliki potensi untuk dikembangkan lebih baik lagi khususnya dalam perencanaan dan pengolahan produksi yang memerlukan teknologi mesin pencacah pakan ternak untuk unggas dengan bahan baku singkong dan tangkai talas sehingga dapat memproduksi pakan ternak dengan kapasitas seperti yang direncanakan sebelumnya.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dengan melakukan perencanaan dan pembuatan serta uji coba variasi kemiringan pisau potong pada keluaran cacahan yang dihasilkan, Adapun diagram alir metodologi penelitian yang digunakan sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

A. Studi literatur dan pengumpulan data

Pada penelitian ini literatur-literatur yang digunakan sebagai acuan permasalahan yang akan diteliti yaitu jurnal, buku, website dan wawancara langsung dengan narasumber yang berkaitan pakan ternak ayam dan bebek serta proses pembuatannya.

B. Perancangan mesin

Perancangan mesin dilakukan dengan membuat rancangan mesin sesuai dengan daftar tuntutan hasil studi literatur dan wawancara dengan pengguna.

C. Pembuatan dan perakitan mesin

Pembuatan dan perakitan mesin dilakukan di bengkel mekanik Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Pengerjaan komponen mesin disesuaikan dengan proses yang digunakan. Adapun mesin yang digunakan seperti mesin bor, mesin bubut, mesin gerinda, mesin frais. Perakitan mesin banyak dilakukan di bengkel fabrikasi menggunakan mesin las.

D. Uji coba mesin

Pengujian mesin dilakukan untuk mengetahui kemampuan mesin yang sudah dibuat apakah sudah sesuai dengan tujuan yang diinginkan atau tidak. Adapun pengujian mesin yang dilakukan sebagai berikut:

- Pemilihan bentuk mata potong untuk menghasilkan cacahan singkong dan tangkai talas.
- Lamanya waktu cacahan menggunakan mesin sesuai dengan kapasitas yang telah ditetapkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil studi literatur dan pengumpulan data yang telah dilakukan, mesin pencacah singkong dan tangkai talas dirancang dengan mengacu pada daftar tuntutan sebagai berikut:

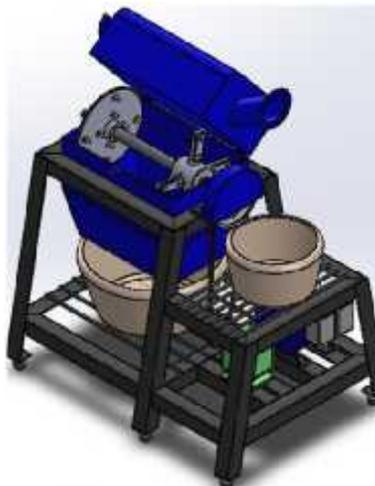
- Mampu mencacah singkong dan tangkai talas dengan kapasitas 30kg/30menit dengan ukuran cacahan 2-7 mm.
- Kapasitas motor penggerak < 900 Watt.
- Konstruksi mesin kuat dan sederhana
- Aman dan mudah untuk dioperasikan oleh operator.
- Mudah dalam perawatan dan perbaikan mesin.

Masing-masing dari fungsi bagian akan dideskripsikan tuntutan seperti apa yang diinginkan, sehingga dalam pembuatan alternatif fungsi bagian mesin pencacah singkong dan tangkai talas dapat dilakukan sesuai dengan prosedur (Ruswandi, 2004). Fungsi bagian ini dibuat berdasarkan fungsi utama yang terdapat pada konstruksi yang akan digunakan untuk proses pencacahan singkong dan tangkai talas. Berikut ini tuntutan fungsi bagian yaitu:

Tabel 1
Tuntutan Fungsi Bagian

No	Fungsi Bagian	Deskripsi
1	Fungsi transmisi	Sebagai penghubung penggerak ke fungsi sistem pencacah
2	Fungsi <i>hopper</i>	Sistem dapat menampung singkong dan tangkai talas sebelum diproses sebesar 30 kg
3	Fungsi pencacah	Sistem dapat mencacah singkong dan tangkai talas dengan ukuran lebih kurang 2-7 mm
4	Fungsi penggerak	Sistem dapat menggerakkan bagian pencacah sesuai beban dan putaran yang diinginkan
5	Fungsi rangka	Sistem dapat menopang seluruh bagian mesin yang ada

Dari tuntutan fungsi bagian tersebut dilanjutkan ke dalam tahapan pembuatan alternatif konsep dan penilaian alternatif konsep. Hasil dari penilaian alternatif konsep yaitu didapatkan gambar rancangan mesin pencacah singkong dan tangkai talas yaitu sebagai berikut:



Gambar 2. Rancangan mesin pencacah singkong dan tangkai talas

Adapun kriteria yang digunakan dalam penilaian alternatif konsep sehingga rancangan mesin pencacah singkong dan tangkai talas ini didapatkan dan layak digunakan yaitu:

- Penggunaan tenaga: pada setiap konsep diinginkan mengeluarkan tenaga yang sedikit sehingga tidak terjadi kelelahan pada setiap operator yang mengoperasikannya.
- Kuat dan tahan lama: setiap konsep diinginkan kuat dan tahan lama. Hal ini untuk mengurangi biaya perawatan dan perbaikan.
- Komponen yang sedikit: tiap konsep yang dipilih diinginkan memiliki komponen yang seminimal mungkin untuk mempermudah perakitan serta biaya pembuatan yang murah.
- Harga yang murah: diinginkan biaya yang dikeluarkan untuk penyediaan material serendah mungkin.
- Proses pembuatan murah: diinginkan biaya pada proses pembuatan konsep sekecil mungkin.
- Pengoperasian mudah: diinginkan pengoperasian pada alat dapat dilakukan dengan mudah oleh para pengguna.
- Pemasangan mudah: pada setiap konsep diinginkan mudah dalam pemasangan alat agar tidak menyulitkan para pengguna mesin.

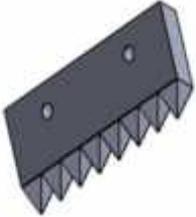
Ukuran mesin yang dibuat mempunyai dimensi 45 x 58 x 69 cm, dan dibuat dengan sistem pemotong ganda untuk memudahkan operasional kerjanya. Sedangkan hasil pembuatan akhir mesin sesuai rancangan dapat dilihat pada gambar berikut ini yaitu:



Gambar 3. Pembuatan akhir mesin pencacah singkong dan tangkai talas

Langkah selanjutnya yaitu pengujian mesin yang dilakukan untuk menguji apakah mesin sudah sesuai dengan fungsi yang diinginkan atau tidak. Untuk pencacahan singkong dilakukan pengujian dengan menggunakan dua macam bentuk mata potong yaitu:

Tabel 2
Uji Coba Bentuk Pisau

No	Bentuk pisau	Hasil cacahan
1		
2		

Berdasarkan gambar hasil cacahan pada tabel diatas diketahui bentuk mata potong nomor dua dapat menghasilkan cacahan singkong dengan ukuran seperti yang diinginkan yaitu 2-7 mm. Sedangkan bentuk mata potong untuk tangkai talas sama seperti bentuk pisau nomor satu diatas.

Hasil uji coba kapasitas yang dihasilkan pada mesin pencacah singkong dan tangkai talas dengan menggunakan bentuk mata potong yang dipilih yaitu sebagai berikut:

Tabel 3
Hasil Uji Coba

Uji Coba	Hasil proses (kg)	Waktu (menit)
1	30 kg	24
2	30 kg	24
3	30 kg	25
4	30 kg	27
5	30 kg	28
Rata-rata	30 kg	25.6

SIMPULAN

Berdasarkan hasil uji coba yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa mesin pencacah singkong dan tangkai talas dapat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan tujuan yang diinginkan. Mesin pencacah singkong dan tangkai talas dapat mencacah singkong dan tangkai talas dengan rata-rata 30kg/30menit dengan rata-rata ukuran cacahan sebesar 2-7mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Kecamatan Simpang Rimba. (n.d.). Retrieved from <http://www.bangkaselatan.com/profil-bangka-selatan/kecamatan-simpang-rimba/>
- Pengertian pakan ternak. (n.d.). Retrieved from <http://www.ilmuternak.com/2017/1/pengertian-pakan-ternak/>
- Harsokoesoemo, D. (2004). Pengantar Perancangan Teknik (Perancangan Produk). Jakarta, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.
- Ruswandi, A. (2004). Metode Perancangan 1. Bandung, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung.
- Japri, Manja, Julfikri. (2015). Rancang Bangun Mesin Pencacah Tandan Kosong Kelapa Sawit). Sungailiat, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- Ribby, I., Mulyadi, Hariono, N. (2015). Rancang Bangun Alat Pemotong Stik Kentang Metode Horizontal. Sungailiat, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

APLIKASI MESIN PANTOGRAPH 3D PADA UKM PENGRAJIN BIJI-BIJIAN LANGKA**Paryono¹⁾, Edy Suwarto²⁾, Teguh Budi Santoso³⁾**

¹ Jurusan Teknk Mesin Politeknik Negeri Semarang, Jl. Prof. Soedarto, S.H., Tembalang Kota Semarang 50275

² Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang, Jl. Prof. Soedarto, S.H., Tembalang Kota Semarang 50275

³ Jurusan Akuntansi Politeknik Negeri Semarang, Jl. Prof. Soedarto, S.H., Tembalang Kota Semarang 50275

E-mail: paryono.7@pnsmail.go.id

ABSTRACT

The granular ores (Elaeocarpus sphaericus) are ± 2 cm grain in dry state ore is very hard. Jenitri grain is a raw material handicraft product that is economical for export as did UKM King Rudraksa in Magelang. Jenitri grains are arranged / arranged to be a unique craft. The craft still requires other accessories that the manufacturing process has difficulty to get the same product. This research with design approach is intended to design and create a 3D pantograph machine to improve the quality of contour production, as well as other forms such as mask. Applied design methods include equipment design, component selection, equipment manufacture, machine performance testing and mask forming quality. The engine generated has a 350 watt motor power, and a 35,000 RPM spin, capable of forming contours with nearly 100% similarity level, and capable of being operated by a novice operator.

Key words : *3D pantograph, ore of ganitri, craft rare ore*

ABSTRAK

Bijih tanaman pohon jenitri (*Elaeocarpus sphaericus*) berbentuk butiran berdiameter ± 2 cm dalam keadaan kering sangat keras. Butiran jenitri merupakan bahan baku produk kerajinan yang bernilai ekonomis untuk ekspor seperti yang dilakukan UKM King Rudraksa di Magelang. Butiran jenitri disusun/dirangkai untuk dapat menjadi sebuah bentuk kerajinan yang unik. Kerajinan itu masih memerlukan asesoris lain yang proses pembuatannya mengalami kesulitan untuk mendapatkan kesamaan produk. Penelitian dengan pendekatan rancang bangun ini dimaksudkan untuk merancang dan membuat mesin pantograph 3D guna meningkatkan kualitas hasil pembuatan kontur, maupun bentuk lain seperti topeng. Metode rancang bangun yang diterapkan meliputi perancangan peralatan, pemilihan komponen, pembuatan peralatan, pengujian kinerja mesin dan kualitas hasil pembentukan topeng. Mesin yang dihasilkan memiliki daya motor 350 watt, dan putaran 35000 RPM, mampu membentuk kontur dengan tingkat kesamaan mendekati 100%, dan mampu dioperasikan oleh operator pemula.

Kata kunci: *Pantograph 3D, biji jenitri, kerajinan bijih-bijihan langka*

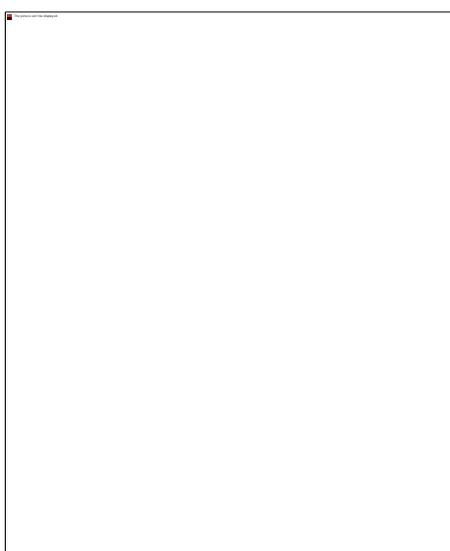
PENDAHULUAN

Usaha kerajinan bijih-bijihan dari berbagai buah yang langka seperti Jenitri, gebang, Jambe, bagi IKM King Rudraksha merupakan usaha yang telah lama di tekuni dan merupakan usaha kreatif yang sangat unik. Untuk keperluan pembuatan asesoris produk Jenitri maupun dalam rangka diversifikasi produk King Rudraksha membuat bentuk topeng dari bahan kayu

dengan menggunakan peralatan manual, sehingga memerlukan keahlian khusus bagi operatornya.

Masalah yang terjadi adalah kecepatan produksi, kesamaan produk satu dengan lainnya, waktu yang digunakan untuk membentuk topeng tidak sampai finishing sekitar 120 menit. Kondisi tersebut memerlukan inovasi peralatan yang mampu membantu pengrajin untuk menangani produksi pembuatan topeng kayu agar lebih efektif dan efisien.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat peralatan yang dapat digunakan untuk meningkatkan kecepatan produksi dan kesamaan produk topeng yang dihasilkan.



Gambar 1. Pembuatan topeng kayu dengan peralatan manual

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi langkah langkah adalah sebagai berikut: Pemilihan bahan yang digunakan untuk membangun alat yaitu meliputi baja stainless, kayu, dan motor trimer. Mendesain peralatan, menggunakan kaidah kaidah penilaian desain dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan desain serta mempertimbangkan kemudahan pengoperasian, dan pemilihan desain. (Gutomo, 2016), sedangkan perhitungan kekuatan, defleksi mengacu pada *Machine Design* (Khurmi, R.S., J.K. Gupta. 2008)

Pembuatan Komponen Mesin, dilakukan dengan menggunakan mesin mesin perkakas bor, bubut, freis, dan proses pengelasan, proses proses pemesinan mengacu pada pemesinan yang ekonomis. (Jutz, H., Scharkus, E., 2006). Perakitan Komponen Mesin, dan Pengujian Alat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

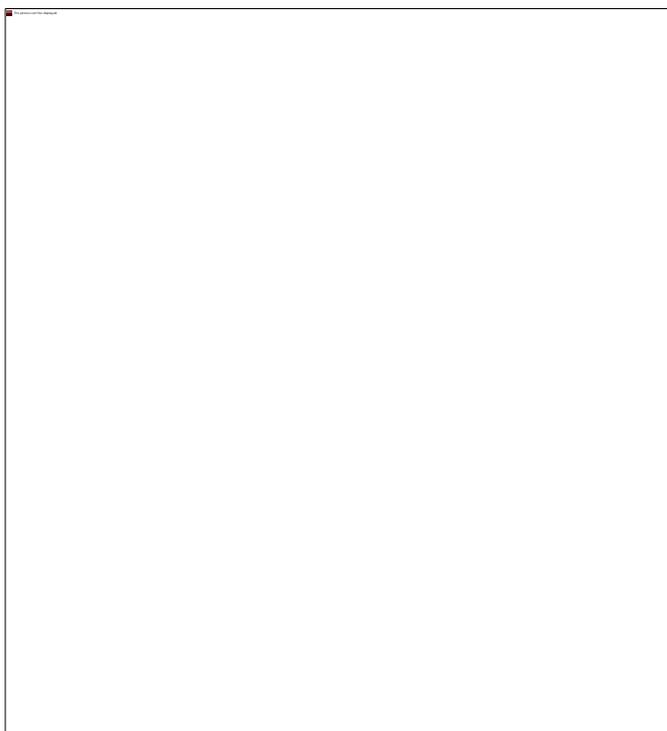
Hasil penelitian ini berupa teknologi tepat guna berupa pantograph 3D yang mampu menduplikasi komponen dengan skala 1:1, adapun spesifikasi alat tersebut adalah:

Ukuran : 1000 x 1000 x 900 (mm)

Bahan : Baja plat strip, mild steel, MS Hollow, Profil L, dan Multipleks

Daya motor trimmer : 450 watt

Kecepatan putar : 35000 RPM



Keterangan gambar

1. Motor Trimmer
2. Stylus
3. Poros penghubung
4. Poros lintasan
5. Penyeimbang / pemberat
6. Bearing linear tengah
7. Bearing linear pinggir
8. Plat penghubung
9. Plat penyangga
10. Penempat stylus dan Trimmer
11. Rangka
12. Penempat Master
13. Penempat Benda kerja

Gambar 2. Desain Mesin pantograph 3D

Fungsi tiap tiap bagian dari komponen mesin adalah sebagai berikut:

Motor Trimmer berfungsi sebagai penggerak yang sekaligus menggenggam pisau potong yang dapat memotong benda kerja yang dipasang pada penempat benda kerja (13), Stylus sebagai penunjuk atau peraba dari bentuk master yang dijadikan dasar gerakan tool; Poros penghubung berfungsi sebagai penghubung antara poros lintasan kanan dan kiri; Poros lintasan sebagai lintasan maju dan mundur setiap pergerakan mesin; Penyeimbang / pemberat sebagai penyeimbang trimmer saat digerakkan sehingga pada saat digerakkan terasa enak. Bearing linear poros penghubung berfungsi sebagai penghubung antar dua

plat penghubung serta untuk memudahkan pergerakan pada poros penghubung.; Penempat trimmer dan stylus, sebagai tempat kedudukan motor trimmer dan stylus.

Mesin teknologi tepat guna berupa pantograph 3D, hasil dari rancangan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Mesin pantograph 3D

Prinsip kerja dari alat tersebut adalah:

Benda kerja dipasang pada penempat benda kerja (13), sedangkan benda yang akan disalin ditempatkan pada penempat master (12). Peraba/ stylus dan pisau (tool) dipasang pada penempat stylus dan trimmer (10); Mulai lakukan pemakanan terhadap benda kerja sedikit demi sedikit dengan mengikuti setiap detail kontur master sampai bentuk sesuai dengan yang aslinya/ master, prinsip pemotongan kayu lebih cenderung pada pemotongan berlawanan arah (Budianto, A. Dodong, 2013) ; Benda kerja dilepas dari tempatnya, hasil pantograph ini perlu dilakukan proses finishing dengan amplas halus (grade 1000). Tabel 1 berikut memberikan gambaran hasil pengujian mesin pantograph 3D

Tabel 1. Pengujian mesin pantograph 3D

No	Lama pengoperasian	Gambar	Hasil (tingkat kedetailan)
----	--------------------	--------	-----------------------------

1 Proses pengerjaan selama 45 menit



1. Bagian hidung : 9
2. Bagian mulut: 7
3. Bagian mata: 8
4. bagian alis: 7
5. Bagian dagu : 7
6. Bagian pipi: 8
7. Bagian mahkota: 6

$$\frac{52}{70} \times 100\% = 74,28\%$$

2 Proses pengerjaan selama 60 menit



1. Bagian hidung : 9
2. Bagian mulut: 8
3. Bagian mata: 8
4. bagian alis: 7
5. Bagian dagu : 8
6. Bagian pipi: 8
7. Bagian mahkota: 8

$$\frac{56}{70} \times 100\% = 80\%$$

3 Proses pengerjaan selama 75 menit



1. Bagian hidung : 9
2. Bagian mulut: 8
3. Bagian mata: 8
4. bagian alis: 7
5. Bagian dagu : 9
6. Bagian pipi: 8
7. Bagian mahkota: 8

$$\frac{57}{70} \times 100\% = 81,14\%$$

Pembahasan Hasil Pengujian

Pada hasil pengujian yang telah didapatkan pada tabel 1 dengan beberapa variabel yang sama, antara lain bentuk topeng kayu yang dibuat, putaran motor trimer, jenis pisau

potong, dan jenis kayu yang dibuat untuk benda kerja, didapatkan tiga waktu pengujian, dengan rata-rata hasil pemotongan tingkat kesesuaian dengan master 74,28%, 80%, dan 81,14%. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa mesin pantograph 3D ini mampu menghasilkan tingkat kesesuaian dengan master asli sebesar 81,14%, untuk mencapai penyelesaian 100% diperlukan pengerjaan akhir seperti pengampelasan dan pembatikan yang dilakukan secara manual. Mesin dianggap berhasil, karena dengan keterbatasan jenis dan bahan pisau trimmer, serta kemampuan operator yang masih pemula.

KESIMPULAN

1. Mesin pantograph 3D yang berhasil dibuat dapat diaplikasikan pada UKM pengrajin bijih-bijihan langka sebagai pelengkap pembuat asesoris maupun sebagai diversifikasi produk kerajinan misal topeng atau bentuk-bentuk lain yang memerlukan kontur sulit.
2. Dari beberapa percobaan yang dilakukan, mesin ini mampu menyalin dengan tingkat kesesuaian maksimum sebesar 81,14 % terhadap bentuk topeng yang asli, dengan waktu operasi 75 menit.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih setinggi-tingginya kami sampaikan kepada direktur DRPM di Jakarta yang telah memberikan dana untuk pengabdian kepada masyarakat pada skema IbPE.

DAFTAR PUSTAKA

- Budianto, A. Dodong. 2013. *Teknik Dasar Memilih Mesin & Perlengkapan Industri Kayu*. Semarang: Pendidikan Industri Kayu Atas
- Jutz, H., Scharkus, E., 2006, *Westerman Table Third Edition*, New Age International, New Delhi
- Gutomo, 2016, *Perancangan Mesin 1*, Politeknik Negeri, Semarang
- Khurmi, R.S., J.K. Gupta. 2008. *A Textbook Of Machine Design (SI Units)*. New Delhi: Eurasia Publising House