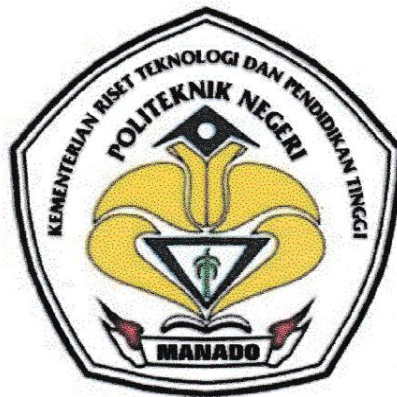


LAPORAN AKHIR

**“PENGOPERASIAN TURBIN UAP DALAM PROSES KONVERSI
ENERGI UAP MENJADI ENERGI LISTRIK DI PLTP LAHENDONG”**



Oleh :

ALFRYANTO MAMUSU

NIM : 12 021 006

Dosen Pembimbing

Muchdar D. Patabo, ST,MT

NIP. 19631128 199003 1 002

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN
PENDIDIKAN TINGGI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI MANADO
2015**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGOPERASIAN TURBIN UAP DALAM PROSES KONVERSI ENERGI UAP MENJADI ENERGI LISTRIK DI PLTP LAHENDONG

Oleh

ALFRYANTO MAMUSU

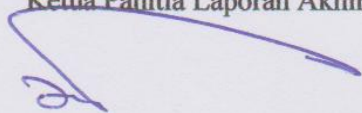
NIM : 12 021 006

*Laporan Akhir ini telah diterima dan disahkan sebagai persyaratan untuk
menyelesaikan pendidikan Diploma III Teknik Elektro
Program Studi Teknik Listrik
Politeknik Negeri Manado*

Manado, 31 Juli 2015

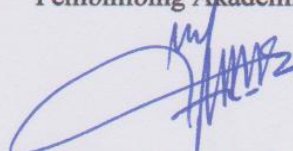
Menyetujui :

Ketua Panitia Laporan Akhir



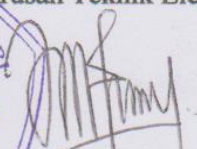
Fanny J. Doringin, ST.MT
NIP : 19670430 199203 1 003

Pembimbing Akademik,



Muchdar D. Patabo, ST.MT
NIP : 19631128 199003 1 002

Ketua Jurusan Teknik Elektro




Ir. Jusuf L. Mappadang, MT
NIP : 19610601 199003 1 002

MOTTO

Percayalah kepada Tuhan dengan segenap hatimu, dan janganlah bersandar kepada perngertianmu sendiri.

Amsal 3 : 5

*Tanpa pengetahuan kerajinan pun tidak baik
orang yang tergesa-gesa akan salah langkah*

Amsal 19 : 2

Banyak sekali kegagalan dalam hidup adalah mereka yang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan ketika mereka menyerah.

Thomas Alva Edison

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Akhir ini dengan judul **“PENGOPERASIAN TURBIN UAP DALAM PROSES KONVERSI ENERGI UAP MENJADI ENERGI LISTRIK DI PLTP LAHENDONG”**. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak atas bantuan dan bimbingan dalam penulisan Laporan Akhir ini, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Akhir ini tepat pada waktunya. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Bapak Ir.Jemmy Julles Rangan,MT selaku Direktur Politeknik Negeri Manado.
2. Bapak Ir.Jusuf L. Mappadang,MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado.
3. Bapak Muchdar D. Patabo,ST.MT selaku Dosen pembimbing Laporan Akhir.
4. Seluruh Dosen dan staf Pegawai Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado.
5. Ayah dan Ibu tercinta, kakak dan adikku tercinta yang telah banyak memberikan dorongan untuk segera menyelesaikan Laporan Akhir.
6. Kekasih hati (Fhilia Suci Nugraheni) yang selalu memberikan semangat serta saran dalam penulisan Laporan Akhir ini.
7. Teman-teman Teknik Listrik D III angkatan 2012 yang sudah banyak memberikan saran dalam penulisan Laporan Akhir ini.
8. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya penulisan Laporan Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari Laporan Akhir ini masih jauh dari harapan dan masih banyak kekurangan, karena keterbatasan pengetahuan dan wawasan yang penulis miliki. Untuk itu penulis membuka diri atas saran dan kritik. Harapan penulis semoga Laporan Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi siapa saja yang membacanya, khususnya bagi penulis. Terima kasih.

Manado, Juli 2015

Penulis

ALFRYANTO MAMUSU

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	
Lembar Pengesahan	i
Motto	
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi.....	iv
Daftar Gambar.....	vi
Daftar Tabel	vii
 BAB I Pendahuluan	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penulisan.....	2
1.5 Manfaat Penulisan.....	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
 BAB II Tinjauan Pustaka	 4
2.1 Sumur Bor Panas Bumi.....	4
2.2 Demister	7
2.3 Turbin Uap	9
2.4 Generator	15
2.4.1 Stator	17
2.4.2 Rotor	18
2.5 Condenser	19
2.6 Main Cooling Water Pump (MCWP)	21
2.7 Menara Pendingin (Cooling Tower)	25

2.8 <i>Primary Cooling Water Pump</i> (PCWP)	27
2.9 <i>Secondary Cooling Water Pump</i> (SCWP)	27
Bab III Pengoperasian Turbin Uap Dalam Proses Konversi Energi	29
3.1 TEKNIK KONVERSI ENERGI.....	29
3.2 PENGOPERASIAN PLTP LAHENDONG	30
3.3 PROSES PEMBANGKITAN PLTP LAHENDONG	46
BAB IV Penutup	54
4.1 Kesimpulan.....	54
4.2 Saran	54
Daftar Pustaka	55

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema Pengeboran Panas Bumi.....	4
Gambar 2.2 Skema Sirkuit Uap dan Air pada PLTP	5
Gambar 2.3 Instalasi pengeboran panas bumi PT.Pertamina Geothermal Energy (PGE) unit 1 Cluster 13 Lahendong	6
Gambar 2.4 Sumur Uap (System Pasolak Uap) Unit 1 Cluster 13	6
Gambar 2.5 Sumur Bor PLTP Lahendong Unit 1 Cluster 13	7
Gambar 2.6 Demister unit 1 PLTP Lahendong.....	8
Gambar 2.7 Name Plate Demister Unit 1 PLTP Lahendong	9
Gambar 2.8 Turbin Impuls VS Turbin Reaksi.....	10
Gambar 2.9 Steam Turbin Unit 1 PLTP Lahendong.....	12
Gambar 2.10 Name Plate Steam Turbin Unit 1 PLTP Lahendong.....	13
Gambar 2.11 Generator Unit 1 PLTP Lahendong	16
Gambar 2.12 Name Plate Generator Unit 1PLTP Lahendong.....	17
Gambar 2.13 Konstruksi Generator	17
Gambar 2.14 Rangka Stator Beserta Kumputan Jangkarnya	18
Gambar 2.15 Penampang Rotor Silinder Pada Generator Sinkron	19
Gambar 2.16 Main Condenser Unit 1PLTP Lahendong.....	20
Gambar 2.17 Name plate Condenser unit 1PLTP Lahendong.....	20
Gambar 2.18 Main Cooling Water Pump Unit 1 PLTP Lahendong.....	22
Gambar 2.19 Main Cooling Water Pump A.....	23
Gambar 2.20 Name Plate Main Cooling Water Pump A	23
Gambar 2.21 Main Cooling Water Pump B.....	24
Gambar 2.22 Name Plate Main Cooling Water Pump B	24
Gambar 2.23 Cooling Tower Unit 1 PLTP Lahendong	25
Gambar 2.24 Penampang samping bagian atas <i>cooling tower</i> unit 1	26
Gambar 2.25 Motor Fan Cooling Tower.....	26
Gambar 2.26 PCWP Unit 1 PLTP Lahendong.....	27

Gambar 2.27 SCWP Unit 1 PLTP Lahendong.....	28
Gambar 3.1 Siklus Konversi Energi Panas Bumi	30
Gambar 3.2 Synoptic Diagram PLTP Lahendong	45
Gambar 3.3 Gambar Steam Supply Uap	47
Gambar 3.4 Steam Turbin dan Generator	47
Gambar 3.5 Turbin Uap	48
Gambar 3.6 Main Cooling Water System	49
Gambar 3.7 <i>NCG (Non Condensable Gas)</i>	50
Gambar 3.8 PCWP	51
Gambar 3.9 <i>Inter Condenser dan After Condenser</i>	51
Gambar 3.10 <i>Level Transmitter</i>	53
Gambar 3.11 <i>Reinjection System</i>	53

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Data Karakteristik Uap Unit 1 PLTP Lahendong	7
Tabel 2.2 Data Teknik Turbin Unit 1 PLTP Lahendong	11
Tabel 2.3 Data Teknik Generator Unit 1 PLTP Lahendong	15

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini kebutuhan listrik di Indonesia semakin meningkat, hal ini disebabkan oleh penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan berbagai bidang lainnya. Dan seperti kita ketahui bersama bahwa listrik yang kita pakai sehari-hari dihasilkan dari berbagai sumber yaitu, energi panas bumi, energi surya, energi air, energi angin, dan energi minyak pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel .

Dari semua energi di atas, energi panas bumi merupakan energi yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik, yaitu dengan memanfaatkan uap yang berasal dari perut bumi .

PLTP Lahendong memanfaatkan uap panas bumi sebagai pembangkit listrik yang merupakan salah satu solusi akan kebutuhan listrik dalam sistem interkoneksi wilayah suluttenggo. PLTP Lahendong terletak di Kecamatan Tomohon Selatan dan terdiri dari 4 unit. Sementara unit 1-2 terletak di Kelurahan Tondangow dan Unit 3-4 di Kelurahan Pangolombian dengan daya terpasang 4x20 MW.

Laporan Akhir ini penulis mencoba menjelaskan bagaimana sistem pembangkitan PLTP dan Pengoperasian Turbin Uap Dalam Proses Konversi Energi Uap Menjadi Energi Listrik.

1.2 . Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan diatas, maka yang menjadi rumusan masalah adalah :

1. Bagaimanakah Sistem Pembangkitan PLTP Lahendong?
2. Bagaimanakah Pengoperasian Turbin Uap Dalam Proses Konversi Energi Uap Menjadi Energi Listrik di PLTP Lahendong pada Unit 1 ?

1.3. Pembatasan Masalah

Dalam penulisan Laporan Akhir ini penulis hanya membatasi masalah mengenai Pengoperasian Turbin Uap Dalam Proses Konversi Energi.

1.4. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penulisan Laporan Akhir mengenai Pengoperasian Turbin Uap Dalam Proses Konversi Energi Uap Menjadi Energi Listrik di PLTP Lahendong adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui sistem pusat listrik tenaga panas bumi di PLTP Lahendong.
2. Menambah ilmu-ilmu pengetahuan di PLTP Lahendong khususnya dalam pengoperasian Turbin Uap.

1.5. Manfaat Penulisan

Dari hasil penulisan Laporan Akhir mengenai Pengoperasian Turbin Uap Dalam Proses Konversi Energi Uap Menjadi Energi Listrik di PLTP Lahendong, ada beberapa manfaat yang didapatkan yaitu :

1. Bagi penulis, memberikan manfaat untuk menambah wawasan dan ilmu pengetahuan serta pengalaman yang terkait dengan pengoperasian Turbin Uap dalam proses konversi energi serta cara kerjanya dengan praktek yang nyata di dunia kerja serta melatih diri .
2. Bagi pembaca, dapat dijadikan sebagai pengetahuan tambahan sehingga dapat memperkaya wawasan dibidang konversi energi dan pemanfaatan energi uap.

1.6. Sistematika Penulisan

Pembahasan dalam laporan ini akan disajikan dalam 4 bab yang berurutan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Merupakan uraian latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Merupakan penjelasan tentang gambar, pengertian Sumur Bor (Uap), Scruber/Demister, Generator, Turbine, Kondenser, , MCWP(Main Cooling Water Pump), Cooling tower .

BAB III PEMBAHASAAN

Merupakan uraian tentang Sistem Pembangkitan PLTP Lahendong dan Pengoperasian Turbin Uap Dalam Proses Konversi Energi Uap Menjadi Energi Listrik di PLTP Lahendong .

BAB IV PENUTUP

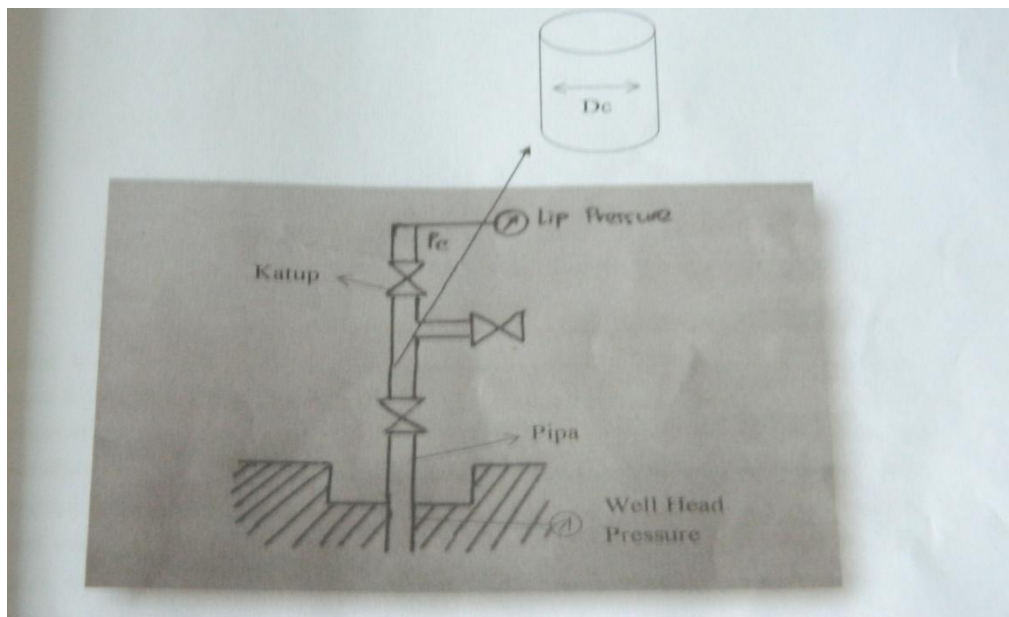
Merupakan uraian tentang kesimpulan dan saran yang merupakan pernyataan singkat yang diambil dari pembahasan dan mencoba memberikan saran yang mungkin bermanfaat bagi Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Listrik Politeknik Negeri Manado .

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

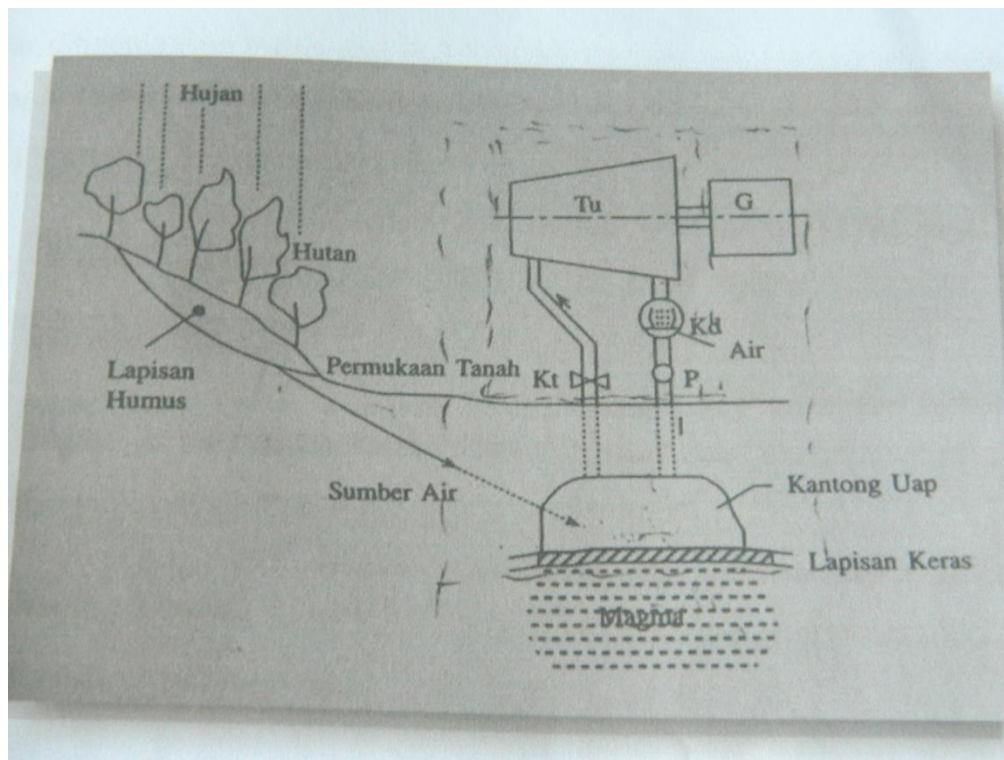
2.1 Sumur Bor Panas Bumi

Untuk membangkitkan listrik dengan panas bumi dilakukan dengan mengebor tanah di daerah yang berpotensi panas bumi untuk membuat lubang gas panas yang akan dimanfaatkan untuk memanaskan ketel uap (*boiler*) sehingga uapnya bisa menggerakkan turbin uap yang tersambung ke *Generator*.



Gambar 2.1 Skema pengeboran panas bumi.

Pada Pembangkit Listrik Panas Bumi, uap panas bersih dan bebas kontaminan yang dihasilkan oleh ketel pada lapisan bumi dan di olah sedemikian rupa yang nantinya digunakan untuk memutar turbin.



Gambar 2.2 Skema sirkit uap dan air pada PLTP

Berdasarkan gambar 2.2 uap didapat dari satu kantong (reservoir) dalam perut bumi. Kantong uap ini terbentuk dalam tanah diatas suatu lapisan batuan yang keras dan berada diatas Magma. Diatas lapisan batuan yang keras tersebut terdapat rongga yang mendapat air dari lapisan humus di bawah hutan yang menahan air hujan. Dalam rongga ini, air tersebut mendapatkan panas dari Magma dan akan menjadi uap panas sehingga rongga tersebut akan seperti ketel uap. Dari atas dilakukan pengeboran kearah rongga yang berisi uap panas sehingga uap panas akan menyembur keluar menuju permukaan bumi.



Gambar 2.3 Instalasi Pengeboran Panas Bumi PT.Pertamina Geothermal Energy (PGE) Unit 1 Cluster 13 Lahendong.

Uap diperoleh dari sumur-sumur produksi (hot well) dan disuplai oleh Pertamina yang diambil melalui proses pengeboran dengan kedalaman ± 2 Kilometer (kedalaman pipa di Lahendong). Berikut lokasi sumur bor oleh Pertamina:



Gambar 2.4 Sumur Uap (System Pasolak Uap) Unit 1 Cluster 13.



Gambar 2.5 Sumur Bor PLTP Lahendong Unit 1 Cluster 13.

Tabel 2.1 Data Karakteristik Uap unit 1 PLTP Lahendong

Steam Characteristic	Unit 1
Pressure (Barg)	7,8
Temperature (°C)	171
Flow rate (Ton/Hour) 20MW	146

2.2 Demister

Demister adalah sebuah alat yang berbentuk tabung silinder yang didalamnya terdapat kisi-kisi baja yang berfungsi untuk mengeliminasi butir-butir air yang terbawa oleh uap dari sumur-sumur panas bumi. Dibagian bawahnya terdapat kerucut untuk menangkap air dan partikel-partikel padat lainnya yang lolos dari separator sehingga uap yang masuk ke turbin benar-benar bersih dari partikel-partikel yang tidak diinginkan. Demister ini dipasang pada jalur uap utama setelah

alat pemisah akhir (final separator) yang ditempatkan pada bangunan rangka besi yang sangat kokoh dan terletak di luar gedung pembangkit. Uap bersih akan masuk ke saluran keluar yang sebelumnya melewati saringan terlebih dahulu dan untuk selanjutnya diteruskan ke turbin.



Gambar 2.6 Demister unit 1 PLTP Lahendong

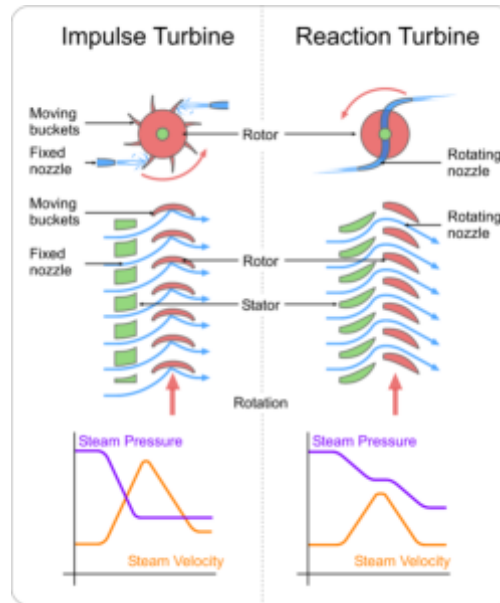


Gambar 2.7 Name Plate Demister Unit 1 PLTP lahendong

2.3. Turbin Uap

Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakkan. Tergantung pada jenis mekanisme yang digunakan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang seperti pembangkit tenaga listrik .

Secara umum turbin uap dapat digolongkan menjadi tiga macam yaitu turbin impuls, reaksi dan gabungan. Penggolongan ini berdasarkan cara mendapatkan perubahan energi potensial menjadi energi kinetik dari semburan uapnya.



Gambar 2.8 Turbin Impuls VS Turbin Reaksi

Adapun turbin impuls mengubah energi potensial uapnya menjadi energi kinetik didalam nosel (yang dibentuk oleh sudu-sudu diam yang berdekatan). Nosel diarahkan kepada sudu gerak. Didalam sudu-sudu gerak, energi kinetik diubah menjadi energi mekanis. Energi potensial uap berupa ekspansi uap, yang diperoleh dari perubahan tekanan awal hingga tekanan akhirnya di dalam sebuah nosel atau dalam satu grup nosel yang ditempatkan didepan sudu-sudu cakram yang berputar. Penurunan tekanan uap didalam nosel diikuti dengan penurunan kandungan kalornya yang terjadi didalam nosel. Hal ini menyebabkan naiknya kecepatan uap yang keluar dari nosel (energi kinetik). Kemudian energi kecepatan semburan uap yang keluar dari nosel yang diarahkan kepada sudu gerak (sudu-sudu cakram yang berputar) memberikan gaya impuls pada-pada sudu gerak sehingga menyebabkan sudu-sudu gerak berputar (melakukan kerja mekanis).

Turbin reaksi yaitu turbin yang ekspansi uapnya tidak hanya terjadi pada laluan-laluan sudu pengarah (nosel) yang tetap saja tetapi juga terjadi pada laluan

sudu gerak (sudu-sudu cakram yang berputar), sehingga terjadi penurunan keseluruhan kandungan kalor pada semua tingkat sehingga terdistribusi secara seragam.

Tabel 2.2 Data Teknik Turbin Unit 1 PLTP Lahendong

TURBIN	
Unit 1	
Merek	ALSTOM
<i>Power</i>	20.000 Kw
<i>Type</i>	<i>Single Casing Condensing, Multi Stage Impuls</i>
Putaran	3000 rpm
<i>Jumlah Blade</i>	<i>8 Stages</i>
Turbin <i>Controller</i>	DIGIREC 820 (ALSPA STG 820)

Prinsip kerja turbin pada PLTP Lahendong unit 1 adalah sebagai berikut:

1. Uap masuk kedalam turbin melalui nosel. Di dalam nosel energi dari uap diubah menjadi energi kinetis dan uap mengalami ekspansi. Tekanan uap pada saat keluar dari nosel lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam nosel, akan tetapi kecepatan uap keluar nosel lebih besar dari pada saat masuk kedalam nosel. Uap memancar keluar dari nosel diarahkan ke sudu-sudu turbin. Kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar poros turbin.
2. Apa bila uap masih memiliki kecepatan saat meninggalkan sudu-sudu turbin, berarti hanya sebagian energi kinetis dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin. Agar supaya energi kinetis yang tersisa masih bias digunakan, maka pada turbin didesain memiliki tingkatan sudu. Sebelum memasuki baris selanjutnya pada sudu gerak, maka diantara sudu gerak tersebut dipasang satu garis sudu tetap yang berguna untuk mengubah arah kecepatan uap, agar

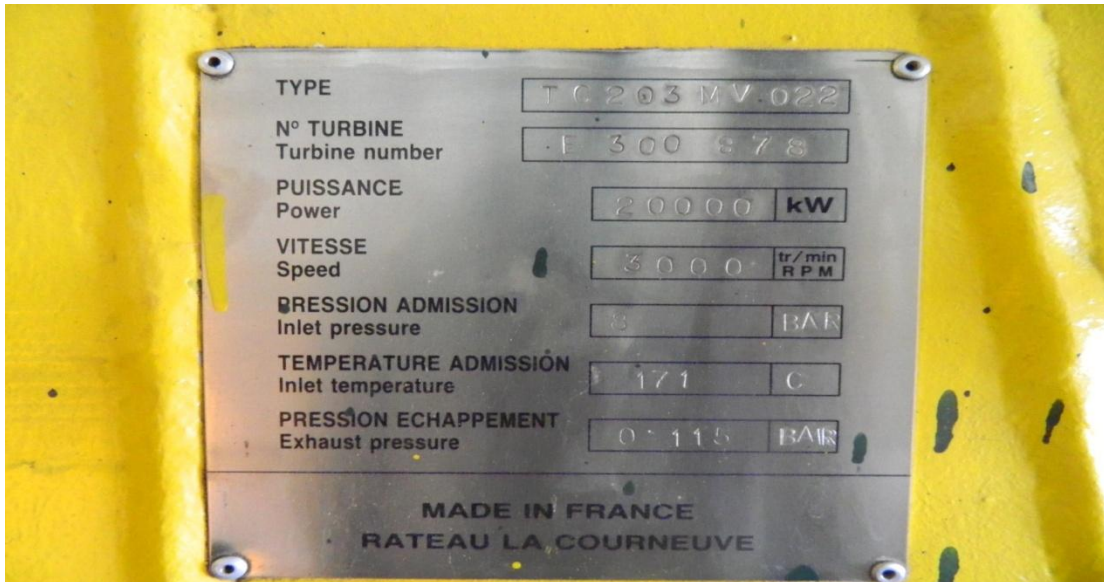
supaya uap dapat masuk ke baris selanjutnya sudu gerak dengan arah yang tepat.

3. Kecepatan uap saat meninggalkan sudu gerak terakhir harus dapat dibuat sekecil mungkin, sehingga energi kinetis yang tersedia dapat dimanfaatkan dengan lebih efisien. Dalam hal ini efisiensi turbin akan menjadi tinggi apabila losses energi yang kecil.

Untuk menopang turbin digunakan bantalan (*bearing*) yang juga berfungsi untuk menjaga rotor turbin agar tetap pada posisi normalnya. Untuk mencegah pergeseran poros dengan arah radial digunakan *Journal Bearing*, sedangkan *Thrust Bearing* digunakan untuk mencegah pergeseran dengan arah aksial. Antara *Bearing* dan poros turbin, diberikan minyak pelumas bertekanan untuk mengurangi gesekan antara bagian yang diam dan bagian yang berputar.



Gambar 2.9 Steam Turbin Unit 1 PLTP Lahendong



Gambar 2.10 Name Plate Steam Turbin Unit 1 PLTP Lahendong

Turbin PLTP Lahendong unit 1 dilengkapi komponen-komponen pembantu yaitu:

1. *Main Steam Strainer*

Main steam streamer dipasang pada *main steam inlet* sebelum *main stop valve* (MSV). Fungsinya untuk menjaga atau mencegah benda-benda asing yang terkandung dalam uap yang masuk ke turbin.

2. *Main Stop Valve*

Main stop valve (MSV) adalah sebuah katup untuk mengalirkan uap tekanan tinggi masuk kedalam turbin, serta untuk menghentikan *supply* uap tekanan tinggi tersebut pada saat turbin mengalami *emergency trip*. Posisi MSV pada saat operasi normal adalah open. MSV pada turbin unit 1 berjumlah 2 buah. MSV akan menutup karena gaya atau tekanan dari pegas (*spring*) yang

dipasang dibelakang MSV pada saat actuator menerima perintah untuk menutup.

3. *Governor Valve/Main Control Valve (MCV)*

Sebelum uap bertekanan tinggi masuk ke turbin uap, terlebih dahulu melewati MCV/*governor valve*. Fungsi MCV adalah untuk mengatur jumlah aliran uap dan menghentikan aliran uap yang akan masuk ke turbin.

4. *Turning Man*

Turning man berfungsi untuk memutar poros turbin saat unit dalam kondisi stop atau pada saat pemanasan sebelum turbin start agar tidak terjadi distorsi pada poros akibat pemanasan/pendinginan yang tidak merata. Dalam hal ini, poros siputar 180°.

5. *Journal Bearing*

Journal bearing berfungsi untuk menahan gaya radial pada poros turbin.

6. *Thrust Bearing*

Thrust bearing berfungsi untuk menahan gaya *aksial* pada poros turbin.

7. *Coupling*

Coupling berfungsi untuk memindahkan/mentransfer daya dari poros turbin ke poros generator.

Diantara *casing* dan rotor turbin terdapat celah yang dapat menyebabkan uap yang ada didalam turbin dapat keluar ke lingkungan karena perbedaan tekanan dari tinggi ke rendah. Untuk mencegah kebocoran uap tersebut digunakan fluida uap sebagai perapat poros (*gland seal steam*).

2.4. Generator

Generator adalah sebuah alat yang berfungsi untuk merubah energi mekanik putaran poros turbin menjadi energi listrik.

Tabel 2.3. Data Teknik Generator Unit 1 PLTP Lahendong

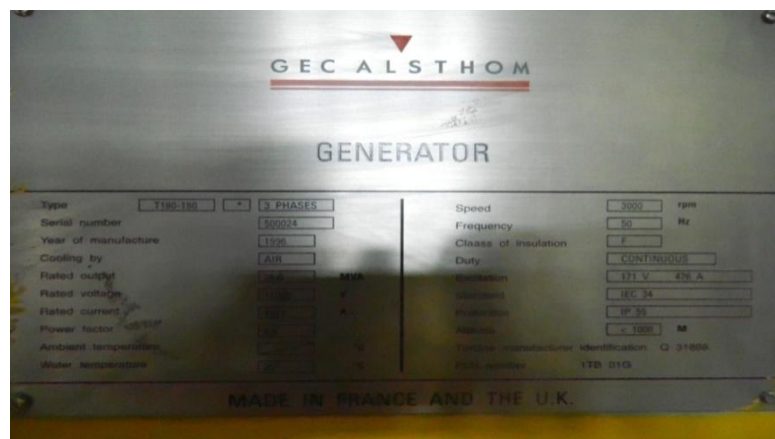
Generator	
Unit 1	
Merek	ALSTOM
<i>Output</i>	25.000 Kva
<i>Type</i>	T180-180Y 3 Phases
Putaran	3000 rpm
Tegangan	11.000 Volt
<i>Excitation</i>	GEC ALSTOM
<i>Cos φ</i>	0.8
<i>Frekwensi</i>	50 Hz
<i>Rated Current</i>	1312 A

a. Prinsip Kerja Generator

Generator bekerja berdasarkan hukum faraday yakni apabila suatu penghantar diputar dalam sebuah medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya magnet maka pada ujung penghantar tersebut akan timbulkan GGL (gaya gerak listrik) yang mempunyai satuan volt. Atau dapat didefinisikan sebagai berikut, integral garis suatu gaya listrik melalui suatu garis lengkung yang tertutup, berbanding lurus dengan perubahan per satuan waktu arus induksi, atau flux yang dilingkari oleh garis lengkung itu.



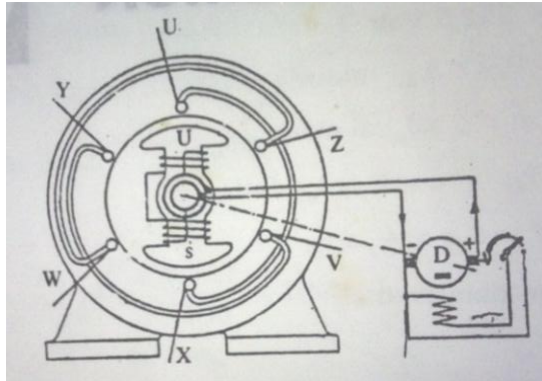
Gambar 2.11 Generator Unit 1 PLTP Lahendong



Gambar 2.12 Name Plate Generator Unit 1 PLTP Lahendong

b. Konstruksi Generator

Konstruksi generator terdiri dari dua bagian utama, yaitu bagian stator atau bagian yang diam, dan rotor atau bagian yang berputar.

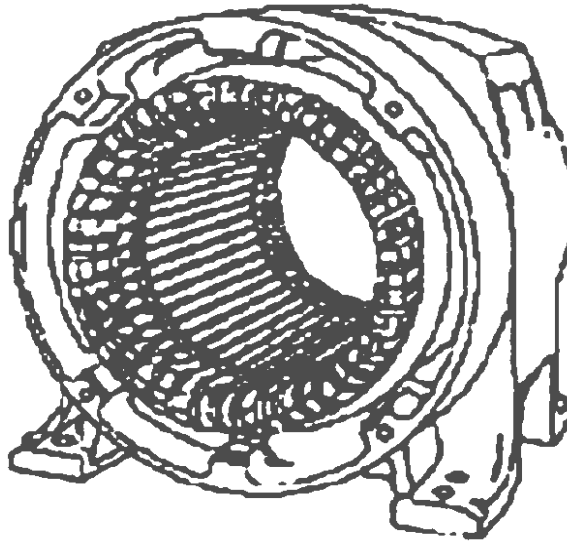


Gambar 2.13 Konstruksi Generator

2.4.1. Stator

Stator atau bagian yang diam terdiri dari bagian luar (rangka stator) dan bagian dalam. Rangka stator terbuat dari besi tuang dan merupakan rumah dari semua bagian generator. Agar generator yang dihasilkan berkualitas, maka rangka luar stator harus tahan terhadap getaran selama mesin bekerja maupun pada saat stress mekanik, seperti pada saat terjadi hubung singkat. Bagian dalam stator dibuat dari kumpulan laminasi lembaran baja (dengan permeabilitas yang tinggi) dan mempunyai banyak slot yang mengelilingi pinggiran dalamnya. Laminasi ini diisolasi satu sama lain. Jumlah slot yang dibutuhkan tergantung pada ukuran mesin, jumlah kutub, dan jumlah kumparan per kutub per fasa. Bagian dalam stator dirancang bentuk lembaran agar dapat mengurangi rugi-rugi arus pusar (eddy current). Kumpulan laminasi ini disatukan untuk membentuk bagian yang

padu melalui baut dan disatukan dengan rangka stator melalui pengelasan atau pengikatan yang kuat (pada beberapa mesin yang berukuran kecil).



Gambar 2.14 Rangka Stator Beserta Kumpanan Jangkarnya

2.4.2. Rotor

Rotor merupakan bagian yang berputar pada generator sinkron. Kumpanan medan diletakkan pada rotor, dan disuplai oleh tegangan DC. Seperti halnya stator, rotor juga terdiri dari laminasi-laminasi untuk mengurangi rugi-rugi arus pusar. Jumlah kutub pada rotor, harus sama dengan jumlah kutub pada stator. Pada rotor itu sendiri, memiliki kutub-kutub magnet dengan banyaknya lilitan-lilitan dimana kawatnya dialiri oleh arus yang satu arah. Dimana kutub-kutub rotor itu sendiri memiliki dua jenis rotor. Yang pertama adalah jenis rotor kutub yang memiliki kutub yang menonjol (salient), jenis rotor kutub yang menonjol ini memiliki tipe yang dapat digunakan untuk generator dengan kecepatan rendah hingga menengah.



Gambar 2.15 Penampang rotor silinder pada generator

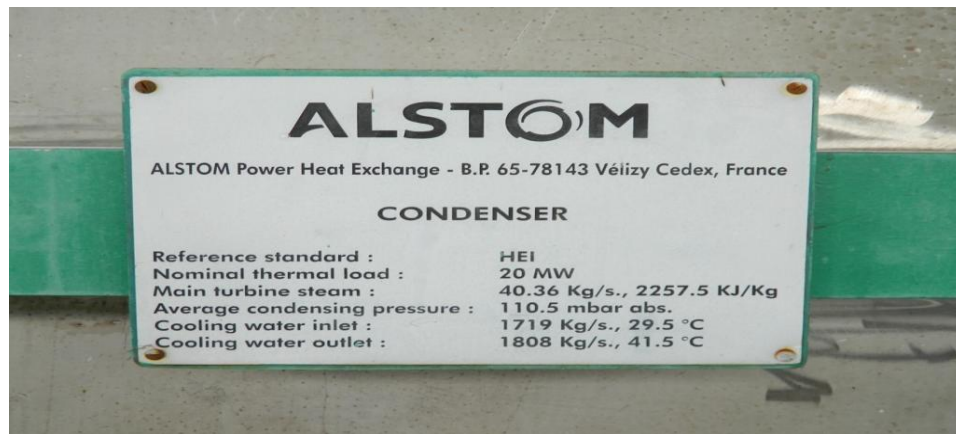
2.5. Condenser

Condenser adalah suatu alat untuk mengkondensasikan uap bekas dari turbin dengan kondisi tekanan yang hampa. Secara sederhana fungsi *condenser* yaitu mengubah bentuk air dari gas menjadi cair (*liquid*). Proses berubahnya bentuk uap menjadi air yang terjadi di dalam *condenser* disebut pengembunan. Pengembunan ini membutuhkan air yang berasal dari *cooling tower* yang kemudian di injeksikan melalui *spray nozzle*. Kemudian, air yang terkondensasi tersebut dihisap oleh *Main Cooling Water Pump* (MCWP) dan kembali lagi ke *cooling tower*, yang membentuk siklus tertutup.

PLTP Lahendong unit 1 menggunakan *condenser* dengan tipe kontak langsung (*direct contact condenser*). Tipe kondenser ini memiliki ukuran yang kecil serta biaya investasi dan perawatan yang murah. *Condenser* kontak langsung memiliki efisiensi yang lebih besar dibandingkan *Condenser* permukaan.



Gambar 2.16 Main Condenser Unit 1 PLTP Lahendong



Gambar 2.17 Name plate Condenser Unit 1 PLTP Lahendong

Pada *Condenser* terdapat *level transmitter* yang berfungsi untuk mengontrol ketinggian air di dalam *condenser*. Terdapat 4 buah *level contro lyaitu* dengan indikator high, high-high, low dan low-low. Pada saat indikator high atau low, maka sistem akan *alarm*. Sedangkan apabila indikator high-high atau low-low maka sistem akan *trip*.

Untuk mengontrol level air dalam *condenser*, terdapat juga katup-katup yang terintegrasi dengan *level transmitter*. Katup-katup tersebut yaitu:

1. *Inlet Valve*

Katup *inlet valve* berfungsi untuk mengatur jumlah air pendingin yang masuk pada *main condenser*.

2. *Outlet Valve*

Katup *outlet valve* berfungsi mengatur jumlah air yang keluar dari *main condenser*.

3. *Minimum Flow Valve*

Katup *minimum flow valve* berfungsi mensirkulasikan air dari *main condenser* yang kembali ke *main condenser* saat *main cooling water pump* pertama kali dioperasikan (tekanan pada *main condenser* belum vakum).

Katup-katup pada *main condenser* bekerja berdasarkan sinyal listrik (4-20) mA yang ditransmisikan oleh *level transmitter*.

2.6. Main Cooling Water Pump (MCWP)

Main cooling water pump adalah pompa utama yang berfungsi untuk memompakan air kondensat dari kondensor ke cooling tower untuk kemudian didinginkan. Pada PLTP Lahendong unit 1 terdapat 2 buah MCWP. Dua pompa sentrifugal air pendingin tipe can dipergunakan untuk mengalirkan air pendingin dari kondensor menuju *cooling water*. Pompa tersebut di start dan di *stop switch* pada system DCS (*Distributed Control System*), pompa-pompa tersebut membutuhkan air pendingin untuk perapatt porosnya. Saat pompa MCWP di start sebuah *solenoid valve* secara otomatis akan memasukkan air dari *primary intercooler* ke perapat-perapat .



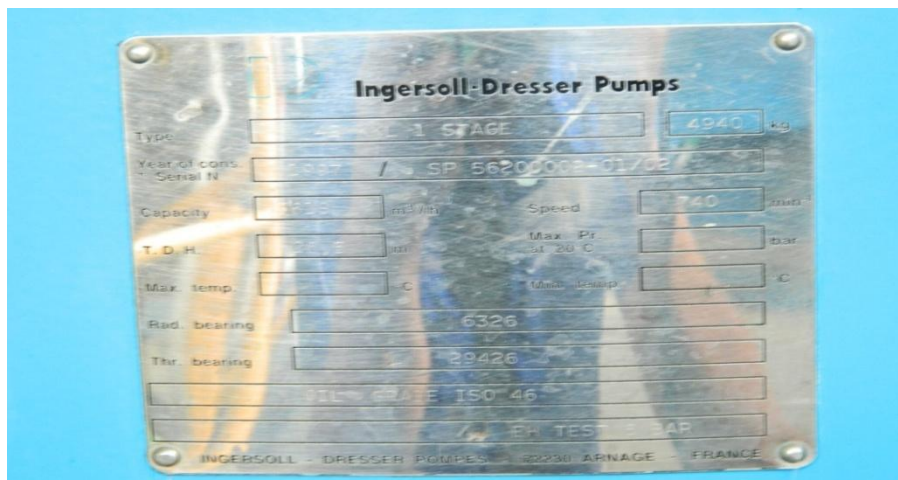
Gambar 2.18 Main Cooling Water Pump Unit 1 PLTP Lahendong

Bila pompa MCWP telah beroperasi, *solenoid valve* akan menutup dan air yang keluar dari pompa sebagian kecil akan di gunakan untuk perapat, *flow switch* akan mendeteksi aliran-aliran rendah (*insufficient*), secara otomatis pompa akan berhenti.

Pompa ini harus selalu ada aliran air yang melalui bila sedang beroperasi. Untuk memastikan di pasangkan sebuah *recirculating valve*. Katup-katup ini akan selalu dalam posisi terbuka kecuali *Outlet* MCWP sudah pada posisi terbuka. Oleh karena aliran sirkulasi selalu di pertahankan pada saat pompa sedang beroperasi, kedua motor pompa *interlock* dengan alat pengaman yang mendeteksi suhu bantalan tinggi, getaran, getaran yang berlebihan, gangguan listrik pada motor atau tegangan terlalu rendah, dan level air kondenser yang terlalu rendah dan bila ada sinyal dari salah satu alat pengaman tersebut, maka motor pompa akan berhenti. Tombol tekan lokal (setempat) di dekat motor dipergunakan untuk menghentikan pompa bila keadaan darurat.



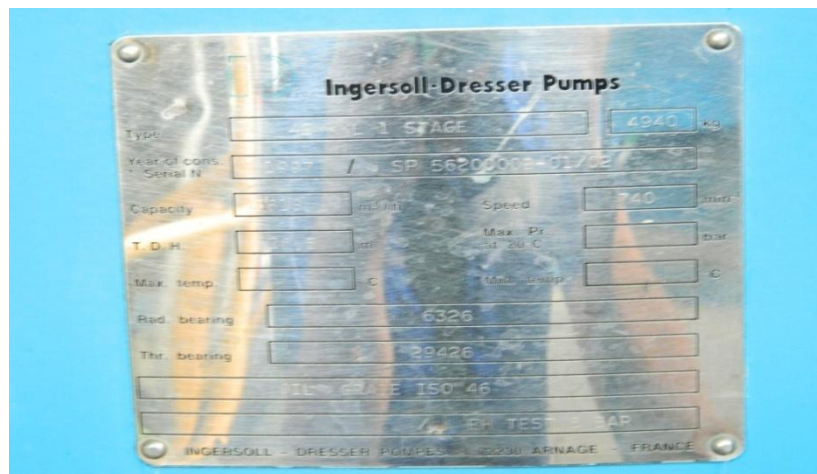
Gambar 2.19 Main Cooling Water Pump A



Gambar 2.20 Name Plate Main Cooling Water Pump A



Gambar 2.21 Main Cooling Water Pump B



Gambar 2.22 Name Plate Main Cooling Water Pump B

Untuk mengoperasikan MCWP, terdapat panel listrik yang berfungsi mengendalikan dan melindungi MCWP dari gangguan. MCWP unit 1 PLTP Lahendong menggunakan tegangan 3 fasa 400V dengan hubungan star-delta. Fungsi star-delta yaitu untuk menghindari arus start motor yang tinggi. Pada panel MCWP juga terdapat beberapa proteksi seperti TOR (*Thermal Overload Relay*) dan Thermal Relay.

2.7. Menara Pendingin (*Cooling Tower*)

Air yang keluar dari kondenser akan dipompakan ke *cooling tower* oleh MCWP. Air yang dipompakan tersebut masuk ke *cooling tower* melalui bagian atas dan disemprotkan ke menara melalui *spray nosse* sehingga air akan menjadi butiran-butiran yang halus dan didinginkan oleh kipas pendingin *cooling tower*.



Gambar 2.23 Cooling Tower Unit 1 PLTP Lahendong

Setelah proses pendinginan terjadi, air akan turun karena gaya gravitasi yang menarik air turun menuju bak penampungan air dingin (*cool water basin*). Air dingin tersebut kemudian disaring oleh *filter cooling tower* dan dikembalikan ke *main condenser*. *Filter cooling tower* dibersihkan seminggu sekali dalam kondisi normal dan dibersihkan 2 kali seminggu apabila angin kencang dan hujan.



Gambar 2.24 Penampang samping bagian atas *cooling tower* unit 1.

Tampak uap keluar dari permukaan *cooling tower* menuju ke udara bebas.

Pada menara pendingin di PLTP Lahendong unit 1 terdapat tiga buah kipas hisap paksa aksial. Kipas ini berfungsi untuk menghisap uap air yang telah melewati sirip-sirip menara pendingin yang telah melakukan pertukaran panas dengan air pada *main condenser*. Kipas-kipas tersebut digerakkan oleh motor listrik yang terdapat di bagian atas *cooling tower*.



Gambar 2.25 Motor Fan Cooling Tower

2.8. *Primary Cooling Water Pump (PCWP)*

Primary cooling water pump di PLTP Lahendong unit 1 dan terdapat 2. PCWP berfungsi untuk memompakan air dari menara pendingin untuk mengkondensasikan uap di *flash tangk*, *inter condenser* dan *after condenser*. PCWP juga berperan sebagai media pendingin untuk *secondary cooling water system* dengan cara *heat exchanger* (penukar panas). Dalam hal ini, PCWP bertindak sebagai pembantu (*auxiliary*) dan dioperasikan secara *sequence*.



Gambar 2.26 PCWP Unit 1 PLTP Lahendong

2.9. *Secondary Cooling Water Pump (SCWP)*

Secondary cooling water pump merupakan suatu motor listrik yang berfungsi untuk memompakan air untuk mendinginkan generator, mendinginkan minyak (*oil*) dan udara dari *compressor* melalui sistem *heat exchanger*.



Gambar 2.27 SCWP Unit 1 PLTP Lahendong

SCWP di PLTP Lahendong unit 1 dan 2 masing-masing terdapat 2 buah, dimana SCWP bertindak sebagai *auxiliary equipment* dan dioperasikan secara *sequence*.

BAB III

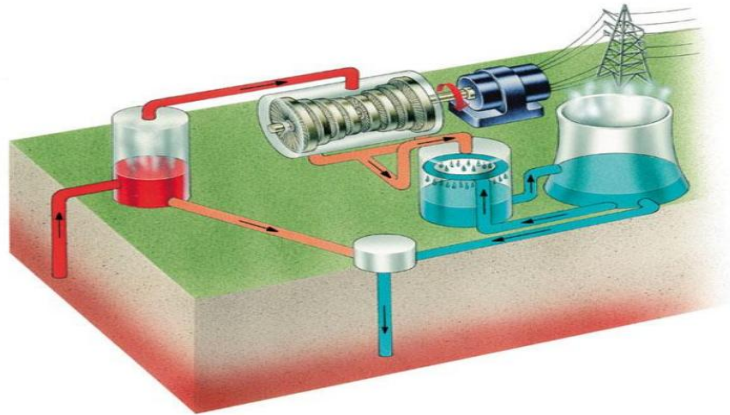
PENGOPERASIAN TURBIN UAP DALAM PROSES KONVERSI ENERGI

3.1 TEKNIK KONVERSI ENERGI

Konversi Energi (Energy Conversion) merupakan perubahan bentuk energi dari yang satu menjadi bentuk energi lain. Konversi Energi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi berbeda dengan konversi energi pembangkit listrik pada umumnya. PLTP merupakan pembangkit listrik yang menggunakan tenaga dari panas bumi berupa uap sebagai sumber energinya (energi *primer*). Selanjutnya sama seperti pembangkit listrik pada umumnya, uap dari panas bumi ini digunakan untuk memutar turbin yang akan memutar pula generator, sehingga listrik bisa dihasilkan.

Dalam proses konversi energi panas bumi (uap) dimana berawal dari sumur-sumur produksi (sumur bor) ini akan menghasilkan uap. Uap selanjutnya akan dialirkan menuju separator untuk memisahkan uap dengan air. Umumnya energi panas bumi ini menghasilkan fluida 2 fasa, yaitu uap dan air. Setelah bersih, uap ini akan dialirkan ke turbin sehingga terjadi konversi energi dari Energi Potensial (Entalpi) uap menjadi Energi Kinetik yang diterima oleh sudu-sudu Turbin. Turbin yang dikopel dengan generator akan menyebabkan generator berputar saat turbin berputar sehingga terjadi konversi dari Energi Kinetik menjadi Energi Mekanik dan Generator berputar menghasilkan Energi Listrik (*Electricity*).

Uap yang keluar dari turbin selanjutnya akan masuk ke *condensor* untuk dikondensasikan. Uap akan berubah wujudnya menjadi cair yang disebut dengan kondensat. Kondensat ini kemudian dialirkan ke menara pendingin (*Cooling Tower*) untuk mendinginkan suhunya. Lalu air yang sudah relatif dingin ini diinjeksikan kembali ke dalam bumi melalui sumur injeksi. Inilah yang menjadikan energi panas bumi sebagai energi yang berkelanjutan atau energi yang dapat diperbaharui kembali.



Gambar 3.1 Siklus Konversi Energi Panas Bumi

3.2 PENGOPERASIAN PLTP LAHENDONG

Untuk mengoperasikan unit PLTP Lahendong, menggunakan SOP (Standar Operating Procedure). Berikut pengoperasian pada PLTP Lahendong unit 1 yang tercantum pada SOP :

1. URAIAN INSTRUKSI KERJA

1.1 PERALATAN KERJA

1. Radio Komunikasi
2. Lampu Senter
3. ATK

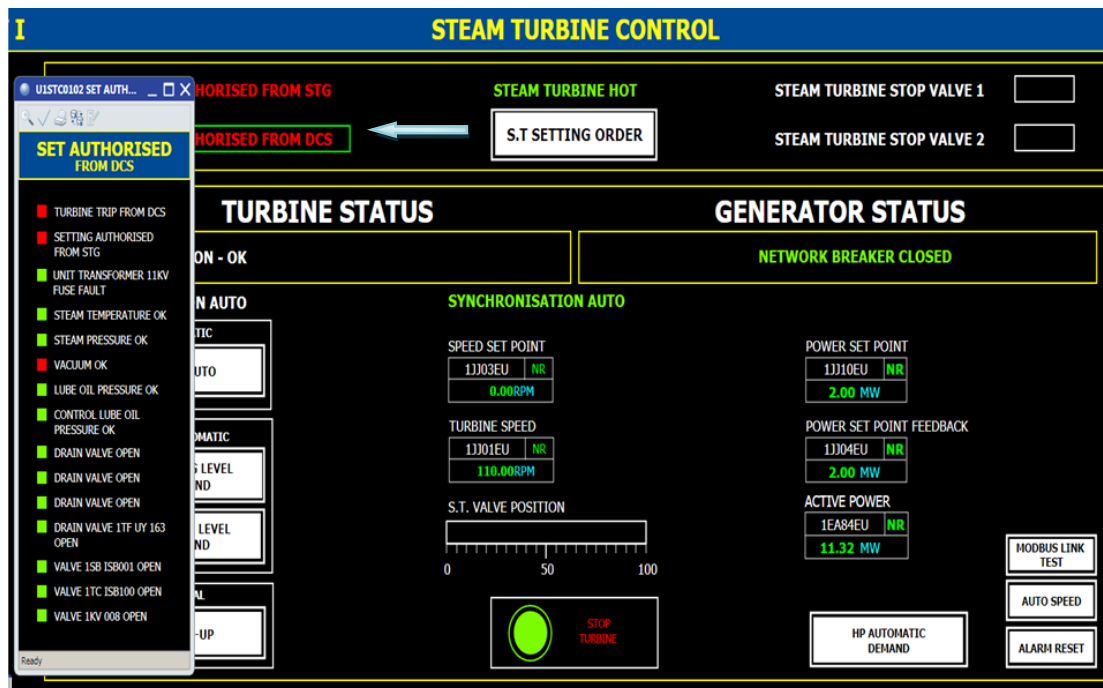
1.2 LANGKAH KERJA

A. START UNIT

**A.1. START UP UNIT DENGAN KONDISI DINGIN SECARA
MANUAL (0-3000 RPM)**

- A.1.1. Periksa dan pastikan sistem elektrik, DCS dan sistem udara Instrument kondisi normal.
- A.1.2. Periksa dan pastikan kondisi peralatan bantu (steam supply system, LO system, MCW system, PCW system, SCW system, NCG system, gland seal system, reinjection system) siap untuk dijalankan.
- A.1.3. Koordinasikan dengan dispatcher AP2B-10 bahwa unit siap di Operasikan.
- A.1.4. Operasikan Secondary Cooling Water System dari HIS (lihat IK No.SMM-LHD-IK-O-003)
- A.1.5. Operasikan Primary Cooling Water System dari HIS (lihat IK No.SMM-LHD-IK-O-004)
- A.1.6. Operasikan Lube Oil System (lihat IK No. SMM-LHD-IK-O-002)
- A.1.7. Operasikan Main Cooling Water System dari HIS (lihat IK No.SMM-LHD-IK-O-005)
- A.1.8. Operasikan Steam Supply System dari HIS(lihat IK No.SMM-LHD-IK-O-006)
- A.1.9. Operasikan Gland Seal System dari HIS (lihat IK No.SMM-LHD-IK-O-007)
- A.1.10. Operasikan NCG system dari lokal(lihat IK No.SMM-LHD-IK-O-008)
- A.1.11. Pantau dan pastikan tekanan vacum sisi exhaust turbin telah mencapai dibawah 180 mbar absolute dari display Non Condensable Gas di HIS
- A.1.12. Operator Control room dan OTG saling menginformasikan kondisi MSV, governor, turbin dan generator baik lewat HIS dan local.

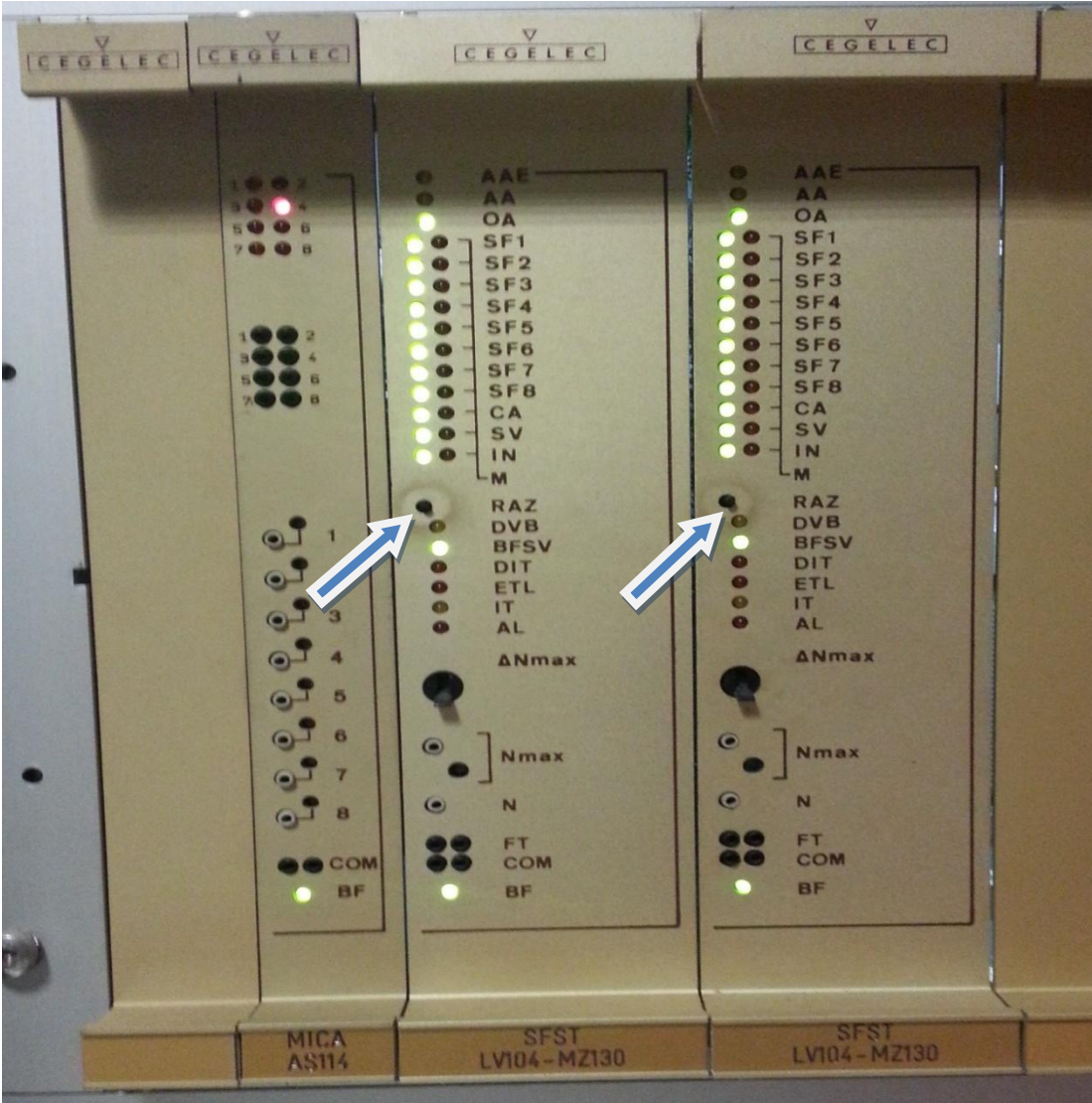
A.1.13. Cek kalau semua tanda pada SET AUTHORISED sudah berwarna hijau



ket : → diklik

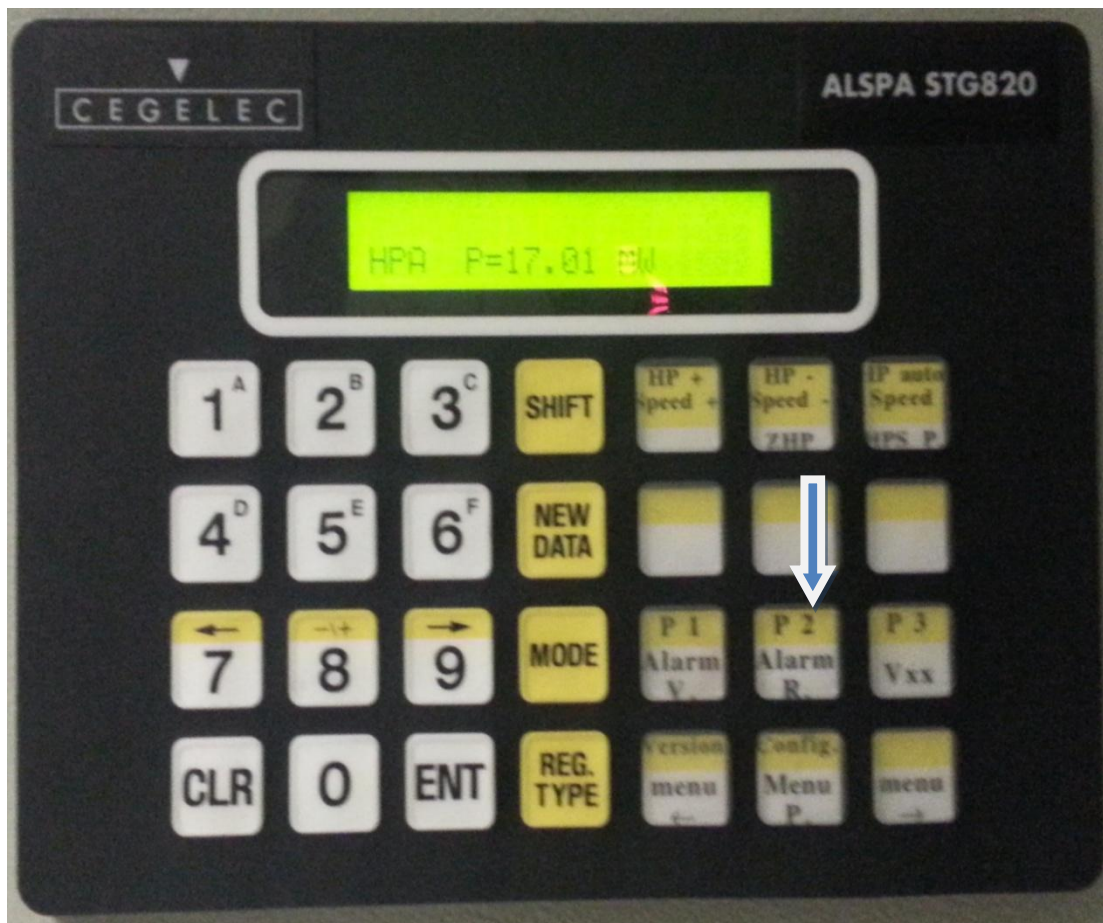
A.1.14. jika masih ada yang merah, cek atau reset peralatan-peralatan yang masih berwarna merah

Panel Turbine 1 JJ O1F (lokasi Relay Room)



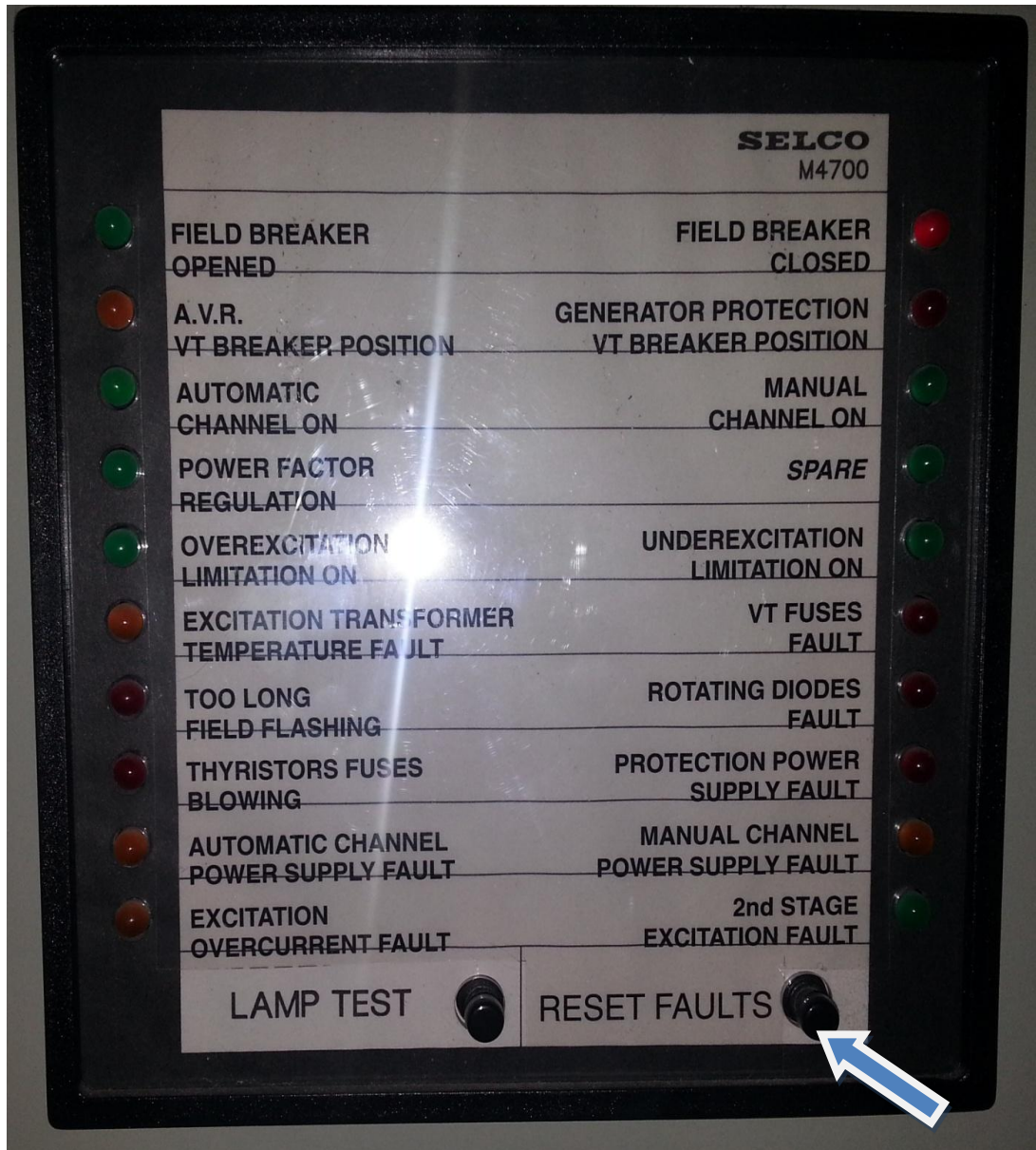
ket : ➡ direset

Panel Turbine 1 JJ O1F (lokasi Relay Room)



ket . ➡ direset sampai alarm yang muncul di display hilang

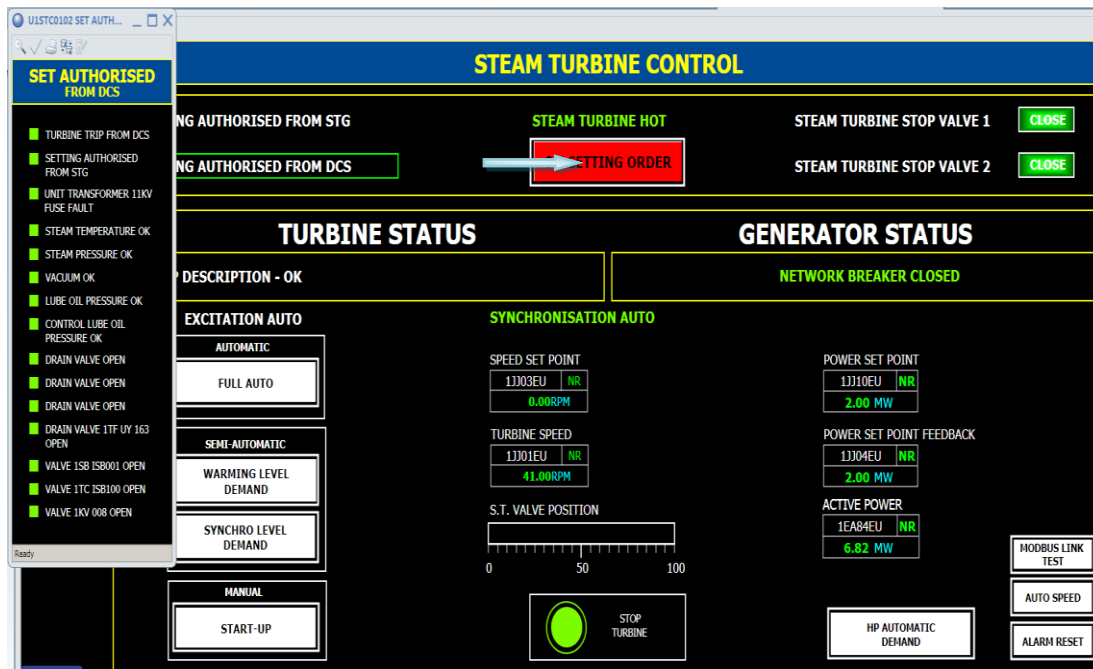
Panel EXCITATION – REGULATION PROTECTION CUBICLE (lokasi Relay room)



ket : ➡ direset

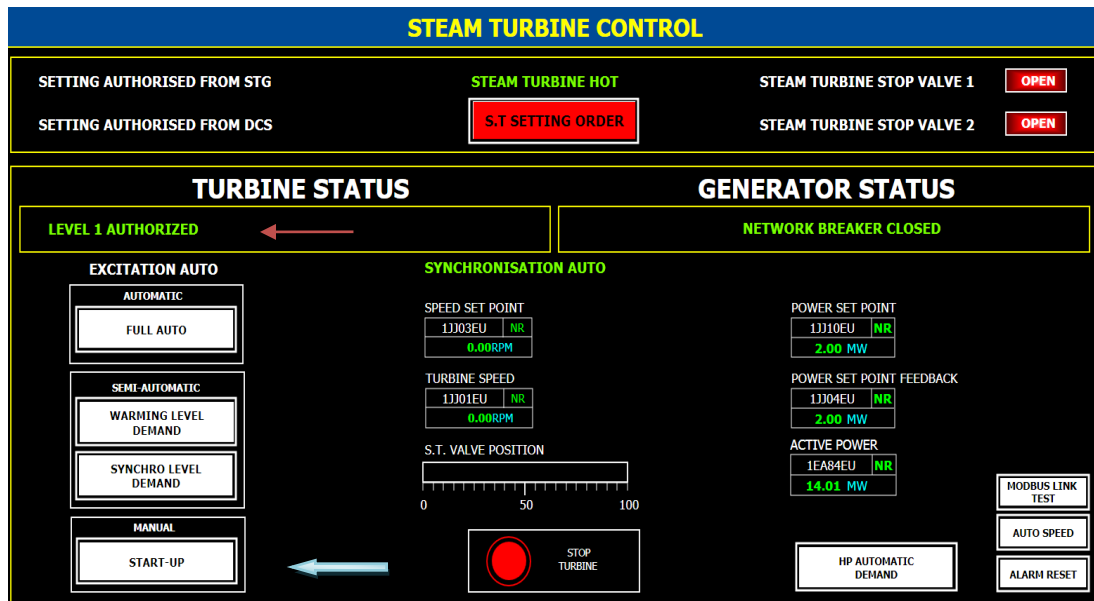
- A.1.15. Apabila semua tanda pada SET AUTHORISED sudah berwarna hijau , buka MSV 1 dan MSV 2 dengan mengklik ikon

ST. TURBINE GENERATOR SET pada display Steam Turbine Control di HIS untuk proses pemanasan turbin.



ket : ➡ diklik

A.1.16. Setelah ± 30 menit MSV 1 dan MSV 2 terbuka, **Turbine Status** akan berubah “**Level 1 Authorized**” muncul di display Steam Turbine Control di HIS



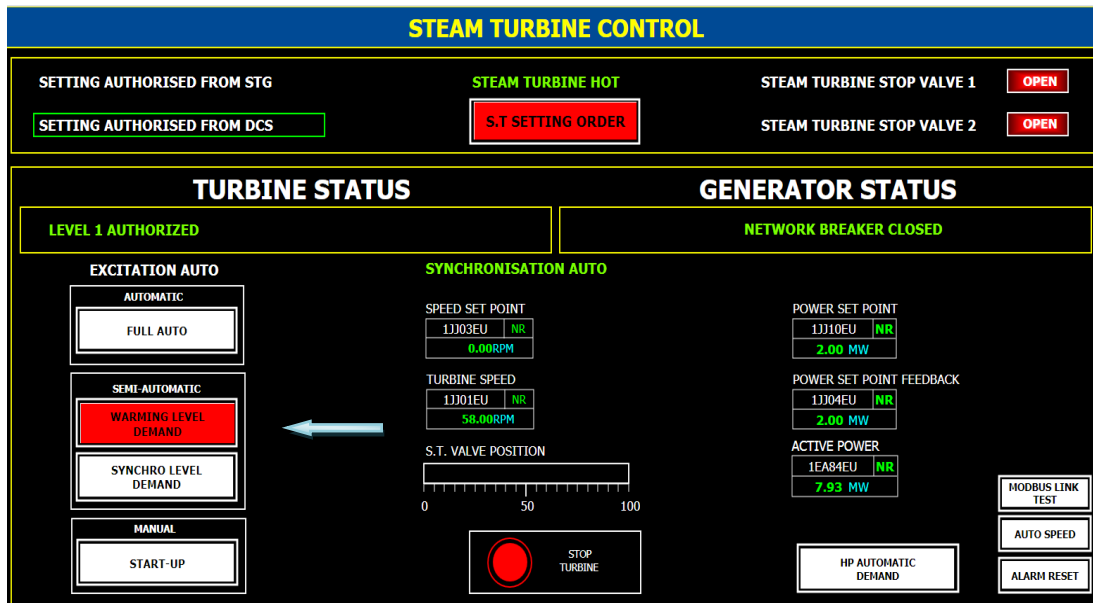
Ket : ← dicek (point A.1.16)

← diklik (point A.1.17)

A.1.17. Naikkan setting putaran turbin secara manual sampai ± 110 RPM pada display Steam Turbine Control di HIS dan turbin mulai berputar sampai dengan ± 125 rpm, Apabila putaran turbin masih ada dapat langsung naikkan putaran ke 800 rpm (point A.1.19)

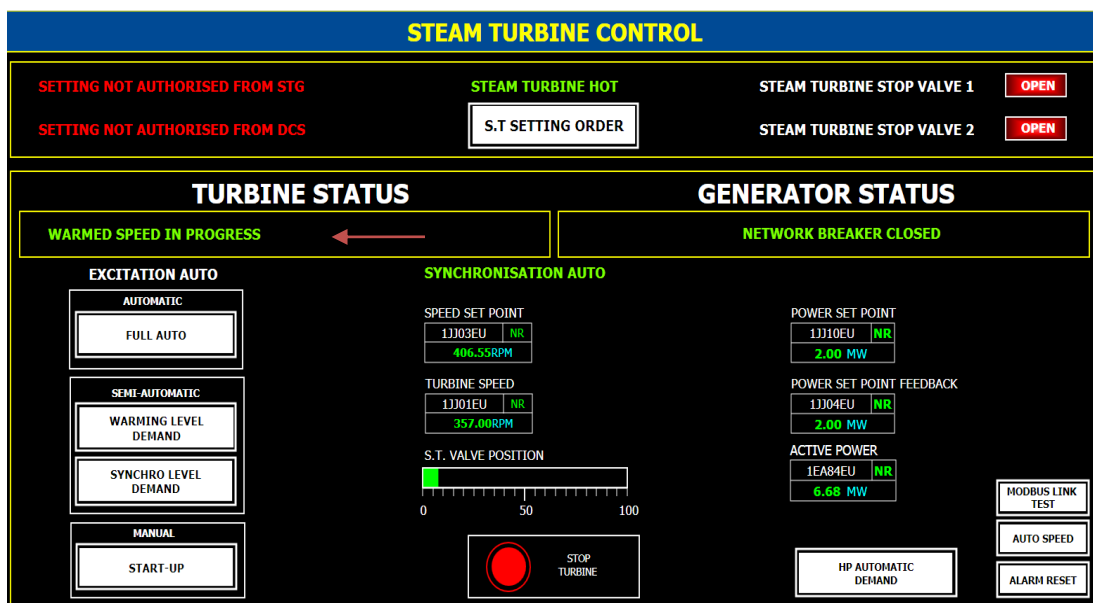
A.1.18. Setelah turbin berputar, monitor dan pastikan kondisi vibrasi turbin dan generator normal (indikasi di display Turbine Supervisory, untuk bearing turbin $< 20 \mu\text{m}$ dan bearing generator $< 40 \mu\text{m}$)

A.1.19. Naikkan putaran turbin menjadi 800 RPM dengan mengklik **Warming Level Demand** pada display Steam Turbine Control di HIS.

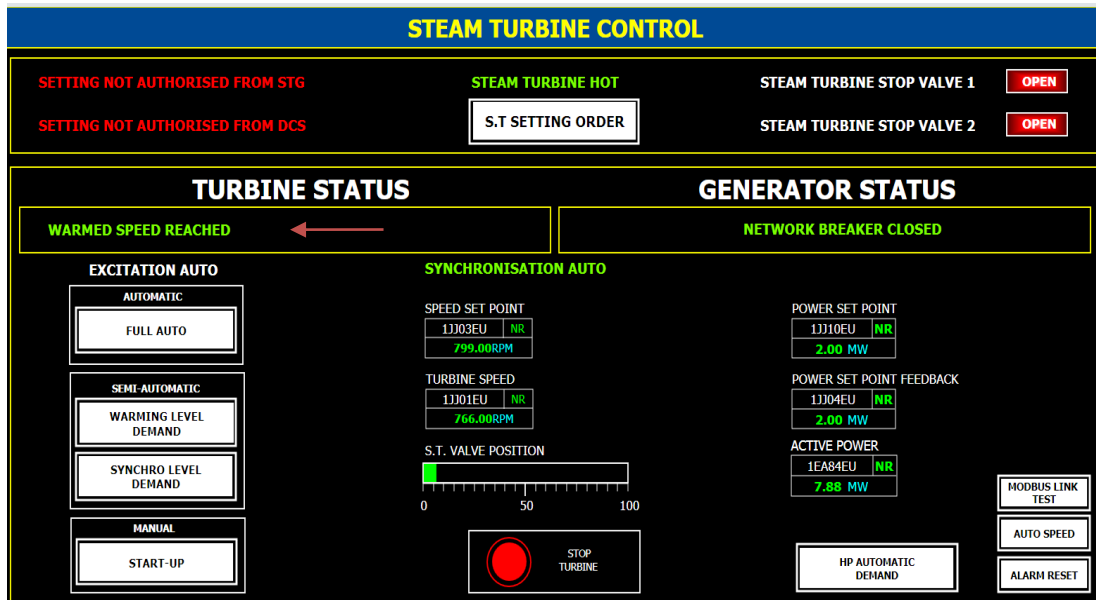


Ket : ← diklik

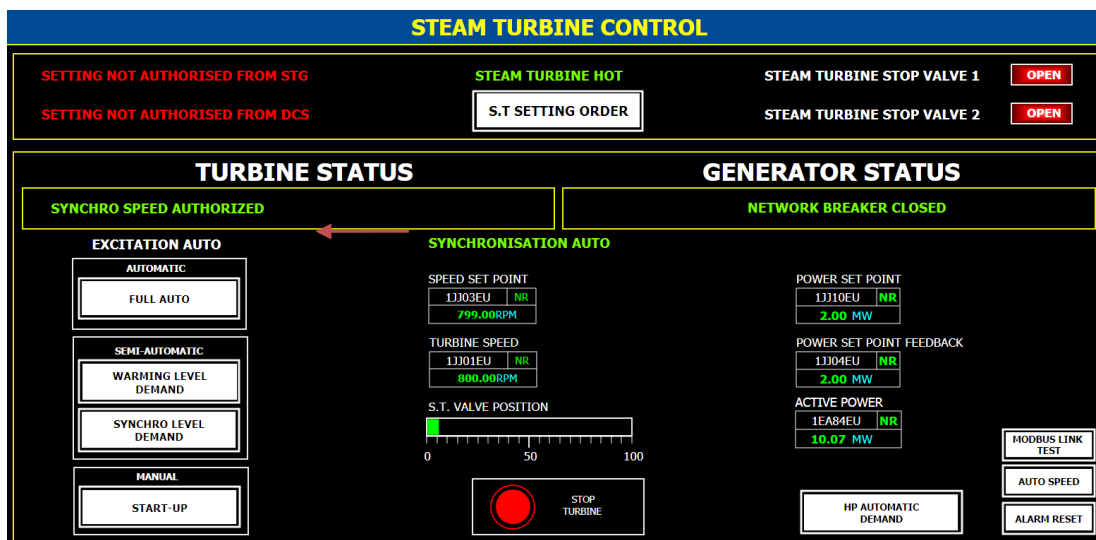
A.1.20. Saat putaran naik menuju 800 rpm STATUS TURBIN menunjukkan **WARMED SPEED IN PROGRESS**



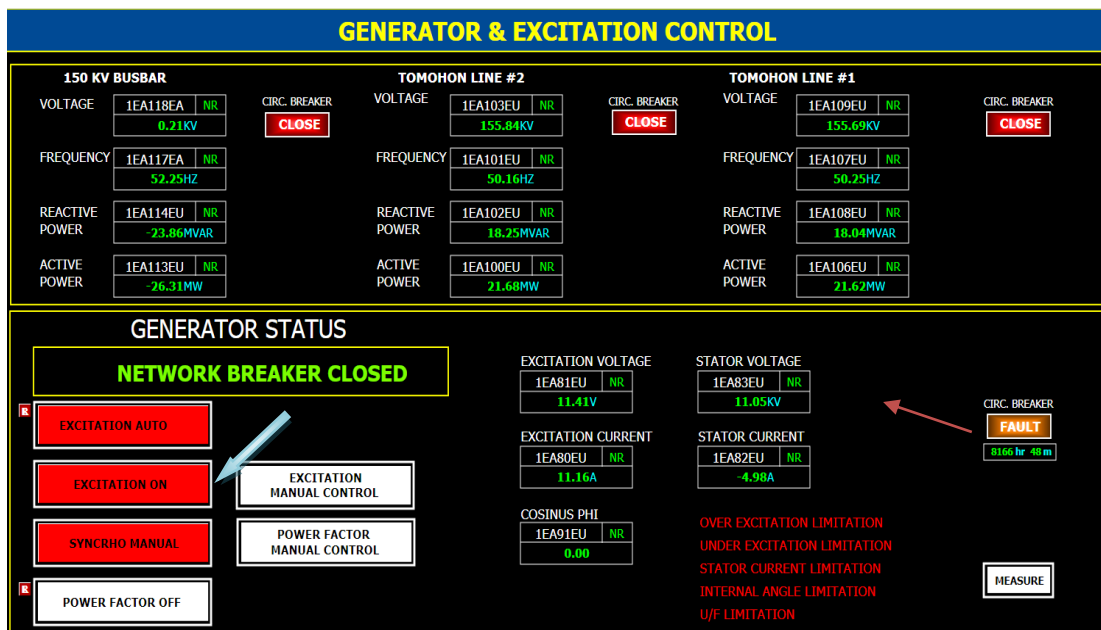
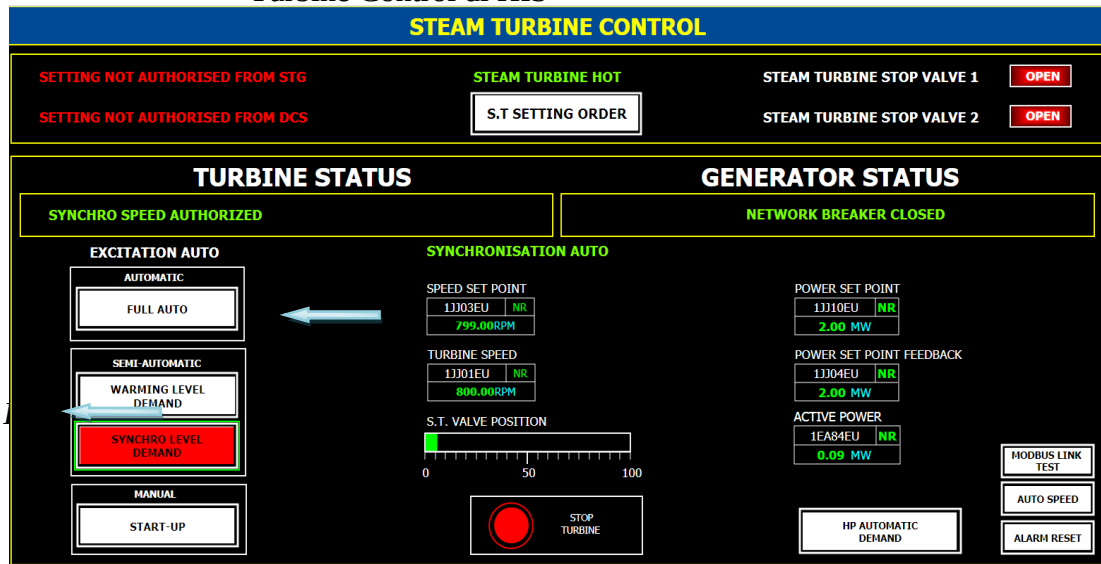
A.1.21. Setelah putaran turbin menjadi 800 rpm, **STATUS TURBIN** menunjukkan **WARMED SPEED REACHED**.



A.1.22. Setelah ± 30 menit putaran turbin 800 RPM, muncul teks “**SYNCHRO SPEED AUTHORIZED**” pada display Steam Turbine Control di HIS dan pastikan kondisi vibrasi turbin dan generator normal

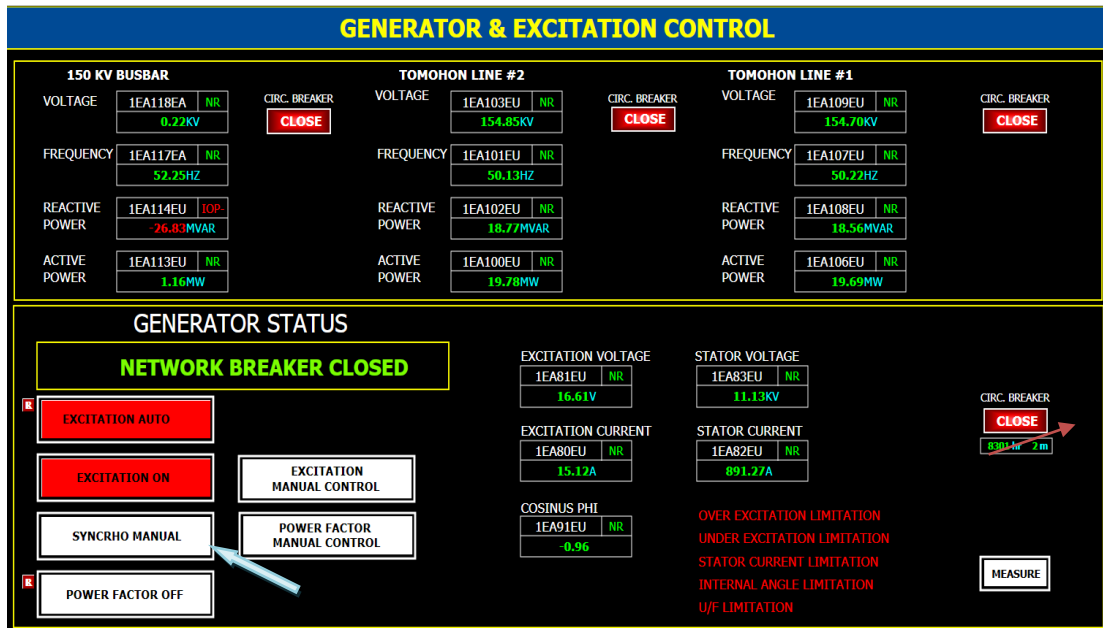


A.1.23. Naikkan putaran turbin menjadi 3000 RPM dengan mengklik ikon **SYNCHRO LEVEL DEMAND** pada display Steam Turbine Control di HIS



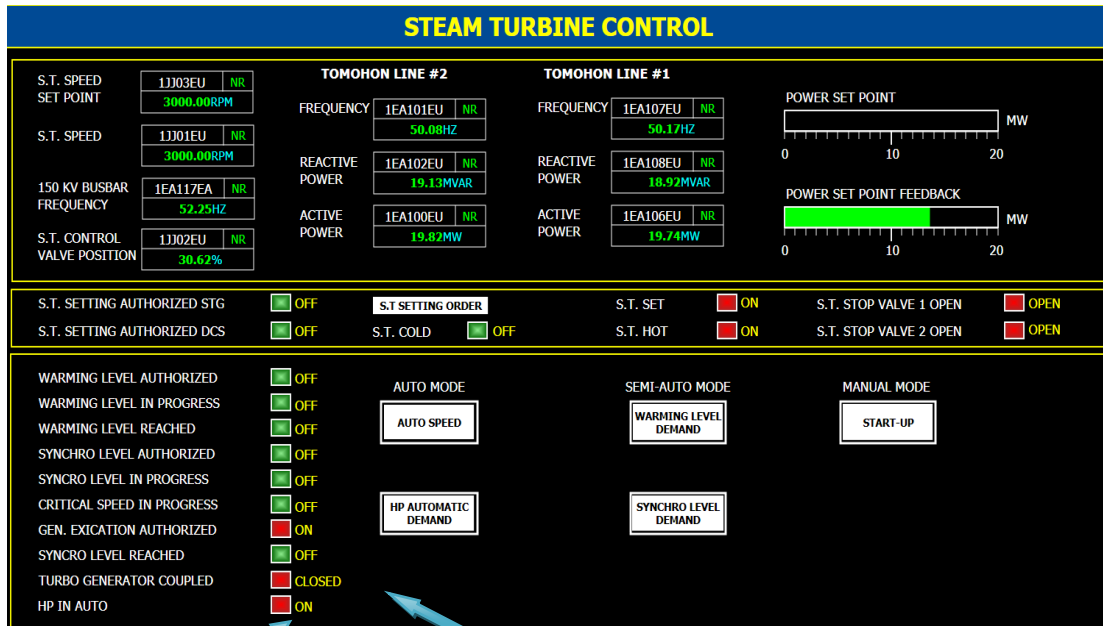
Ket :  Diklik,  Cek Tegangan

A.1.25. Setelah tegangan Generator (Stator Voltage) mencapai 11 KV ,
klik **SYNCRO MANUAL**



Ket : ← diklik

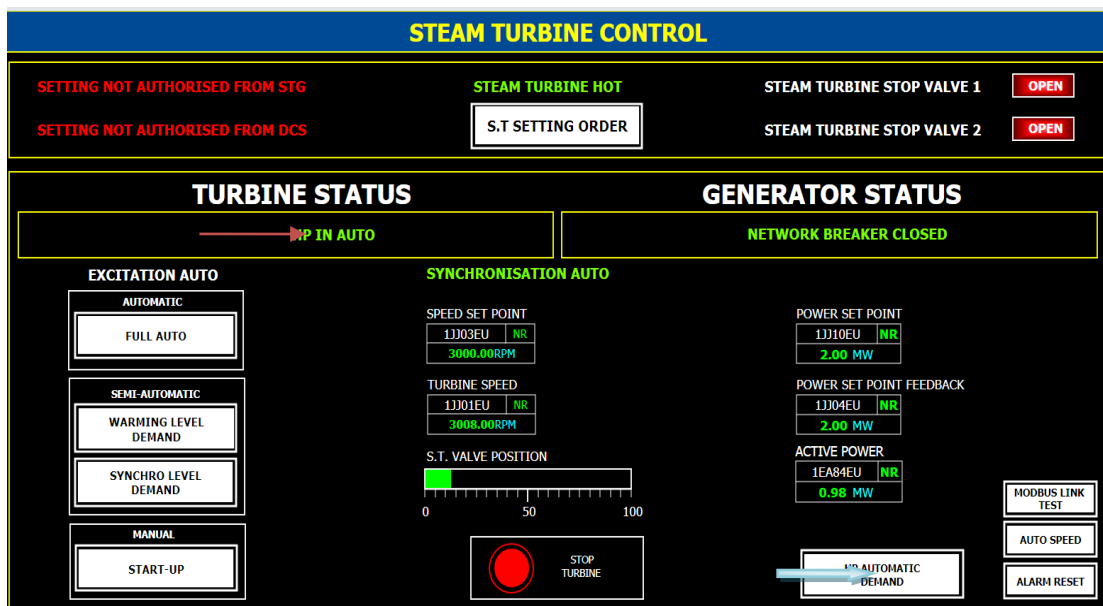
→ Cek indikasi, posisi **CLOSE** sudah Synchro



Gbr. A.1.26

Ketika Synchro PMT masuk maka akan berubah status berwarna merah dan tulisan

A.1.26. Setelah Synchro klik **HP AUTHOMATIC DEMAND** maka **TURBINE STATUS** berubah **HP IN AUTO** sehingga beban akan otomatis naik menjadi 2 MW



Ket : diklik

- A.1.27 Naikkan beban sambil berkoordinasi dengan Dispatcher AP2B-10 dan pihak Pertamina dengan memonitor terus semua peralatan yang beroperasi yang muncul di HIS dan lokal. baik Level, Temperatur, Vibrasi, Tekanan dll.
- A.1.28 Ketika beban mencapai 4 MW, tutup drain Turbine, drain Pipa line dan drain-drain flash tank
- A.1.29 Lakukan cek round keseluruhan peralatan yang beroperasi dan yang standby.

B. SHUTDOWN / MENGHENTIKAN MESIN

- B.1.1. Turunkan beban secara bertahap sampai $\pm$ 4 MW dengan berkoordinasi dengan dispatcher AP2B-10 dan operator Pertamina.
- B.1.2. Apabila beban mencapai 4 MW, buka 3 buah katup drain turbin.
- B.1.3. Turunkan setting beban generator dari 4 MW ke 2 MW secara bertahap dengan berkoordinasi dengan dispatcher AP2B-10.
- B.1.4. Pada beban 2 MW, informasikan ke dispatcher AP2B-10 bahwa PMT SE 4.1 siap dilepas.
- B.1.5. Turunkan setting beban generator dari 2 MW ke 1 MW.
- B.1.6. Setelah beban 1 MW, klik ikon Turbin Stop pada display Steam Turbine Control, maka turbin akan stop dan PMT SE 4.1 secara auto akan lepas/off.
- B.1.7. Informasikan ke dispatcher AP2B-10 bahwa PMT SE 4.1 lepas/off.
- B.1.8. Apabila vacuum breaker tidak membuka secara otomatis, buka vacuum breaker di PCV secara manual. Dan bila vacuum breaker masih tidak membuka, buka vacuum breaker secara manual di lokal.

- B.1.9. Tutup secara manual katup utama suplai uap ke NCG system (1 SB 008) dan katup sisi masuk uap ke ejector NCG (1 SB 006A dan 1 SB 006B) yang operasi.
- B.1.10. Tutup katup suplai uap ke gland seal system dan katup pengontrol tekanan uap gland seal system secara manual dari PCV.
- B.1.11. Tutup katup (1 KV 008) suplai PCW ke inter/after kondensor NCG dari PCV.
- B.1.12. Tutup katup utama suplai uap masuk demister (1 SB 001) dari PCV.
- B.1.13. Buka katup drain pada Atmospheric Flash Tank dan katup drain pipa line.
- B.1.14. Hentikan MCWP dari PCV.
- B.1.15. Tutup katup suplai air pendingin mechanical seal MCWP.
- B.1.16. Hentikan fan cooling tower dari PCV.
- B.1.17. Nyatakan unit telah stop dan periksa kembali keadaan unit di lokal.

C. DOKUMEN TERKAIT

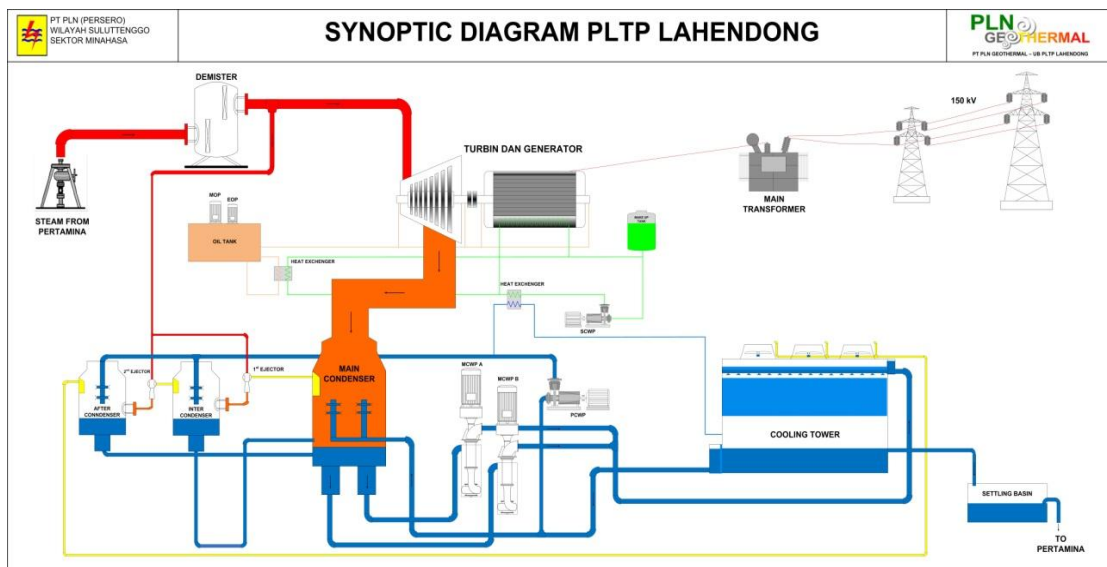
- C.1.1 Instruksi Kerja Pengoperasian Sistem Minyak Pelumas (SMM-LHD-IK-O-002)
- C.1.2 Instruksi Kerja Pengoperasian Sistem Pendingin Sekunder (SMM-LHD-IK-O-003)
- C.1.3 Instruksi Kerja Pengoperasian Sistem Pendingin Primer (SMM-LHD-IK-O-004)
- C.1.4 Instruksi Kerja Pengoperasian Sistem Pendingin Utama (SMM-LHD-IK-O-005)

C.1.5 Instruksi Kerja Pengoperasian Sistem Suplai Uap (SMM-LHD-IK-O-006)

C.1.6 Instruksi Kerja Pengoperasian Sistem Gland Seal (SMM-LHD-IK-O-007)

C.1.7 Instruksi Kerja Pengoperasian Sistem Gas Tak Terkondensasi (SMM-LHD-IK-O-008)

D. LAMPIRAN



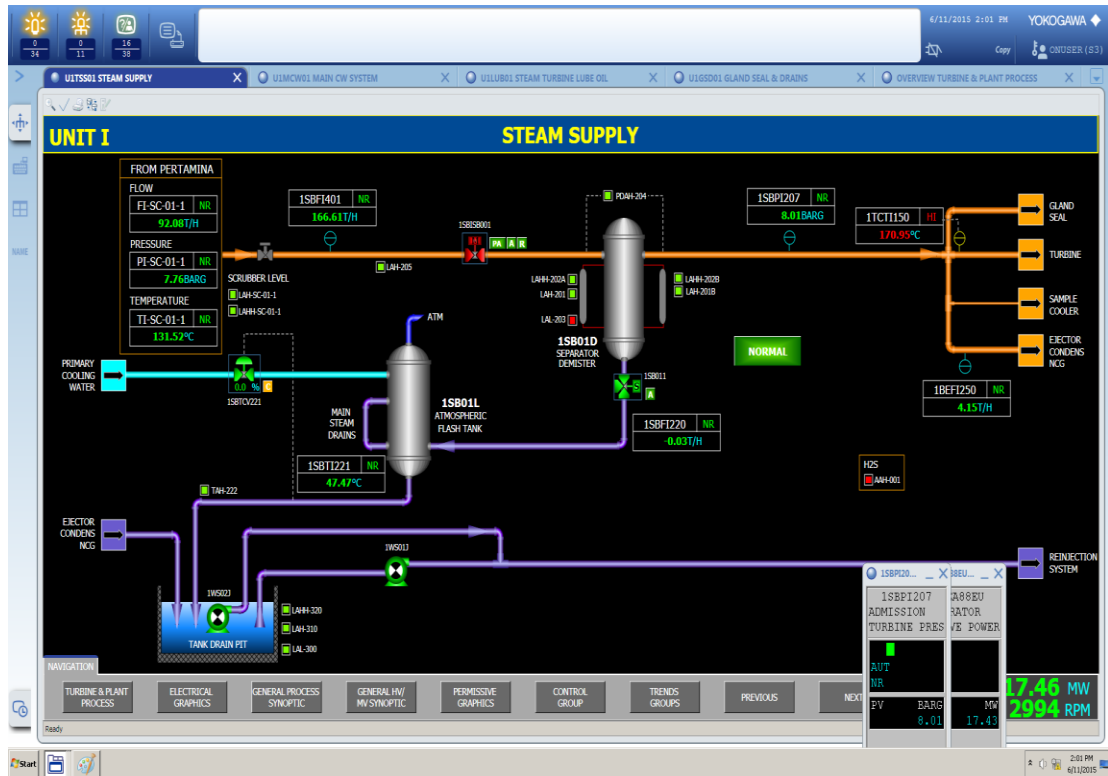
Gambar 3.2 Synoptic Diagram PLTP Lahendong

3.3 PROSES PEMBANGKITAN PLTP LAHENDONG

Sistem pembangkitan PLTP Lahendong merupakan sistem pembangkitan yang memanfaatkan energi panas bumi yang berupa uap dan merupakan sistem tertutup uap dan air. Uap dari Pertamina mula-mula dialirkan menuju separator dan demister yang berfungsi untuk memisahkan dan mengeliminasi butiran-butiran padat dan air yang terkandung dalam uap yang dari Pertamina. Pemisahan dan eliminasi ini dilakukan untuk menghindari terjadinya pembentukan kerak pada nozzle, valve dan erosi pada turbin terutama kadar silica. Kadar silica yang besar dapat menyebabkan gangguan pada turbin. Silica akan menempel pada turbin sehingga akan menyebabkan *unbalance* sehingga akan mengakibatkan vibrasi pada turbin.

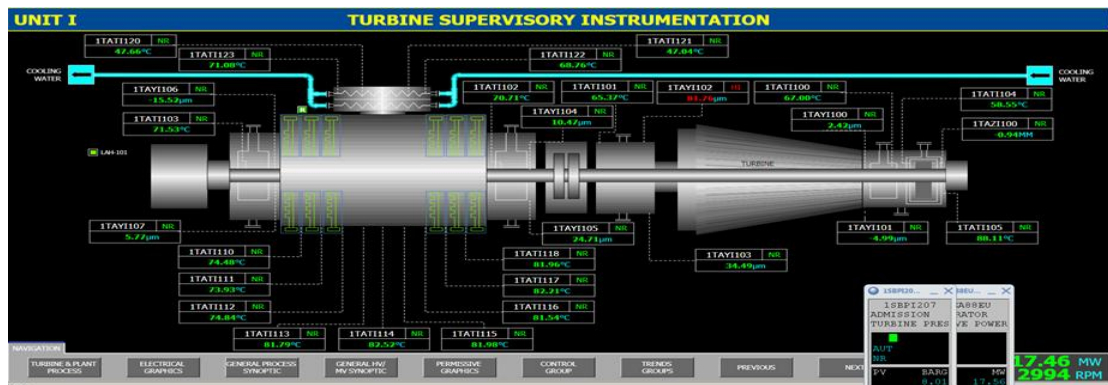
Uap yang bersih kemudian dialirkan melalui *Main Stop Valve* (MSV) menuju *Main Control Valve* (MCV)/*Governor Valve* kemudian uap tersebut masuk ke turbin. Uap tersebut yang nantinya digunakan untuk memutar poros generator yang telah terkoppel dengan poros turbin dengan kecepatan 3000 rpm. Pada generator, energi mekanis putaran rotor generator akan berubah menjadi energi listrik 3 fasa, frekwensi 50 Hz, tegangan 11 kV, daya 20 MW. Output generator memiliki $\cos \phi$ 0,8. Tegangan 11 kV yang dihasilkan generator dinaikkan oleh Transformator Step-up menjadi 150 kV kemudian tegangan listrik yang diperoleh dapat disalurkan ke *switch-yard* untuk selanjutnya dihubungkan secara paralel ke jaringan listrik interkoneksi wilayah suluttenggo.

Berikut gambar simulasi pengoperasian PLTP Lahendong :



Gambar 3.3 Gambar Steam Supply Uap

Pada gambar 3.1. ialah supply uap yang diberikan oleh pertamina dengan tekanan 7.76 barg, temperature 131.52°C dan jumlah uap 166.61 T/H. Uap tersebut yang nantinya digunakan untuk memutar turbin yang telah dikopel dengan generator.

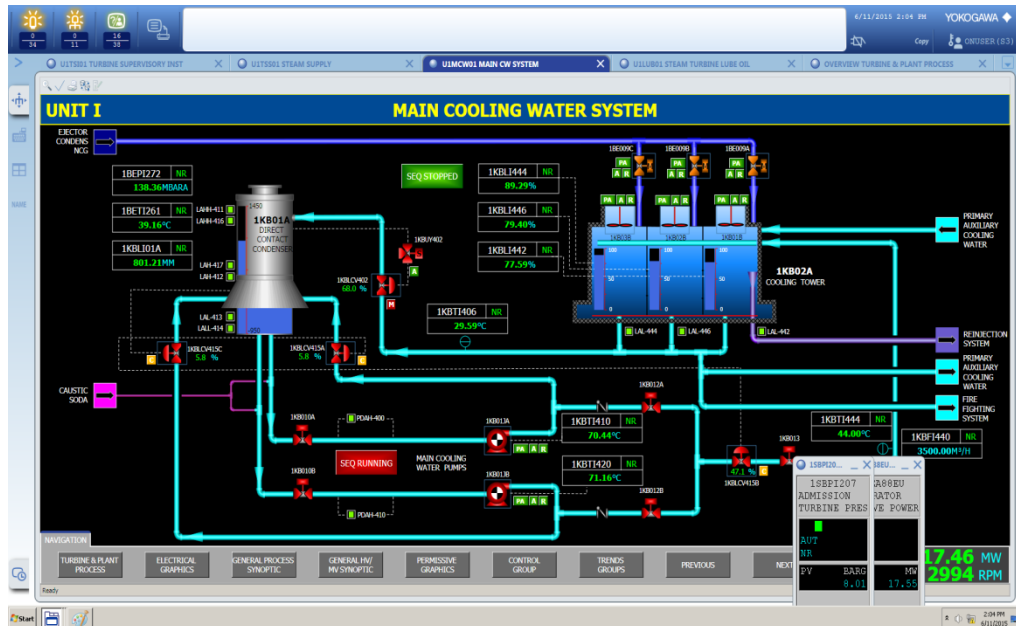


Gambar 3.4 Steam Turbin dan Generator

Uap yang masuk ke turbin memiliki tekanan $\pm 7,8$ barg . Uap masuk kedalam turbin melalui nossel, di dalam nossel energi dari uap diubah menjadi energi kinetis dan uap mengalami ekspansi. Tekanan uap pada saat keluar dari nossel lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam nossel, akan tetapi kecepatan uap keluar nossel lebih besar dari pada saat masuk kedalam nossel. Uap memancar keluar dari nossel diarahkan ke sudu-sudu turbin. Kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar poros turbin.



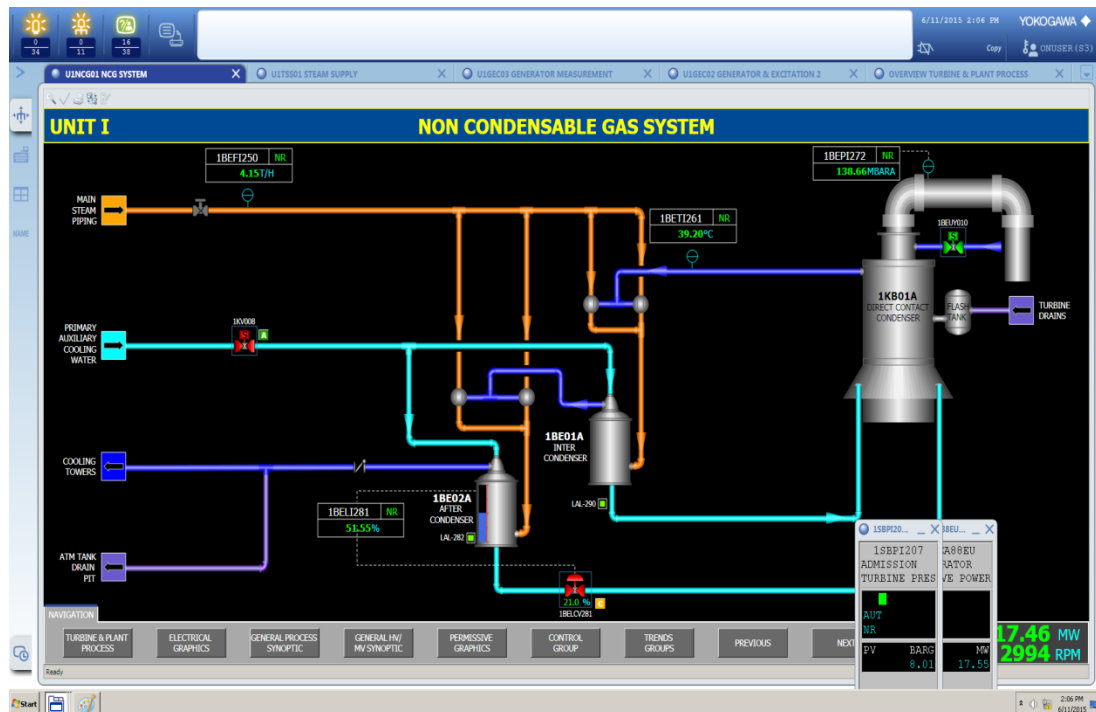
Gambar 3.5 Turbin Uap



Gambar 3.6 Main Cooling Water System

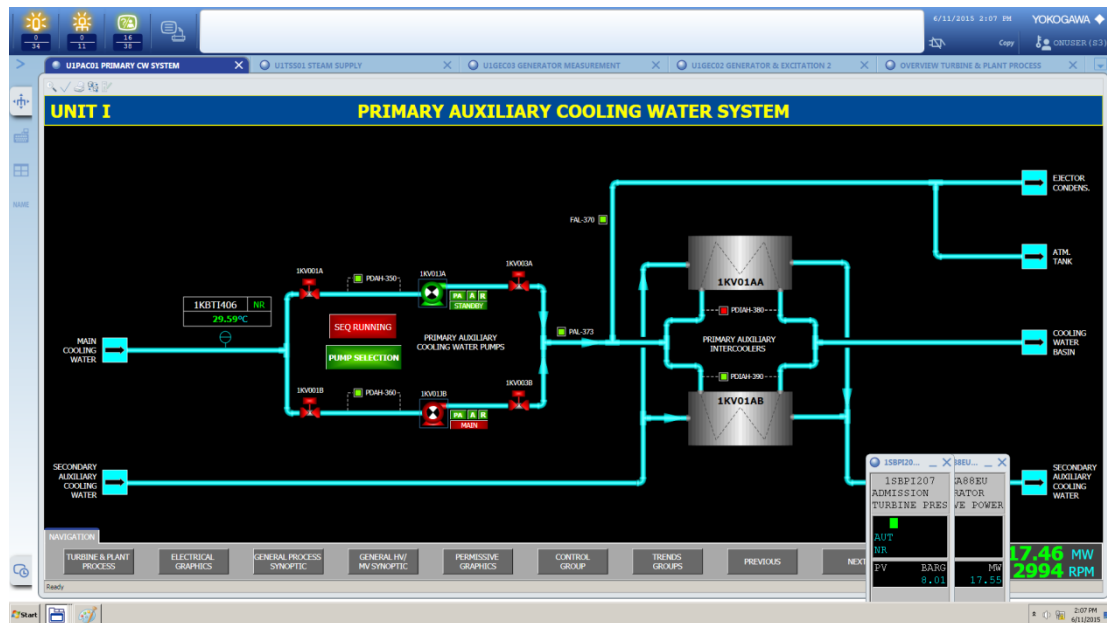
Pada *Main Cooling System* terdapat beberapa 3 bagian yang beroperasi, ialah *Condenser*, *MCWP* (*Main Cooling Water Pump*) dan menara pendingin (*Cooling Tower*). Agar turbin bekerja efisien, maka *exhaust steam*/uap bekas dari turbin yang menuju *main condenser* harus dalam kondisi vakum. Vakum pada *main condenser* terjadi ketika uap bekas dari turbin yang memiliki temperature tinggi dan kerapatan massa lebih kecil dari air pendingin disemprot dengan air (*main cooling water system*) yang berasal dari *cooling tower* dan diinjeksi ke *main condenser* melalui *spray nozzle*. Hal tersebut menyebabkan uap bekas dari turbin terkondensasi dan menyebabkan penurunan temperature uap bekas, bertambahnya kerapatan massa dari uap bekas serta terjadinya penyusutan uap bekas pada volume yang tetap di *main condenser*. Selain akibat terjadinya pengkondensasian uap bekas di *main condenser*, vakum pada *main condenser* juga terjadi dikarenakan adanya *first stage ejector* dan *second stage steam ejector*.

Untuk menjaga kondisi vakum pada *main condenser*, gas yang tidak terkondensasi harus dikeluarkan secara kontinyu oleh sistem ekstraksi gas.



Gambar 3.7 NCG (Non Condensable Gas)

Uap yang tidak dapat dikondensasikan di *main condenser*, dihisap oleh *first stage steam ejector* untuk diteruskan ke *intercondenser*, dimana uap tersebut dikondensasikan dengan air (*primary cooling water system*) yang dipompakan oleh *primary cooling water pump* (PCWP).



Gambar 3.8 PCWP

Uap yang dapat dikondensasikan di *intercondenser* dikembalikan ke *main condenser*, sedangkan gas yang tidak dapat dikondensasikan (*Non Condensable Gas*) dihisap kembali oleh *second stage steam ejector* menuju ke *after condenser*.



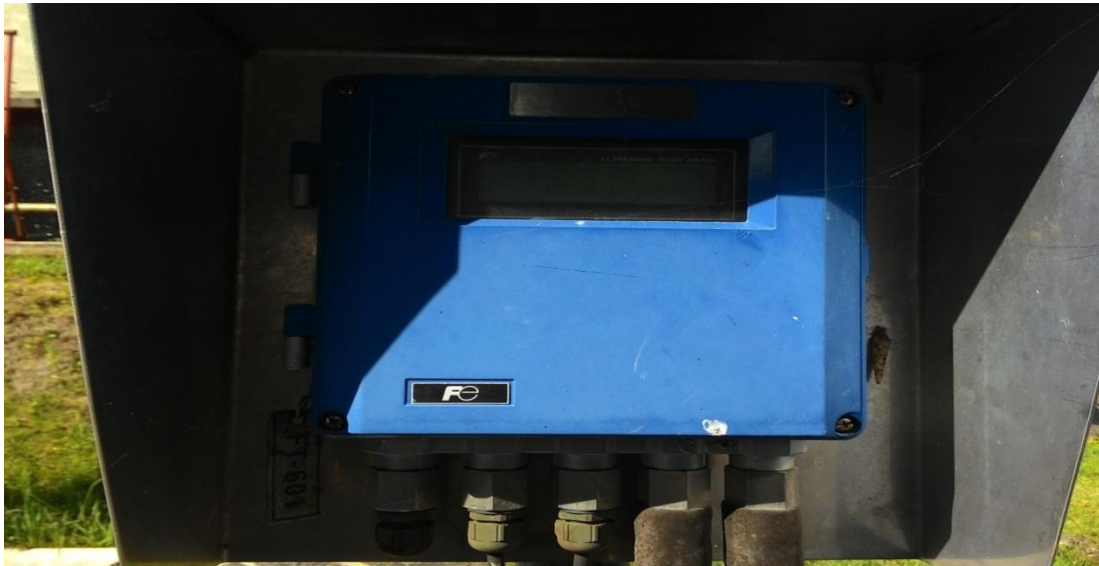
Gambar 3.9 Inter Condenser dan After Condenser

Level air kondensat dalam *main condenser* selalu dijaga dalam kondisi normal oleh dua buah *main cooling water pump* (MCWP). Air kondensat yang dipompakan oleh MCWP ke *cooling tower* kemudian didinginkan dalam menara pendingin. Dalam hal ini menara pendingin berfungsi sebagai *heat exchanger* yang besar. Pada prinsipnya, air kondensat diinjeksi ke *cooling tower* dan didinginkan oleh fan yang berada di *cooling tower*.

Air dengan temperature 44.00°C dari *main condenser* yang mengalir ke menara pendingin yang dijatuhkan tersebut mengalami penurunan temperatur menjadi 29.59°C ketika sampai di penampungan air dingin (*cold water basin*). Air yang sudah dingin dialirkan lagi ke *main condenser*. Air yang berada di dalam *main condenser* dijaga agar supaya level tidak lebih ataupun kurang .

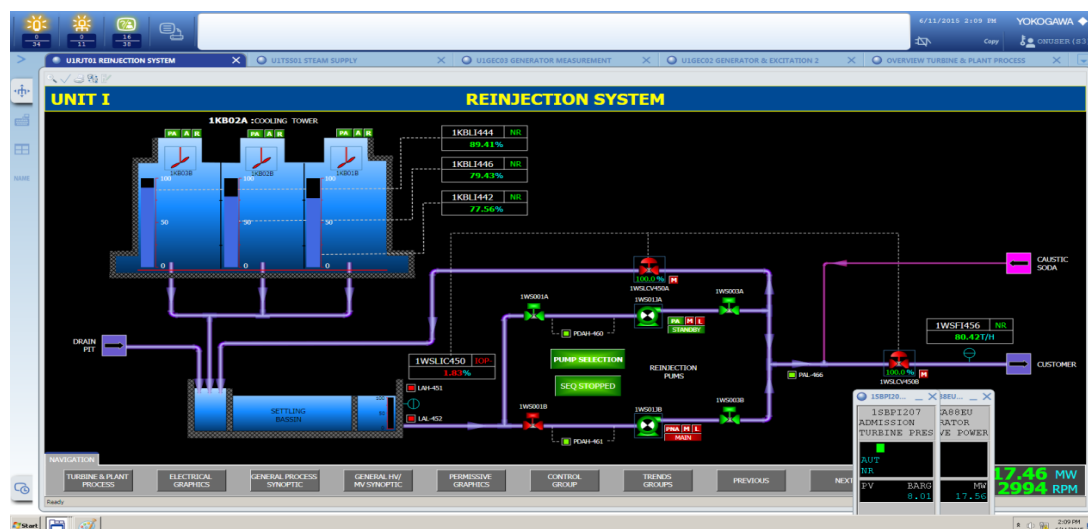
Untuk menjaga level air pada *main condenser* digunakan *level transmitter*. Apabila air dalam *main condenser* meningkat, maka *level control valve* (LCV) setelah MCWP akan terbuka dan MCWP akan beroperasi mengalirkan air dari *main condenser* ke *cooling tower*. Sebaliknya apabila level air dalam *main condenser* menurun, maka *level control valve* setelah MCWP akan menutup dan *level control valve* setelah *cooling tower* akan membuka sehingga air dingin dari *cooling tower* akan mengalir ke *main condenser*.

Perpindahan air dari *cooling tower* ke *main condenser* diakibatkan perbedaan tekanan antara *cold water basin* dan *main condenser*. Tekanan di *cold water basin* lebih besar dari tekanan di *main condenser* karena kondisi *main kondenser* berada dalam keadaan vakum sehingga *main condenser* menghisap air yang berada pada *cold water basin* yang sudah didinginkan di *cooling tower*. *Level control valve* bekerja berdasarkan prinsip *pneumatic* dan juga dikatakan *pneumatic valve* dengan menggunakan uap bertekanan yang berasal dari *compressor* melalui *instrument air tank* dan *service air tank*.



Gambar 3.10 Level Transmitter

Kelebihan air kondensasi uap pada *Cooling Tower* diinjeksikan kembali kedalam sumur *Reinjection* sebagai air penambah dalam *reservoir* di dalam perut bumi, sedangkan sebagiannya digunakan untuk *secondary cooling water system*, *heat exchanger*, *flash tank*, *inter condenser*, *after condenser* dan *industrial*.



Gambar 3.11. Reinjection System

BAB IV PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penulisan Laporan Akhir “Pengoperasian Turbin Uap Dalam Proses Konversi Energi Uap Menjadi Energi Listrik di PLTP Lahendong ” maka dapat disimpulkan:

1. Sistem pembangkitan PLTP Lahendong merupakan sistem pembangkitan yang memanfaatkan energi panas bumi yang berupa uap. Energi panas bumi menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang dihasilkan dan tersimpan di dalam bumi.
2. Pengoperasian Turbin Uap dilakukan sesuai prosedur pengoperasiannya terutama setelah Overhaul turbin, untuk menjamin keamanan operasi turbin.

4.2 Saran

Berikut ini adalah saran yang dapat diberikan kepada PT.PLN (persero) PLTP Lahendong dan juga Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado, berikut saran yang akan diberikan :

1. Perlu diberikan pembekalan kepada trainer tentang dasar konversi energi, nama-nama komponen sistem pembangkitan PLTP Lahendong, pembacaan gambar rangkaian serta cara kerja peralatan.
2. Lebih meningkatkan perlengkapan pengaman (Safety) mengingat resiko kecelakaan yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Ditjeng Marsudi, 2005 [http://www. Pembangkitan Energi Listrik.com](http://www.PembangkitanEnergiListrik.com)*
2. *Faizalnizbah.blogspot.com/2013/08/konstruksi-prinsip-kerja-turbin uap-dan-kecepatan.html*
3. Hasbullah. 2009. PRINSIP_DASAR_Konversi_energi. Electrical Engineering Dept., Energy Conversion System FPTK UPI
4. Irawan, 2014 [http://www.wartasaranamedia.com/2014/06/komponen generator-dan-bagian-utamanya-237.html](http://www.wartasaranamedia.com/2014/06/komponen-generator-dan-bagian-utamanya-237.html)
5. Standard Operating Procedure PT. PLN (Persero) Wilayah SULUTTENGGO Sektor Pembangkitan Minahasa Unit PLTP Lahendong