

LAPORAN AKHIR
PEMELIHARAAN TRANSFORMATOR DAYA 30 MVA DI PLTP
LAHENDONG



Disusun Oleh :

Markus Milen Mangago

NIM : 12-021-001

Dosen Pembimbing

Reinir Ruben P. Soenpiet, SST

NIP. 19601019 199003 1 003

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

2015

i

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMELIHARAAN TRANSFORMATOR DAYA 30 MVA DI PLTP
LAHENDONG**

Oleh :

Markus Milen Mangago

NIM : 12-021-001

*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 :

Pembimbing Tugas Akhir

Panitia Tugas Akhir

Reinir Ruben P. Soenpiet, SST

NIP. 19601019 199003 1 003

Fanny J. Doringin.ST. MT

NIP. 19670430 199203 1 003

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. Jusuf L. Mappadang, MT

NIP. 1961 0601 199003 1 002

KATA PENGHANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, pertolongan dan tuntunanNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Praktek Kerja Lapangan ini sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan.

Penyusunan Laporan ini berdasarkan hasil praktek kerja lapangan di PT.PLTP Lahendong. Kegiatan ini dimulai pada tanggal 23 Maret sampai 17 Juli 2015. Di dalam pelaksanaannya, penulis mendapatkan banyak hal baru, bukan saja dari segi keilmuan tetapi juga dari pengalaman di lapangan dalam menghadapi permasalahan atau gangguan-gangguan yang terjadi di dalam sistem tenaga listrik.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bimbingan, kontribusi, bahkan nasihat yang telah diberikan dalam melaksanakan Praktek Kerja Lapangan dan penulisan Laporan Praktek Kerja Lapangan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Jemmy Rangan, selaku Direktur Politeknik Negeri Manado.
2. Bapak Jusuf L. Mappadang, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Drs.Johny Lantang dan Ibu Flora Sajow yang selalu membantu untuk berangkat PKL.
4. Bapak Marson Budiman, SST.MT selaku Ketua Program Studi & Ketua Panitia Praktek Kerja Lapangan.
5. Bapak Reiner Ruben P.Soenpiet.SST selaku pembimbing Laporan.
6. Bapak Jorry P.A Ngantung,ST selaku manager PLTP Lahendong.
7. Bapak Golioth D.Kalolo selaku pembimbing lapangan di PLTP Lahendong.
8. Seluruh Staf karyawan di PT. PLTP Lahendong selama yang telah membantu selama proses pelaksanaan PKL.
9. Keluarga dan Ibu yang memberikan spor dan Doa.
10. Nofita Angreyni, Yohana, Yonatan sebagai penyemangat.
11. Seluruh Keluarga tercinta,teman-teman Mahasiswa Toraja dan teman-teman kelas dan masih bayak yang tidak bisa di tulis satu persatu yang selalu memberikan semangat dan motivasi dan DOA.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan ini, baik dalam penyusunan atau materi. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan laporan ini.Akhir kata, semoga laporan Praktek Kerja Lapangan ini dapat berguna bagi semua pihak.

Manado, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah.....	1
I.3. Batasan Masalah.....	1
I.4. Tujuan penulisan.....	2
I.5. Manfaat penulisan.....	2
I.6. Sistematika penulisan.....	3
BAB II Tinjauan Pustaka.....	4
2.1. Sistem distribusi Tenaga Listrik.....	4
2.2. Jaringan Distribusi Primer.....	4
2.3. Jaringan Distribusi Sekunder.....	4
2.4. Pedoman Pemeliharaan.....	5
2.4.1. In Service Inspection.....	5
2.4.2. In Service Measurement.....	5
2.4.3. Termovisi/ Thermal image.....	5
2.4.4. Standar Pemeliharaan Trafo.....	6
2.5. Proses Pembangkitan Energi Listrik di PLTp Lahendong.....	8

2.6. Komponen dan peralatan yang di pelihara.....	10
2.6.1. Demister.....	10
2.6.2. Governor.....	11
2.6.3. Turbin..... iii.....	11
2.6.. Menara Pendingin.....	14
2.6.7. Main Cooling Water Pamp (MCWP).....	16
2.6.8. Primary Cooling Water Pamp (PCWP).....	17
2.6.9. Secondary Cooling Water Pamp (SCWP).....	18
2.6.10. Make Up Tank.....	19
2.6.11. Oil Tank.....	19
BAB III Pembahasan.....	20
3.1. Teori Transformator Tenaga.....	21
3.2. Jenis Jenis Transformator Tenaga.....	23
3.3. kontruksi Transformator Tenaga.....	23
3.3.1. Electromagnetik Circuit (Inti Besi).....	23
3.3.2. Current Carying Circuit (Winding).....	24
3.3.3. Bushing.....	25
3.3.4. Pendingin.....	26
3.3.5. Oil Preservation dan Expansion.....	27
3.3.6. Minyak Isolasi Transformator dan Isolasi Kertas.....	27
3.3.7. Tap Changer.....	29
3.4.8. Netral Grounding Resistansi.....	30
3.4.9. Gambar dan namplat trafo.....	31
3.4. Peralatan Proteksi.....	32

3.5. Performansi Transformator.....	32
3.4.1 Transformator tanpa beban.....	32
3.4.2. Transformator berbeban.....	33
3.4.3. Effisiensi Transformator.....	34
3.4.4. Vector group transformator.....	34
3.6. Karakteristik Transformator Tenaga PLTP Lahendong.....	35
3.7. Ganguan Pada Transformator.....	36
3.7.1. Ganguan internal.....	37
3.7.2. gangguan External.....	38
3.8. Proteksi dan system control pada Transformator.....	39
3.8.1. Rele Buchholz.....	39
3.8.2. Rele Jansen.....	39
3.8.3. Sudden Pressure Relay.....	40
3.8.4. Thermal relay.....	42
BAB IV PENUTUP	45
IV.1. Kesimpulan	45
IV.2. Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	46

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Macam-macam pendingin pada transformator	39
Tabel 3.2. Batasan nilai parameter minyak isolasi Menurut IEC 60422 yang baru dimasukkan kedalam peralatan sebelum dilakukan proses energize	41
Tabel 3.3 Setting Relay Proteksi Transformator	51
Tabel 3.4. Hasil test laboratorium transformator tenaga UNINDO.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Domister.....	10
Gambar 2.2. Governor.....	11
Gambar 2.3. Steam Turbin.....	15
Gambar 2.4. Menara pendingin.....	28
Gambar 2.5. Penampang samping bagian atas cooling tower unit 2.....	28
Gambar 2.6. Tangki caustic soda.....	29
Gambar 2.7. MCWP unit 1.....	30
Gambar 2.8. PCWP unit 2.....	31
Gambar 2.9. SCWP unit 1.....	31
Gambar 2.10. oil tank.....	33
Gambar 3.1. Arus bolak balik mengelilingi inti transformator.....	34
Gambar 3.2. Prinsip kerja transformator.....	35
Gambar 3.3. Inti besi transformator.....	36
Gambar 3.4. Belitan transformator.....	37
Gambar 3.5. Bushing.....	38

Gambar 3.6. Pendingin pada transformator.....	39
Gambar 3.7. Konserfator.....	40
Gambar 3.8. Minyak isolasi transformator.....	40
Gambar 3.9. Tap changer manual Transformator Unindo.....	42
Gambar 3.10. On load tap changer pada transformator.....	43
Gambar 3.11. Transformator berbeban.....	45
Gambar 3.12. Name plate Transformator PLTP Lahendong.....	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Di samping kegiatan akademik di bangku kuliah, terdapat Kerja Praktek yang merupakan kegiatan akademik yang wajib di laksanakan bagi mahasiswa Teknik Elektro sebagai sarana untuk mengenal dunia kerja yang kerkaitan dengan latar belakang akademik yang sementara di tekuni.

Kegiatan Kerja Praktek ini tidak hanya berperan dalam mengenalkan mahasiswa dengan dunia kerja tetapi juga menuntut mahasiswa untuk dapat berkarya dengan bekal pengetahuan yang telah diperoleh di bangku kuliah dan menggabungkannya dengan pengalaman selama berada dilingkungan tempat Kerja Praktek. Dengan demikian, diharapkan kedepan agar para calon Sarjana Teknik Elektro memiliki bekal pengalaman dan keterampilan yang bersifat

akademik dan professional sehingga lebih kompetitif atau mampu bersaing dalam pasar kerja yang ada.

Adapun untuk pelaksanaan Praktek Kerja Lapangan, Penulis melaksanakannya Di PLTP Lahendong, dari tanggal 23 Maret sampai 17 Juli 2015.

1.2 RUMUSAN MASALAH

1. Mempelajari sistem pemeliharaan Trafo Tegangan di PLTP Lahendong

1.3 BATASAN MASALAH

Dalam penulisan laporan Akhir ini, penulis membahas sekilas mengenai Pemeliharaan Trafo Tegangan di PLTP Lahendong di PLTP Lahendong.

1.4 Tujuan Penulisan

I.4.1. Tujuan Umum

1. Memenuhi persyaratan kurikulum pendidikan program studi D III Teknik Listrik di Politeknik Negeri Manado.
2. Menyerap pengetahuan dan keterampilan yang diperoleh di PLTP Lahendong serta menerapkan pengetahuan dan keterampilan yang telah dimiliki.
3. Mendapatkan pengalaman di dunia kerja.

I.4.2. Tujuan Khusus

1. Mengenali gangguan-gangguan pada Transformator Tenaga di PLTP Lahendong.
2. Mempelajari strategi pemeliharaan Transformator Tenaga di PLTP Lahendong.

1.5 Manfaat Penulisan

1.5.1. Manfaat Bagi Mahasiswa

1. Mendapatkan pengetahuan yang belum diperoleh pada bangku kuliah mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi pada umumnya dan Transformator Tenaga pada khususnya.
2. Menanggulangi permasalahan yang sering terjadi di lapangan kerja, khususnya PLTP Lahendong.

1.5.2. Manfaat Bagi Program Studi

1. Mendapatkan mitra kerja baru.
2. Mempererat hubungan kerja sama dengan *stakeholder*.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan laporan ini terdiri dari beberapa bab yaitu :

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan tentang latar belakang, maksud dan tujuan, waktu dan tempat kerja praktek, rumusan masalah, batasan masalah dan sistematika penulisan laporan.

BAB II. Tinjauan Pustaka

Pada bab ini menguraikan tentang gambaran umum perusahaan, lokasi, lingkup jasa pelayanan, penggunaan tenaga kerja, jam kerja perusahaan, fasilitas serta tugas pokok dan fungsi di perusahaan.

BAB III. PEMBAHASAN

Pada bab ini menguraikan tentang Pemeliharaan Trafo tegangan PLTP Lahendong.

BAB IV. PENUTUP

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

Sistem distribusi tenaga listrik adalah penyaluran energi listrik dari gardu induk (GI) tenaga listrik hingga kepada konsumen pada tingkat tegangan yang diperlukan. Jaringan distribusi terdiri dalam dua bagian, yang pertama adalah jaringan tegangan menengah/ primer (JTM), yang menggunakan tiga atau empat kawat untuk tiga fasa. Jaringan distribusi primer berada antara Pembangkit/ Gardu Induk dan Transformator Distribusi. Jaringan yang kedua adalah jaringan tegangan rendah/ sekunder (JTR) dengan tegangan 380/220 Volt.

2.2 JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER

Jaringan distribusi primer adalah jaringan tegangan menengah yang berfungsi untuk menghubungkan gardu induk sebagai suplay tenaga listrik dengan gardu-gardu distribusi. Sistem tegangan menengah yang digunakan di Sistem Distribusi Sangihe adalah 20 kV. Jaringan ini mempunyai struktur/ pola yang sedemikian rupa sehingga dalam pengoperasiannya mudah dan andal.

2.3 JARINGAN DISTRIBUSI SEKUNDER

Jaringan distribusi sekunder atau jaringan tegangan rendah (JTR) merupakan jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan konsumen. Oleh karena itu besarnya tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini 130/230 V dan 130/400 V untuk sistem lama, atau 230/400 V untuk sistem baru. Tegangan 130 V dan 230 V merupakan tegangan antara fasa netral, sedangkan 400 V merupakan tegangan fasa dengan fasa.

2.4 PEDOMAN PEMELIHARAAN

2.4.1. In Service Inspection

In Service inspection adalah kegiatan inspeksi yang dilakukan pada saat transformator dalam kondisi bertegangan / operasi. Tujuan dilakukannya in service inspection adalah untuk mendeteksi secara dini ketidaknormalan yang mungkin terjadi didalam trafo tanpa melakukan pemadaman.

Subsistem trafo yang dilakukan *in service inspection* adalah sebagai berikut:

- Bushing
- Pendingin
- Pernafasan
- Sistem kontrol dan proteksi

2.4.2. In Service Measurement

In Service Measurement adalah kegiatan pengukuran / pengujian yang dilakukan pada saat transformator sedang dalam keadaan bertegangan / operasi (in service). Tujuan dilakukannya in service measurement adalah untuk mengetahui kondisi trafo lebih dalam tanpa melakukan pemadaman.

2.4.3. Thermovisi / Thermal image

Pada saat trafo dalam keadaan operasi, bagian trafo yang dialiri arus akan menghasilkan panas. Panas pada radiator trafo dan maintank yang berasal dari belitan trafo akan memiliki tipikal suhu bagian atas akan lebih panas dari bagian bawah secara gradasi. Sedangkan untuk bushing, suhu klem pada stud bushing akan lebih panas dari sekitarnya. Suhu yang tidak normal pada trafo dapat diartikan sebagai adanya ketidaknormalan pada bagian atau lokasi tersebut. Metoda pemantauan suhu trafo secara menyeluruh untuk melihat ada tidaknya ketidaknormalan pada trafo dilakukan dengan menggunakan thermovisi / thermal image camera.

2.4.4 Standar Pemeliharaan Trafo.

Pemeliharaan transformator yang berupa monitoring dan dilakukan oleh petugas operator setiap hari untuk Gardu Induk yang dijaga atau petugas patroli pada Gardu Induk yang tidak dijaga dan dilaksanakan setiap minggu (Jadwal Mingguan) dalam keadaan operasi.

Tabel 2.1 Peralatan/Komponen Yang Diperiksa

No	Trafo Besar	Trafo Sedang	Trafo Kecil	Cara Pelaksanaan
----	-------------	--------------	-------------	------------------

1.	Tangki, radiator, pompa-pompa minyak, pipa-pipa, katup-katup, sumbat-sumbat.	Tangki, radiator, pompa-pompa minyak, pipa-pipa, katup-katup, sumbat-sumbat.	Tangki, radiator, pompa-pompa minyak, pipa-pipa, katup-katup, sumbat-sumbat.	Periksa apakah ada kebocoran minyak
2.	Kipas-kipas Pendingin	Kipas-kipas pendingin	Kipas-kipas pendingin, karat pada sirip dan berputar dengan baik serta stabil,	Periksa kipas kipas apakah ada
3.	Terminal utama, rel, terminasi kabel, jumper-wire, lemari kontrol	Terminal utama, rel, terminasi kabel, jumper-wire, lemari control	Terminal utama, rel, terminasi kabel, jumper-wire, lemari Control	Periksa dari kotoran / bangkai binatang atau binatang serta benda asing lainnya.
4.	Indikator tinggi minyak	Indikator tinggi minyak	Indikator tinggi Minyak	Periksa tinggi Permukaan minyak pada indikator tangki, konservator.
5.	Bushing	Bushing	Bushing	Periksa apakah ada yang retak, kotor, pecah dan Kebocoran Minyak
6.	Indikator Pompa sirkulasi	Indikator Pompa sirkulasi	Indikator Pompa Sirkulasi	Periksa indicator pompa sirkulasi apakah masih menunjukkan aliran minyak dengan sempurna

7.	Sumber arus searah (DC) Pemadam kebakaran	Sumber arus searah (DC) Pemadam kebakaran	Sumber arus searah (DC) Pemadam kebakaran	Periksa sumber arus AC/DC apakah sakelar dalam keadaan tertutup dan MCB nya keadaan ON dengan sempurna. Periksa tekanan air dalam tangki pemadam, botol-botol CO2 , BCF dan sistim alarmnya.
8.	Suhu/ temperature minyak dan kumparan transformator	Suhu/ temperature minyak dan kumparan transformator	Suhu/ temperature minyak dan kumparan Transformator	Periksa temperature minyak dan kumparan transformator.
9.	Beban transformator	Beban transformator	Beban Transformator	Periksa beban transformator
10.	Lemari kontrol dan Proteksi	Lemari kontrol dan Proteksi	Lemari control dan Proteksi	Periksa pintu apakah sudah menutup dengan sempurna, bila perlu tutup kembali dan bersihkan bila kotor.

2.5. Proses Pembangkitan Energi Listrik di 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 diambil dari dalam perut bumi dan di kembalikan

kembali dalam bentuk air melalui sumur reinjeksi (*reinjection well*). Uap tersebut diperoleh dari sumur-sumur produksi (*hot well*) dan disuplai oleh Pertamina yang diambil melalui proses pengeboran dengan kedalaman ± 2 Kilometer (kedalaman pipa di Lahendong). 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. Kadar silica yang diijinkan pada PLTP Lahendong adalah ≤ 100 micron. Apabila kadar silica > 100 micron maka akan terjadi trip pada putaran 3000 rpm. Uap yang bersih kemudian dialirkan melalui *Main Stop Valve* (MSV) menuju *Main Control Valve* (MCV)/*Governor Valve* kemudian uap tersebut masuk ke turbin. Uap yang masuk ke turbin PLTP Lahendong memiliki tekanan $\pm 7,8$ barg berdasarkan ketinggian dan letak PLTP Lahendong dari permukaan laut, *mass flow rate* ± 146 t/h dan suhu 171°C . Uap yang dialirkan dari Pertamina ke PLTP Lahendong memiliki kandungan uap 98%. 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, frekuensi 50 Hz, tegangan 11 kV, daya 20 MW. Output generator memiliki $\cos \phi 0,8$ (actual 0,98). Pada PLTP Lahendong unit 1 digunakan 2 jenis exciter dan menggunakan baterai dan pada unit 2 digunakan self exciter (magnet permanen) yang terkoppel di poros turbin dan generator. Tegangan 11 kV yang dihasilkan generator dinaikkan oleh Transformator Step-up menjadi 150 kV. Selanjutnya, dihubungkan secara paralel dengan sistem interkoneksi Minahasa-Kotamobagu-Gorontalo.

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. Gas-gas ini mengandung: CO₂ 85-90%, H₂S 3,5% dan sisanya N₂ dan gas-gas lainnya. Sistem ekstraksi gas terdiri atas *first-stage ejector* dan *second-stage ejector*.

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). Uap yang dapat dikondensasikan di *intercondenser* dikembalikan ke *main condenser*, sedangkan gas yang tidak dapat dikondensasikan (*Non Condensable Gas*) di isap kembali oleh *second stage steam ejector* menuju ke *after condenser*. Uap yang tidak dapat dikondensasikan di *intercondenser* dikondensasikan kembali dengan air oleh PCWP. Uap yang dapat dikondensasikan oleh *aftercondenser* dikembalikan lagi ke *main condenser*, dan gas yang tidak dapat dikondensasikan dikeluarkan ke udara bebas (*surrounding*) oleh *cooling tower*.

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 41°C dari *main condenser* yang mengalir ke menara pendingin yang dijatuhkan tersebut mengalami penurunan temperatur menjadi 29°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.

Semua kerja komponen-komponen utama maupun auxiliary diatur oleh *Distribute Control and Information System* (DCIS). Dalam artian, DCIS merupakan otak dari seluruh aktivitas PLTP Lahendong. DCIS mengontrol sistem secara keseluruhan, memonitoring dan menganalisa setiap proses yang ada di PLTP Lahendong. DCIS merupakan suatu unit distribusi berbasis mikroprosesor dengan konfigurasi perangkat keras dan perangkat lunak yang terdiri dari:

- Perangkat proses, control regulasi dan sequence serta I/O (Input/Output) Interface.
- Human Interface System untuk operator.
-

2.6. Komponen Dan Peralatan Yang Dipelihara

II.6.1. Demister

Demister merupakan alat yang berbentuk silinder yang didalamnya terdapat kisi-kisi baja yang berfungsi untuk mengeliminasi dan menyuling butiran-butiran air yang terdapat pada uap dari pertamina. Dibagian bawahnya terdapat kerucut untuk menangkap air dan partikel-partikel padat lainnya.



Gambar II.1. Indikator Demister.

II.6.2. Governor

Governor merupakan suatu katup yang mengatur kuantitas uap yang akan masuk ke dalam turbin. Governor secara tidak langsung mengatur kecepatan putaran generator yang telah terkopel dengan turbin. Kecepatan yang berubah-ubah dapat mempengaruhi frekuensi dan daya output.



Gambar II.2 Governor

II.6.3. Turbin

Turbin pembangkit listrik tenaga panas bumi merupakan penggerak mula yang mengubah energi potensial berupa tekanan dan temperature, dan energi mekanik yang berupa putaran. Turbin PLTP Lahendong dapat menghasilkan daya listrik sebesar 20 MW pada putaran 3000rpm.

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.
2. Apabila 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.



Gambar II.3. *Steam Turbin.*

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.

II.6.3. 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 nozzle* sehingga air akan menjadi butiran-butiran yang halus dan didinginkan oleh kipas pendingin *cooling tower*.



Gambar II.4. Menara pendingin (*cooling tower*).

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 II.5. Penampang samping bagian atas *cooling tower* unit 2. Tampak uap keluar dari permukaan *cooling tower* menuju ke udara bebas.

Pada menara pendingin di PLTP Lahendong unit 1 dan 2 masing-masing terdapat tiga buah kipas hisap paksa aksial. Kipas ini berfungsi untuk menghisap aliran udara 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*.

Untuk menetralkan keasaman air yang berada di penampungan *cooling tower*, digunakan larutan (Natrium Hidroksida) NaOH yang diinjeksikan dari Tangki *Caustic Soda* oleh sebuah motor listrik.



Gambar II.6. Tangki *Caustic Soda*.

II.6.7. *Main Cooling Water Pump* (MCWP)

Main cooling water pump merupakan motor listrik 3 fasa yang berfungsi memompakan air kondensat dari main kondenser menuju *cooling tower*. Pada PLTP unit 1 dan 2 masing-masing terdapat 2 buah MCWP.

Apabila sebuah MCWP tidak dapat memompakan air kondensat sesuai permintaan *cooling tower*, maka MCWP yang lainnya akan operasi untuk membantu menopang air yang akan dipompakan ke *cooling tower*. Dalam hal ini, MCWP dioperasikan secara *sequence* (satu unit beroperasi, sedangkan unit yang lainnya *stand by*).



Gambar II.7. MCWP unit 1.

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

II.6.8. *Primary Cooling Water Pump (PCWP)*

Primary cooling water pump di PLTP Lahendong unit 1 dan 2 masing-masing 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 II.8. PCWP unit 2.

II.6.9. *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 II.9. SCWP unit 1.

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

II.6.10. Make Up Tank

Make up tank merupakan sebuah tangki yang berisikan air dimana berfungsi sebagai media untuk menambah volume air pada *secondary cooling water system* apabila terjadi pengurangan volume air. Pengurangan volume air pada *secondary cooling water system* terjadi akibat kebocoran / adanya celah-celah pada sistem perpipaan, sehingga memungkinkan air untuk merembes keluar. Pengurangan juga terjadi akibat *losses* panas pada *lube oil cooler*, *generator cooler* dan *air cooler* pada *compressor system*.



Gambar II.9. *Make Up Tank*.

II.6.11. *Oil Tank*

Oil tank berfungsi sebagai penampung minyak (*oil*). Minyak digunakan untuk beberapa keperluan yaitu:

- a. Sebagai tekanan hidrolik di *main stop valve* (MSV).
- b. Sebagai tekanan control di *governor valve*.
- c. Sebagai pelumas.

Sebagai pelumas, minyak digunakan pada poros generator maupun turbin yang membutuhkan pelumasan untuk meredam gesekan-gesekan. Minyak juga berguna untuk menyerap panas akibat gesekan-gesekan poros dan bantalan poros turbin yang berputar.



Gambar II.10. *Oil Tank*.

Prinsip kerja pelumasan yaitu: minyak pelumas yang terapung pada tangki minyak dipompakan oleh *main oil pump* (MOP) ke bagian-bagian turbin dan generator yang membutuhkan pelumasan. Setelah selesai melumasi, minyak kemudian kembali dan didinginkan oleh *lube oli cooler* dan dibersihkan oleh *oil separator*.

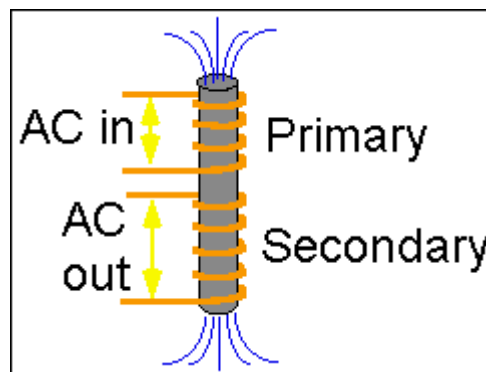
BAB III

Pembahasan

3.1. Teori Transformator daya

Transformator atau trafo adalah komponen elektromagnet yang berfungsi menyalurkan daya/energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya dalam frekuensi yang sama. Transformator merupakan jantung dari distribusi dan transmisi yang diharapkan beroperasi maksimal (kerja terus menerus tanpa henti).

Trafo menggunakan prinsip hukum Induksi Faraday dan Hukum Lorentz dalam menyalurkan daya, dimana arus bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet. Dan apabila magnet tersebut dikelilingi suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda potensial. Hal tersebut dapat kita lihat pada gambar 3.1.dibawah ini.

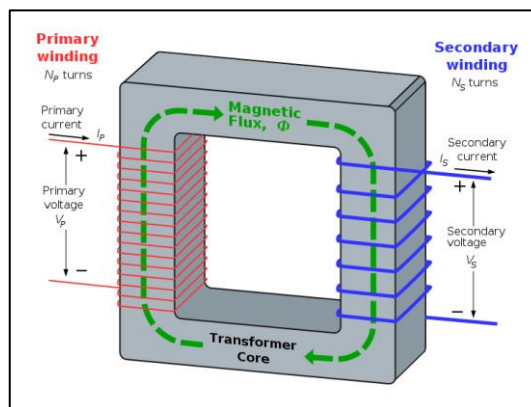


Gambar 3.1. Arus bolak-balik mengelilingi inti transformator.

Sumber: Pedoman operasi dan maintenance transformator tenaga. PT. PLN

(Persero)

Arus yang mengalir pada belitan primer akan menginduksi inti besi trafo sehingga didalam inti besi tersebut akan timbul fluks magnet selanjutnya fluks magnet akan menginduksi belitan sekunder sehingga belitan sekunder akan muncul beda potensial.



Gambar 3.2. Prinsip kerja transformator.

Sumber: Pedoman operasi dan maintenance transformator tenaga. PT. PLN (Persero).

Agar dapat berfungsi dengan baik, maka transformator harus dipelihara dan dirawat dengan baik menggunakan sistem dan peralatan yang tepat. Transformator terdiri atas 2 jenis yaitu, *Step-up transformer* dan *Step-down transformer*. Trafo *step-up* berfungsi untuk menaikkan tegangan sedangkan transformator *step-down* berfungsi untuk menurunkan tegangan. Transformator umumnya ditanahkan pada titik netral sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan atau proteksi. Contoh transformator 150/20 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV dan trafo 70/20 kV.

3.2. Jenis-jenis Transformator

Berdasarkan fungsinya, transformator tenaga dapat dibedakan menjadi:

1. Trafo pembangkit
2. Trafo gardu induk/penyaluran
3. Trafo distribusi

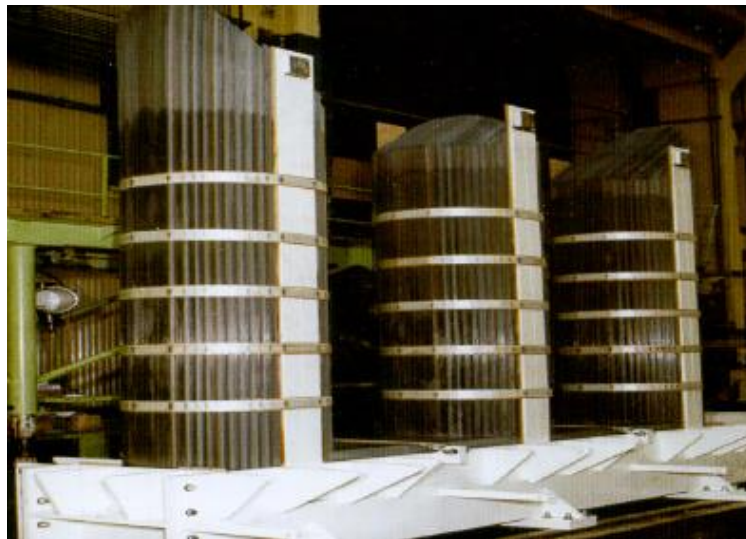
Berdasarkan fungsi penyaluran, transformator tenaga dapat dibedakan menjadi 3 yaitu:

1. Transformator besar
2. Transformator sedang
3. Transformator kecil

3.3. Konstruksi Transformator daya

3.3.1 Electromagnetic Circuit (Inti besi)

Inti besi digunakan untuk jalannya fluks yang timbul akibat adanya induksi arus bolak-balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi. Inti besi dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang disusun sedemikian rupa. Dengan membuat inti yang berlapis-lapis, maka akan mengurangi arus eddy yang disebabkan arus bolak-balik yang menginduksikan tegangan pada inti transformator itu sendiri. Arus eddy yang besar dapat menghasilkan panas dan kehilangan daya.

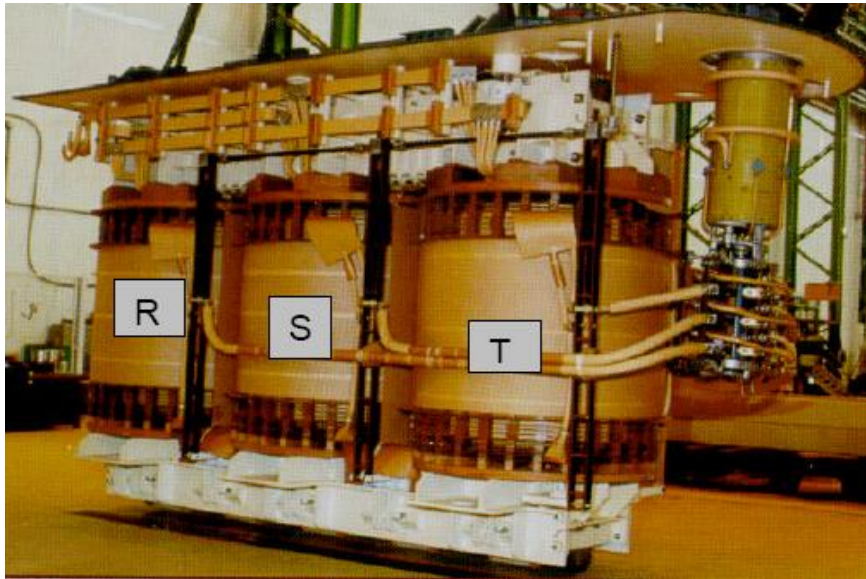


Gambar 3.3. Inti besi transformator.

Sumber: Pedoman operasi dan maintenance transformator tenaga. PT.PLN (Persero).

3.3.2. *Current Carrying Circuit (Winding)*

Pada transformator *winding* / belitan tersusun atas belitan tembaga yang diisolasi yang mengelilingi inti besi dimana saat arus bolak-balik mengalir pada belitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan fluks magnetik.



Gambar 3.4. Belitan Transformator.

Sumber: Pedoman operasi dan maintenance transformator tenaga. PT. PLN (Persero).

3.3.3 *Bushing*

Bushing merupakan sarana untuk menghubungkan belitan dengan jaringan luar. *Bushing* tersusun atas konduktor yang diselubungi isolator. Isolator berfungsi sebagai penyekat antara konduktor *bushing* dengan *body main tank* transformator.



Gambar 3.5. *Bushing*

Bushing dapat dibagi menjadi 4 bagian utama yaitu isolasi, konduktor, klem koneksi dan *accessories*. Isolasi pada bushing terdiri dari 2 jenis yaitu *oil impregnated paper* dan *resin impregnated paper*. Pada *oil impregnated paper* isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan minyak isolasi. Sedangkan pada tipe *resin impregnated paper*, isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan resin.

Konduktor pada bushing tersusun atas *hollow conductor* dimana terdapat besi pengikat atau penegang ditengah lubang konduktor utama, konduktor pejal dan *flexible lead*. Klem koneksi merupakan sarana pengikat antara *stud bushing* dengan konduktor penghantar diluar bushing. *Accessories bushing* terdiri dari indikasi minyak, seal/gasket dan tap pengujian.

3.3.4. Pendingin

Pada saat beroperasi, suhu pada transformator akan meningkat. Hal tersebut akan mempengaruhi kualitas tegangan jaringan, *losses* pada transformator dan suhu lingkungan. Oleh sebab itu, transformator harus didinginkan.



Gambar 3.6. Pendingin pada Transformator.

Tabel 3.1 Macam-macam pendingin pada transformator

No	Macam Sistem Pendingin *)	Media			
		Dalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1.	AN	-	-	Udara	-
2.	AF	-	-	-	Udara
3.	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4.	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5.	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6.	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7.	OFWF	-	Minyak	-	Air
8.	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			

9.	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5
10.	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6
11.	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7

Sumber: Pedoman operasi dan maintenance transformator tenaga PT. PLN (Persero).

3.3.5 Oil Preservation dan Expansion (Konservator)

Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat transformator mengalami kenaikan suhu. Pada Konservator terdapat suatu indikator untuk memperlihatkan level pada konservator.



Gambar 3.7. Konservator.

3.3.6. Dielectric (Minyak Isolasi Transformator dan Isolasi Kertas)

Minyak isolasi transformator berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Minyak transformator merupakan minyak mineral dan terbagi menjadi 3 jenis, yaitu *parafinik*, *neptanik* dan *aromatic* dan tidak boleh melakukan pencampuran antara ketiga minyak tersebut karena masing-masing minyak tersebut memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda. Sedangkan kertas isolasi berfungsi sebagai isolasi, pemberi jarak dan memiliki kemampuan mekanis.



Gambar 3.8. Minyak isolasi transformator.

Tabel 3.2 Batasan nilai parameter minyak isolasi Menurut IEC 60422 yang baru dimasukkan kedalam peralatan sebelum dilakukan proses *energize*.

Property	Highest voltage for equipment kV		
	>72,5	72,5 to 170	> 170
Appearance	Clear, free from sediment and suspended matter		
Colour (On scale given in ISO 2049)	Max. 2,0	Max. 2,0	Max. 2,0
Breakdown voltage (kV)	>55	>60	>60
Water content (mg/kg) ^a	20 ^b	<10	<10
Acidity (mg KOH/g)	Max. 0,03	Max. 0,03	Max. 0,03
Dielectric dissipation factor at 90°C and 40 Hz to 60 Hz ^c	Max. 0,015	Max. 0,015	Max. 0,010
Resistivity at 90°C (GΩm)	Min. 60	Min. 60	Min. 60
Oxidation stability	As specified in IEC 60296		
Interfacial tension (mN/m)	Min. 35	Min. 35	Min. 35
Total PCB content (mg/kg)	Not detectable (< 2 total)		
Particles	-	-	See Table 8.1 ^d

Sumber: Pedoman operasi dan maintenance transformator tenaga. PT. PLN (Persero).

3.3.7. *Tap Changer*

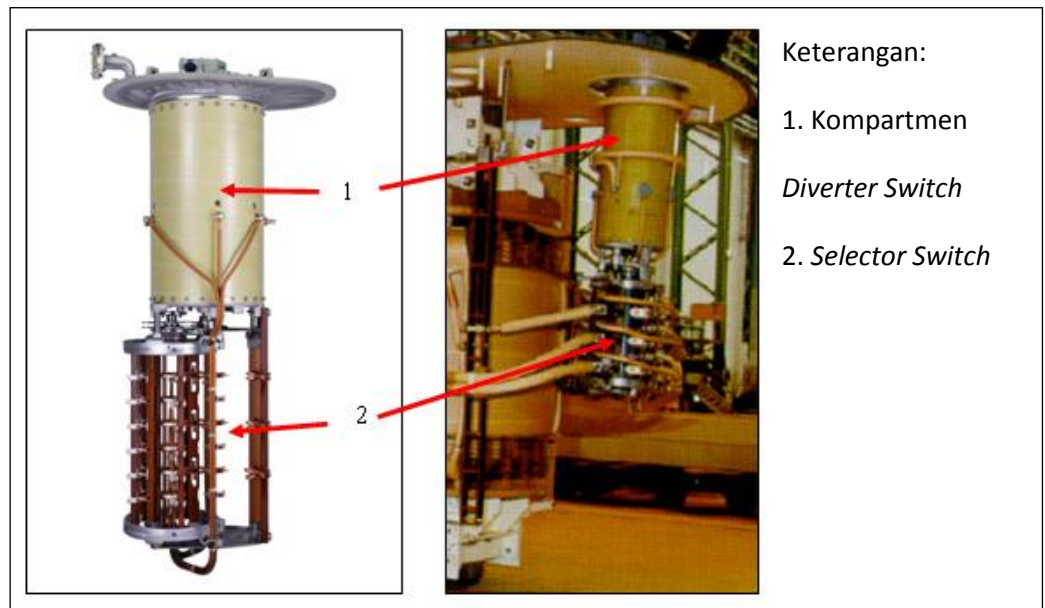
Kestabilan tegangan merupakan suatu hal haruslah diperhatikan. Transformator diharapkan memiliki nilai tegangan output yang stabil. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mengubah rasio antara belitan primer dan sekunder sesuai dengan kebutuhan. Untuk penyesuaian ratio transformator digunakan tap changer. Proses perubahan rasio belitan dapat dilakukan saat transformator sedang berbeban (*on load tap changer*) atau saat transformator tidak berbeban (*off load tap changer*). *Tap changer* terdiri dari:

1. *Selector Switch*
2. *Diverter Switch*
3. *Tahanan Transisi*

Selector switch merupakan rangkaian mekanis yang terdiri dari terminal-terminal untuk menentukan posisi tap atau ratio belitan primer. *Diverter switch* merupakan rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan yang tinggi. Tahanan transisi merupakan tahanan sementara yang akan dilewati arus primer saat perubahan tap.



Gambar 3.8. *Tap Changer* manual Transformator UNINDO PLTP Lahendong.



Gambar 3.9. On load tap changer pada transformator.

Sumber: Pedoman operasi dan maintenance transformator tenaga. PT.PLN (Persero).

3.3.8 NGR (*Netral Grounding Resistance*)

NGR adalah sebuah tahanan yang dipasang seri dengan netral sekunder pada transformator sebelum terhubung ke tanah/*ground*. Tujuan dipasang NGR yaitu untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi netral ke tanah. Ada 2 jenis NGR yaitu NGR *Liquid* dengan menggunakan larutan air murni yang ditampung didalam bejana ditambahkan air garam (NaCl) untuk mendapatkan nilai resistansi yang diinginkan. Sedangkan NGR Solid terbuat dari *Stainless Steel, FeCrAl, Cast Iron, Cooper Nickel* atau *Nichrome* yang diatur sesuai tahanan.

3.4. GAMBAR DAN NAMEPLATE DATA TRAF0



MFG - UNINDO DATE

MFG – 1997

MAIN TANK S/N - A97158212

KVA - 30000

PRI - 150000 V

SEC - 11000 V

KILOGRAMS – 56000

EQUIP TYPE - TRANSFORMER

TRANS CLASS - ONAF

IMPEDENCE - 12.57%

PHASE/CYCLE - 3/50 Hz

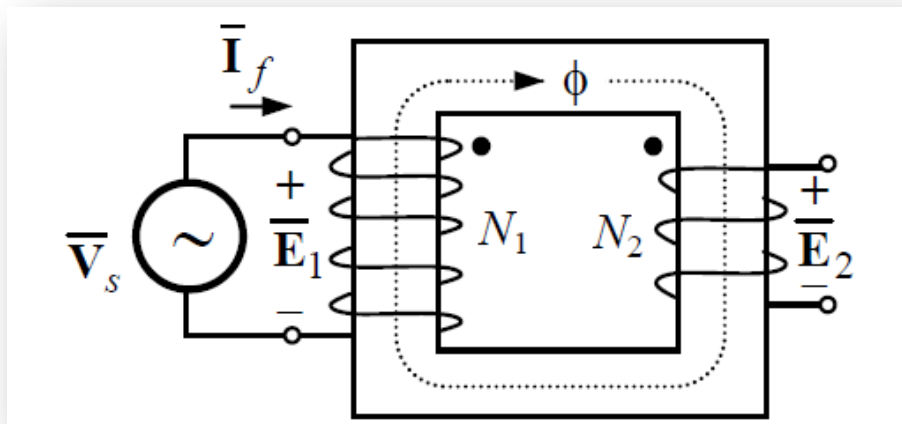
LIQUID TYPE - OIL
LITRES LIQUID - 16000
ENERGIZED – YES

3.5. Peralatan Proteksi

Peralatan proteksi pada transformator bertujuan untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian yang terganggu dan bagian lain yang masih berfungsi dengan baik sekaligus mengamankan bagian yang berfungsi dengan baik tersebut dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar. Peralatan proteksi memiliki peranan yang sangat besar.

3.6. Performansi Transformator

3.6.1. Transformator Tanpa Beban



Gambar 3.10. Transformator tanpa beban.

Sumber: Analisis keadaan mantap rangkaian sistem tenaga. BAB II.

Transformator.

Sudaryantho Sudirham.

Pada saat Transformator diberi tegangan, inti Trafo akan timbul fluks magnet $\psi = N_1 \frac{d\phi}{dt} = N_1 \Phi_{\text{maks}} \omega \cos \omega t$. Karena $\omega = 2\pi f$ maka pada belitan primer Trafo akan dihasilkan tegangan induksi sebagai berikut:

$$E_1 = \frac{2\pi f N_1}{\sqrt{2}} \Phi_{\text{maks}} = 4,44 f N_1 \Phi_{\text{maks}}$$

Sedangkan pada belitan sekunder akan dihasilkan tegangan induksi sebagai berikut:

$$E_2 = 4,44 f N_2 \Phi_{\text{maks}}$$

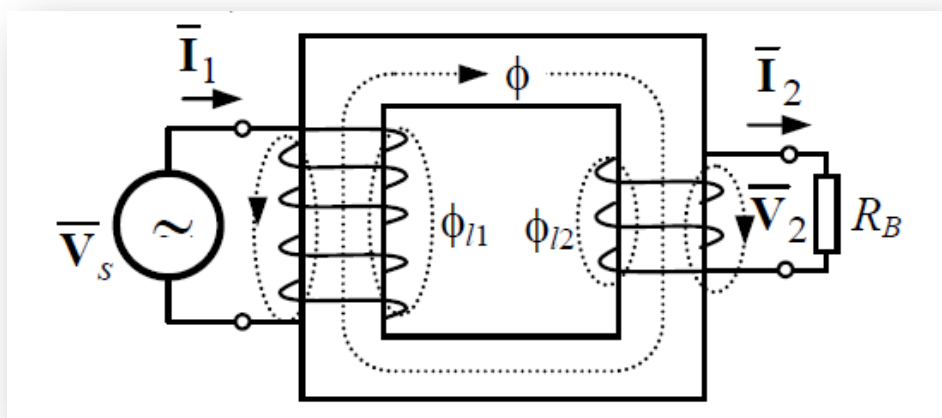
Dari tegangan induksi yang dihasilkan pada belitan primer dan sekunder, maka akan kita dapati rasio:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

3.6.2. Transformator Berbeban

Ketika transformator diberi beban pada sisi sekunder, maka pada sisi sekunder akan mengalir arus I_2 . Dimana:

- Arus I_2 *lagging* jika beban induktif.
- Arus I_2 *leading* jika beban kapasitif.



Gambar 3.11. Transformator berbeban.

Sumber: Sudirham Sudaryantho, Analisis keadaan mantap rangkaian sistem tenaga.

Tegangan induksi pada sisi sekunder akan menghasilkan arus sekunder I_2 . Arus I_2 ini membangkitkan fluks yang berlawanan dengan fluks dan sebagian akan bocor (fluksi bocor sekunder). Fluksi bocor ini menginduksi tegangan $E/2$ yang disebut tegangan jatuh pada reaktansi bocor belitan sekunder X_2 . Jika resistansi belitan sekunder R_2 , maka diperoleh hubungan:

$$E_2 = V_2 + I_2 R_2 + E/2 = V_2 + I_2 R_2 + j I_2 X_2$$

Dimana V_2 merupakan tegangan pada beban R_B . Pada beban penuh, rasio arus dari sisi primer dan sekunder adalah konstan.

3.6.3. Effisiensi Transformator

Effisiensi transformator dapat diketahui melalui perbandingan antara output dan input.

$$\text{Effisiensi} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}}$$

Tetapi pada kenyataannya masih memiliki rugi-rugi yang sangat kecil. Hal tersebut dapat dihitung dengan pengukuran input dan output.

$$\text{Effisiensi} = \frac{\text{Output}}{\text{Output} + \text{rugi-rugi}} = \frac{\text{Output}}{\text{Output} + \text{rugi inti} + \text{rugi Cu}}$$

$$\eta = \frac{\text{Input} - \text{losses}}{\text{Input}} = 1 - \frac{\text{losses}}{\text{Input}}$$

$$\text{Cu loss} = I^2 R = W_{cu}$$

$$\text{Iron loss} = \text{Histeresis loss} + \text{Eddy Current loss} = W_h + W_e = W_i$$

3.6.4 *Vector Group* (Angka Jam) Transformator

Vector Group menyatakan beda sudut fasa tegangan primer dan sekunder.

Contoh:

- Yy0 \longrightarrow Menunjukkan beda sudut 0°
- Yd1 \longrightarrow Menunjukkan beda sudut $1 \times 30^\circ = 30^\circ$
- Yd11 \longrightarrow Menunjukkan beda sudut $11 \times 30^\circ = 330^\circ$

Beda sudut (angka jam) merupakan konsekuensi/akibat dari cara menghubungkan terminal-terminal fasa.

3.7. Karakteristik Transformator Tenaga PLTP Lahendong

Untuk menaikkan tegangan 11 kV yang keluar dari Generator, PLTP Lahendong unit 1 menggunakan Transformator *Step-Up* UNINDO untuk menaikkan tegangan menjadi 150 kV. Transformator tenaga PLTP Lahendong unit merupakan Transformator 3 fasa, 50Hz, dengan daya 30 MVA.



Gambar 3.12. Name Plate Transformator PLTP Lahendong unit 1.

3.7.1. Data Teknis Transformator Tenaga PLTP Lahendong unit 1

Serial Number : A 9715212
 Tempat Pembuatan : Indonesia
 Tahun Pembuatan : 1997
 Nomor Kontrak : 020.PJP / 922 / 1995 / M
 Daya : 25/30 MVA

3.8. Gangguan Pada Transformator

Seperti halnya manusia, Transformator juga tak lepas dari gangguan (kondisi abnormal) baik disebabkan oleh pengaruh eksternal maupun internal. Semakin besar daya yang dipikul transformator, maka semakin besar pula gangguan yang akan terjadi pada Transformator. Bagian yang sangat rentan akan gangguan yaitu minyak Transformator. Minyak Transformator memiliki peran yang sangat

penting sehingga kualitas minyak Transformator dapat menentukan umur Transformator. Gangguan pada transformator terbagi atas:

3.8.1 Gangguan Internal

Gangguan yang terjadi di daerah proteksi trafo, baik didalam trafo maupun diluar trafo sebatas lokasi CT.

Penyebab gangguan internal biasanya akibat:

- Kegagalan isolasi pada belitan, lempengan inti atau baut pengikat inti atau Penurunan nilai isolasi minyak yang dapat disebabkan oleh kualitas minyak buruk, tercemar uap air dan adanya dekomposisi karena overheating, oksidasi akibat sambungan listrik yang buruk;
- Kebocoran minyak;
- Ketidaktahanan terhadap arus gangguan (electrical dan mechanical stresses);
- Gangguan pada tap changer;
- Gangguan pada sistem pendingin;
- Gangguan pada bushing.

Gangguan internal dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) kelompok, yaitu:

a. *Incipient fault*:

Gangguan terbentuk lambat, dan akan berkembang menjadi gangguan besar jika tidak terdeteksi dan tidak diatasi. Yang termasuk kedalam gangguan *incipient fault*, yaitu: *Overheating*, *overfluxing*, dan *over pressure*.

Penyebab *Overheating*

- Ketidaksempurnaan sambungan baik elektrik maupun magnetic;
- Kebocoran minyak;
- Aliran sistem pendingin tersumbat;
- Kegagalan kipas atau pompa sistem pendingin.

Penyebab *overfluxing*

Terjadi saat overvoltage dan under frekuensi, dapat menyebabkan bertambahnya rugi-rugi besi sehingga terjadi pemanasan yang dapat menyebabkan kerusakan isolasi lempengani inti dan bahkan isolasi belitan.

Penyebab *Overpressure*

- Pelepasan gas akibat overheating;
- Hubung singkat belitan-belitan sefasa;
- Pelepasan gas akibat proses kimia.

b. *Active fault*:

Disebabkan oleh kegagalan isolasi atau komponen lainnya yang terjadi secara cepat dan biasanya dapat menyebabkan kerusakan yang parah.

Penyebab dari gangguan *Active fault* adalah sebagai berikut:

- Hubung singkat fasa-fasa atau fasa dengan *ground*;
- Hubung singkat antar lilitan sefasa (*intern turn*);
- *Core faults*;
- *Tank faults*; *Bushing flashovers*.

3.8.2. Gangguan Eksternal

Gangguan yang terjadi diluar daerah proteksi trafo. Umumnya gangguan ini terjadi pada jaringan yang akan dirasakan dan berdampak terhadap ketahanan kumparan primer maupun sekunder/tersier Trafo. Fenomena gangguan eksternal seperti:

- Hubung singkat pada jaringan sekunder atau tersier (penyulang) yang menimbulkan *through fault current*. Frekuensi dan besaran arus gangguan diprediksi akan mengurangi umur operasi trafo;
- Pembebanan lebih (*Overload*);
- *Overvoltage* akibat surja hubung atau surja petir;
- *Under* atau *over frequency* akibat gangguan system;
- *External system short circuit*.

3.9. Proteksi dan Sistem Kontrol Pada Transformator Tenaga PLTP Lahendong

Proteksi pada transformator bertujuan mengidentifikasi suatu gangguan dan memisahkan bagian yang mengalami gangguan dan yang tidak mengalami gangguan untuk memperkecil akan gangguan pada transformator serta mengantisipasi kerugian yang lebih besar sehingga terhindar dari gangguan internal maupun eksternal. Proteksi pada transformator tenaga terbagi 2 yaitu proteksi mekanis dan elektrik. Proteksi mekanis menggunakan rele Buchholz, rele Jansen, *suden pressure relay* dan *thermal relay*. Sedangkan proteksi elektrik menggunakan *differensial relay*, *Restricted Earth Fault (REF) relay*, *over current relay (OCR)* dan rele gangguan ke tanah (GFR) sebagai proteksi cadangan. Untuk pentanahan belitan Y dengan resistor digunakan *Standby Earth Fault (SBEF)*. Fungsi SBEF untuk mengamankan NGR.

3.9.1. Rele Buchholz

Penggunaan rele Buchholz pada transformator yaitu untuk mengamankan transformator dari gangguan-gangguan internal yang umumnya menghasilkan gas. Gas-gas tersebut akan dikumpulkan di dalam ruangan rele kemudian mengaktifkan kontak-kontak alarm.

Rele ini juga terdiri dari peralatan yang tanggap terhadap ketidaknormalan aliran minyak yang tinggi, yang timbul pada waktu transformator terjadi gangguan serius. Peralatan ini kemudian akan menggerakkan kontak trip yang umumnya terhubung dengan rangkaian trip pemutus arus dari instalasi transformator tersebut.

3.9.2. Rele Jansen

Jenis rele Jansen kurang lebih sama dengan rele Buchholz dan memiliki prinsip kerja yang sama pula, hanya saja rele Jansen digunakan untuk mengamankan ruang OLTC.

3.9.3. Sudden Pressure Relay

Suatu *flash over* atau hubung singkat pada suatu transformator, umumnya berkaitan dengan tekanan lebih di dalam tangki. Dengan melengkapi sebuah pelepasan tekanan pada trafo maka tekanan lebih yang membahayakan tangki trafo dapat dibatasi besarnya.

3.9.4 Thermal relay

Suhu pada transformator yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, *losses* pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada transformator.

Untuk mengetahui suhu operasi dan indikasi ketidaknormalan suhu operasi pada transformator digunakan *thermal relay*. *Thermal relay* ini terdiri dari sensor suhu berupa *thermocouple*, pipa kapiler dan meter penunjukan.

Tabel 3.3 Setting Relay Proteksi Transformator.

Relay Proteksi	Instalasi	Setting		Rasio (CT)
Differential Relay	Transformer	$I_s = 0,3 \times I_n$		250:1 1500:1
OCR+EFR	Transformer	$I_s = 1,2 \times I_n$ $I_m = 8 \times I_s$ $I_{so} = 0,2 \times I_n$ $I_{mo} = 8 \times I_{so}$	$t_s = 0,75s (D2)$ $t_{so} = 0,75s (D2)$	250:1
REF	Transformer	$I_s = 0,15 \times I_n$		250:1
OCR	Transformer (Netral)	$I_s = 0,1 \times I_n$ $I_m = 4 \times I_s$	$t_s = 0,75s (D2)$	250:1
OCR	Transformer (Tangki)	$I_s = 0,4 \times I_n$ $I_m = 8 \times I_s$	$t_s = 0,05s (D2)$	125:1
Local Break Back Up Relay	Transformer	$I_s = 0,1 \times I_n$		250/1
Local Break Back Up Relay	Transformer		$t_s = 350ms$	

3.10. Pemeliharaan Transformator PLTP Lahendong

Pemeliharaan Transformator merupakan suatu kegiatan merawat bagian-bagian Transformator dalam upaya memperpanjang umur Transformator sendiri. Transformator yang dirawat dengan baik akan memberikan performa yang andal dengan sedikit gangguan baik gangguan internal maupun eksternal Transformator. Pemeliharaan transformator tenaga pada PLTP Lahendong, dilakukan dengan 3 cara, yaitu:

3.10.1. *Predictive Maintenance*

Predictive Maintenance (Conditional Base maintenance) merupakan pemeliharaan yang dilakukan dengan cara memprediksi suatu kondisi peralatan listrik, apakah peralatan tersebut mengalami kegagalan dan kapan peralatan tersebut menagalami kegagalan. Dengan prediksi tersebut dapat diketahui gejala kerusakan sejak dini. Pemeliharaan dapat dilakukan *online* maupun *offline*. Salah satu contoh pemeliharaan ini adalah dengan menganalisa kualitas minyak pada Transformator. Semakin baik kualitas minyak, maka performansi Transformator akan lebih baik. Di bawah ini menunjukkan tabel hasil test Laboratorium Transformator Tenaga di PLTP Lahendong unit 1.

Tabel 3.4. Hasil test Laboratorium Transformator Tenaga UNINDO

Vol. minyak		16.000 liter
Acid		0,022
Ift		28,9
diel		89,0
Color		1,5
Spec Graf		0,869
Visual		C
Kelembaban (moisture)	ppm	10
	Grade	A
DGA (ppm)	H ₂	14
	O ₂	5,621
	N ₂	61,606
	CH ₄	129

	CO	223
	CO ₂	1,918
	C ₂ H ₆	324
	C ₂ H ₄	18
	C ₂ H ₂	0
	TDCG	708
lpf (c)	26°	0,27
	100°	7,64
Dbpc		0,00
Furan		11
Metal in oil	Al	0,00
	Fe	0,00
	Cu	0,13
Corr Sulf	2C	Ket: Non Corrosive

Saran: Perform oil regeneration

Sumber: Data hasil test Laboratorium Transformator Tenaga PLTP Lahendong unit 1

Dari hasil tes Laboratorium dapat disimpulkan bahwa:

- Keasaman minyak Transformator pada nilai 0,022 mgKOH/g dapat diterima.
- *Interfacial tension* pada nilai 28,9 mN/m dipertanyakan. Dari hasilnya, bahwa minyak Transformator PLTP Lehendong unit 1 dikontaminasi oleh beberapa kontaminan.
- *Dielectric breakdown voltage* pada nilai 89 kV dapat diterima.
- Warna, specific gravity dan visualisasi berada pada kondisi normal.
- Dari tes *Dissolved Gasses Analysis*, Transformator terindikasi pernah mengalami kelebihan panas. Hal ini ditunjukkan dengan adanya metana dan etana yang mendominasi gas yang mudah terbakar. Konsentrasi etana yang tinggi menunjukkan panas berlebih hingga 150°C.

- Untuk air dalam minyak Transformator, berada pada nilai 10 ppm dan berada dalam kondisi normal. Transformator yang baik, direkomendasikan berada pada nilai < 20 ppm.
- Analisa Furan menunjukkan bahwa isolasi pada berada dalam kondisi yang baik.
- Logam dalam air memiliki nilai dibawah 2 ppm dan berada pada kondisi yang baik.
- *Liquid power factor* berada pada nilai 25% dipertanyakan. Saat nilai menunjukkan 100% maka minyak tidak bisa digunakan. Kenaikkan *power factor* diakibatkan oksidasi produk dan kontaminan.
- Tidak ada *Inhibitor content* yang ditemukan. *Inhibitor content* dapat mempercepat proses oksidasi.

Dari hasil tes disarankan:

- Disarankan untuk meregenerasi minyak Transformator. Regenerasi minyak Transformator akan menghilangkan oksidasi yang tidak diinginkan dari minyak isolasi. Pemulihan ini akan mengembalikan kualitas minyak Transformator.
- DGA di tes kembali pada 6 bulan setelah minyak di regenerasi untuk melihat gas-gas yang muncul.

3.10.2. Preventive Maintenance

Preventive Maintenance merupakan pemeliharaan yang dilakukan secara berkala sesuai jangka waktu tertentu. Pemeliharaan ini berpedoman pada standar tertentu atau sesuai *instruction manual* dari pabrik. Kegiatan menganalisa performansi transformator dengan cara pengecekan secara langsung, maka akan diketahui kondisi Transformator. Ada 3 bagian yang harus diperiksa yaitu:

- Proteksi

Untuk proteksi Transformator Tenaga PLTP Lahendong dilakukan setahun sekali dengan mengadakan pengujian terhadap peralatan-peralatan proteksi seperti tes

kontak pada *Buchholz*, Thermometer, *Hot Spot Thermometer*, *Over Pressure Valve* serta tes isolasi pada transformator arus (*current transformer*).

- Sistem Pendingin

Untuk *maintenance* sistem pendingin Transformator dilakukan setahun sekali dengan memeriksa kondisi *starting steps*, *timing relays*, *motor fans*, *low voltage wiring*, *insulation circuit* dan *oil flow meter*.

- Aspek umum

Untuk bagian-bagian umum dari transformator dilakukan *maintenance* setahun sekali dengan memeriksa *oil leakages*, *transformer cable boxes*, *connections*, *bushing* dan cat pada transformer.

3.10.3. Corrective Maintenance

Corrective Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan perencanaan pada waktu tertentu ketika peralatan mengalami kelainan atau unjuk kerja rendah dengan tujuan untuk mengembalikan ke kondisi semula. Pemeliharaan disertai dengan perbaikan, penggantian *part* atau bagian yang rusak atau kurang berfungsi untuk penyempurnaan instalasi. Pemeliharaan ini biasa disebut *Curative Maintenance*.

BAB IV

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Pada PLTP Lahendong Transformator atau biasanya disebut trafo memiliki peranan penting dalam sistem pembangkitan tenaga listrik karena untuk mengalirkan listrik ke AP2B tegangan dari pembangkit harus diubah dari 11, 66 kV ke 150 kV. Trafo adalah komponen elektromagnet yang berfungsi menyalurkan daya/energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya dalam frekuensi yang sama. Transformator merupakan jantung dari distribusi dan transmisi yang diharapkan beroperasi maksimal (kerja terus menerus tanpa henti).

Trafo menggunakan prinsip hukum Induksi Faraday dan Hukum Lorentz dalam menyalurkan daya, dimana arus bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet. Dan apabila magnet tersebut dikelilingi suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda potensial.

Transformator sering mengalami gangguan-gangguan, baik internal maupun eksternal. Untuk menanggulangi gangguan tersebut, maka transformator harus diproteksi. Proteksi pada transformator bertujuan mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian yang mengalami gangguan dan yang tidak mengalami gangguan untuk memperkecil akan gangguan pada transformator serta mengantisipasi kerugian yang lebih besar sehingga terhindar dari gangguan internal maupun eksternal.

Seiring berjalannya waktu *lifetime* transformator akan semakin berkurang, untuk menghindari kerusakan yang disebabkan oleh degradasi usia maka transformator harus dipelihara. Pemeliharaan trafo terbagi atas tiga bagian yaitu:

- a. *Predictive Maintenance*
- b. *Preventive Maintenance*
- c. *Currative Maintenance*

4.2. Saran

- 1) Sebaiknya pada PLTP Lahendong memiliki laboratorium sendiri untuk pengujian minyak trafo.
- 2) Sebaiknya karyawan PLTP Lahendong didominasi dengan karyawan tetap, sehingga kinerja lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

Dietzel, Fritz. 1996. *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta.

El-Wakil, M. 1985. *Powerplant Technology*, McGraw-Hill Book Co.

Pudjanarsa, Astu. 2008. *Mesin Konversi Energi*, ANDI, Yogyakarta.

[www://blogspot.com/2011/06/pemeliharaan turbin uap](http://www.blogspot.com/2011/06/pemeliharaan_turbin_uap)

<http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/01/komponen-komponen-transformator.html>

<http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/01/komponen-komponen-transformator.html>