

LAPORAN KERJA PRAKTEK

PENGUJIAN KUALITAS ISOLASI BELITAN
DARI KUMPARAN STATOR GENERATOR SINKRON
BERDASARKAN NILAI TAHANAN ISOLASI, *TAN DELTA*,
DAN *PARTIAL DISCHARGE* PADA PLTU JATENG 2 ADIPALA
PT. INDONESIA POWER MSU SEMARANG

Diajukan untuk memenuhi persyaratan kelulusan
Mata Kuliah Kerja Praktek



Oleh :
Gilang Satria Ajie
I0717017

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
2020

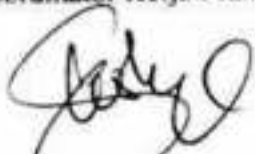
HALAMAN PENGESAHAN

**PENGUJIAN KUALITAS ISOLASI BELITAN
DARI KUMPARAN STATOR GENERATOR SINKRON
BERDASARKAN NILAI TAHANAN ISOLASI, *TAN DELTA*,
DAN *PARTIAL DISCHARGE* PADA PUTU JATENG 2 ADIPALA
PT. INDONESIA POWER MSU SEMARANG**

Oleh

Gilang Satria Ajie
10717017

Koordinator Kerja Praktek



Jaka Sulistyua Budi, S.T.
NIP. 196710191999031001

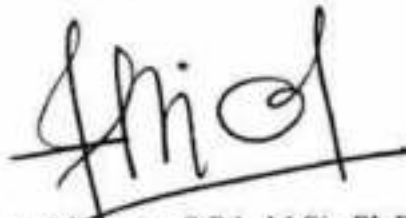
Pembimbing Kerja Praktek



Chico Hermanu Brillianto Apribowo, S.T., M.Eng
NIP. 198804162015041002

Kepala Program Studi

Teknik Elektro



Feri Adhianto, S.Pd., M.Si., Ph.D.
NIP. 196801161999031001

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGUJIAN KUALITAS ISOLASI BELITAN
DARI KUMPARAN STATOR GENERATOR SINKRON
BERDASARKAN NILAI TAHANAN ISOLASI, TAN DELTA, DAN
PARTIAL DISCHARGE PADA PLTU JATENG 2 ADIPALA
PT. INDONESIA POWER MSU SEMARANG**

Oleh :

Gilang Satria Ajie

10717017

Supervisor Senior
Pemeliharaan Area 1.3 MSU



Pembimbing Lapangan

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Zakky Mubarak".

Zakky Mubarak

ABSTRAK

Pengujian Kualitas Isolasi Belitan dari Kumparan Stator Generator Sinkron Berdasarkan Nilai Tahanan Isolasi, *Tan Delta*, dan *Partial Discharge* pada PLTU Jateng 2 Adipala

Gilang Satria Ajie

Kualitas isolasi belitan stator generator sangat perlu diperhatikan. Generator pada PLTU Jateng 2 Adipala dipilih menjadi objek utama pada laporan KP ini. Generator sinkron berkapasitas 22 kV ini secara periodic dilakukan *maintenance* (Overhaul). Salah satu pemeliharaan yang dilakukan oleh PT. Indonesia Power MSU (*Maintenance Service Unit*) area 1.3 Semarang adalah dilakukannya pengujian-pengujian untuk mengetahui kualitas isolasi pada keseluruhan komponen generator. Pengujian yang dilakukan untuk menentukan kualitas isolasi suatu belitan pada stator terdiri dari pengujian tahanan isolasi, *tan delta*, dan *partial discharge*. Pada laporan KP ini, pengujian tahanan isolasi bertujuan untuk mengetahui nilai *shot to ground* menggunakan parameter PI (*Polarization Index*), pengujian *tan delta* bertujuan untuk mengetahui besar rugi dielektrik bahan, dan pengujian *partial discharge* bertujuan untuk mengetahui letak isolasi yang paling lemah. Berdasarkan hasil uji pengukuran tahanan isoalasi menggunakan Megger didapatkan nilai PI yang baik. Pengukuran pada fasa R,S,dan T menggunakan alat *lifeview* QTD yang disuplay dengan tegangan 0.6UN didapatkan nilai *tan delta* dan grafik *partial discharge*. Hasil pengolahan data menunjukkan fasa S dalam kondisi *upnormal* dan diindikasikan mengalami kebocoran isolasi.

Kata Kunci: *leakage test, tahanan isolasi, tangent delta, partial discharge.*

ABSTRACT

Quality Testing of Winding Isolation from Synchronous Generator Stator Coils Based on the Value of the Isolation Resistivity, Tan Delta, and Partial Discharge in the Central Java 2 Adipala Power Plant

Gilang Satria Ajie

The quality of the stator generator winding insulation is very important. Generator in Central Java 2 Adipala PLTU was selected as the main object in this KP report. This 22 kV synchronous generator is regularly overhauled. One of the maintenance performed by PT. Indonesia Power MSU (Maintenance Service Unit) area 1.3 Semarang. Tests carried out to determine the quality of insulation of the windings on the stator consist of testing the insulation resistance, tan delta, and partial release. In this KP report, isolation trials are used to test values fired to the ground using the PI (Polarization Index) parameter, test tan to study the dielectric material, and test partial release to find out the weakest isolation. Based on the test results of isoalation resistance assessment using Megger, a good PI is obtained. Measurements on phase R, S, and T using the QTD lifeview tool that is supplied with a voltage of 0.6UN obtain tan delta values and partial discharge graphs. Results Processing data shows the S phase is under normal conditions and is indicated to improve compatibility.

Keywords: *leakage test, insulation resistance, delta tangent, partial discharge.*

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Praktek Kerja Lapangan dengan judul “Pengujian Kualitas Isolasi Belitan dari Kumpanan Stator Generator Berdasarkan Nilai Tahanan Isolasi, *Tan Delta*, dan *Partial Discharge* pada PLTU Jateng 2 Adipala”. Tujuan dari penulisan laporan ini adalah untuk menyelesaikan segala rangkaian kegiatan PKL bersama PT. Indonesia Power MSU Semarang agar penulis mendapatkan nilai untuk mata kuliah Kerja Praktek sehingga dapat menyelesaikan studi pada Universitas Negeri Sebelas Maret.

Penulisan laporan ini tidak akan selesai tanpa bantuan semua yang telah berkontribusi pada hidup saya, antara lain:

1. Allah SWT yang tidak henti – hentinya memperlihatkan keajaibannya pada penulis selama melaksanakan kerja lapangan.
2. Kedua orang tua yang sampai sekarang tidak pernah bosan berdoa untuk masa depan penulis.
3. Bapak Feri Adriyanto, Ph.D. sebagai Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Sebelas Maret.
4. Bapak Muhammad Hamka Ibrahim ST., M.Eng. sebagai Pembimbing Akademik penulis.
5. Bapak Chico Hermanu Brillianto Apribowo S.T., M.Eng. sebagai Pembimbing Kerja Praktek.
6. Dosen – dosen Teknik Elektro UNS yang telah memberikan ilmunya untuk penulis selama menempuh studi.
7. Bapak Alde Renaldi sebagai Senior Supervisor PT. Indonesia Power UJH Semarang yang telah mengizinkan penulis untuk menimba ilmu dan pengalaman ini.
8. Bapak Zakky Mubarak yang telah membimbing penulis selama melaksanakan kerja praktek.
9. Bapak dan mas dari team *Assessment Service* dari Jakarta mulai dari Bapak Andika, Bapak Yohanes, Mas Bayu yang telah membantu penulis untuk menjawab keingintahuannya.

10. Bapak Ratno, Bapak Khairul, dan Bapak Wildan selaku penanggung jawab pada bagian pemeliharaan Generator yang selalu bersama dalam suka maupun duka.
11. Bapak-bapak QC (*Quality Control*) terutama Bapak Slamet yang telah memberikan masukan-masukan kepada penulis dalam menyusun laporan.
12. Mbak-mbak kantin yang selalu membawakan snack pagi dan sore.
13. Mas-mas dari MSU (*Maintenance Service Unit*) Semarang yang selalu menemani penulis selama satu bulan dalam menimba ilmu dan pengalaman yang sangat berharga ini.
14. Seluruh staff dan karyawan PT. Indonesia Power yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.
15. Keluarga Bintang yaitu Bapak Warsono dan Ibu Riyanti yang telah banyak membantu segala kebutuhan saya sehari-hari.

Terima kasih atas segala bantuannya untuk semua individu yang telah membantu penulis, yang tidak sanggup penulis sebutkan satu persatu. Penulis menyadari kekurangannya yang tidak akan pernah habis termasuk dalam penulisan laporan ini, sehingga diharapkan adanya saran maupun kritik untuk membangun penulis kedepannya. Akhir kata terima kasih dan semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang dapat mengambil sisi baiknya.

Semarang, 5 Febuari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR RUMUS	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Kerja Praktek.....	2
1.3 Manfaat Kerja Praktek.....	2
1.4 Metode Pengambilan Data	3
1.5 Waktu dan Lokasi Praktek Kerja Industri	4
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	4
BAB II TINJAUAN UMUM PERUSAHAAN	6
2.1 Sejarah PT Indonesia Power.....	6
2.2 Visi, Misi, Motto PT Indonesia Power.....	7
2.3 Makna dan Bentuk Logo PT Indonesia Power.....	8
2.4 Nilai Perusahaan	10
2.5 Bisnis Utama PT Indonesia Power	12
2.6 Produk Jasa PT. Indonesia Power	13
2.7 Sejarah PLTU Jateng 2 Adipala	15
2.8 Struktrur Organisasi Pemeliharaan Area 1.3 PLTU Jateng 2 Adipala ...	16
BAB III DASAR TEORI	17
3.1 Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	17
3.2 Generator Sinkron	36
3.3 Konstruksi Generator Sinkron.....	38
3.4 Sistem Pendingin Generator	41
3.5 Isolator.....	43
3.6 Bahan Isolasi	44
3.7 Tahanan Isolasi.....	46
3.8 Klasifikasi Bahan Isolasi	47

3.9	Isolasi Belitan Stator	48
3.10	Aplikasi Bahan Isolasi	49
3.11	Pemeliharaan Peralatan Listrik	50
3.12	Jenis-Jenis Pemeliharaan	51
3.13	Pengukuran <i>Insulation Resistant</i> dan PI	52
3.14	Tangent Delta	54
3.15	Kelebihan Tangent Delta	56
3.16	Interpretasi Pengujian Tangent Delta	56
3.17	Metode Pengujian Tangent Delta	57
3.18	<i>Partial Discharge</i>	59
BAB IV PEMBAHASAN		61
4.1	Desain Generator	61
4.2	<i>Scope Assessment</i> pada Generator	62
4.3	Sistem Pendingin Generator	65
4.4	<i>Leakage Test</i> Udara Instrument	66
4.5	Pengukuran <i>Insulation Resistance and PI</i> Stator Generator	70
4.6	Pengujian Pengukuran dengan Lifeview QTD	74
4.7	Pengujian <i>Tan Delta</i> Stator Generator	80
4.8	<i>Partial Discharge Test</i>	85
4.9	<i>Leakage Test</i> Gas Helium	87
BAB IV PENUTUP		93
5.1	Kesimpulan	93
5.2	Saran	93
DAFTAR PUSTAKA		94
LAMPIRAN		95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Visi, Misi dan Motto PT. Indonesia Power	8
Gambar 2.2 Logo PT. Indonesia Power	8
Gambar 2.3 Nilai Perusahaan PT. Indonesia Power	10
Gambar 2.4 Sumber : Indonesia Power (2017)	13
Gambar 2.5 PLTU Jateng 2 Adipala	15
Gambar 2.6 Struktur Organisasi Pemeliharaan PLTU Jateng 2 Adipala	16
Gambar 3. 1 Siklus PLTU Adipala	17
Gambar 3. 2 Ship Unloader.....	18
Gambar 3. 3 Stacker and Reclaimer.....	18
Gambar 3. 4 Coal Yard	19
Gambar 3. 5 Belt Conveyor	19
Gambar 3. 6 Transfer Tower.....	20
Gambar 3. 7 Coal Bunker.....	21
Gambar 3. 8 Coal Feeder	21
Gambar 3. 9 Pulverizer	22
Gambar 3. 10 <i>SA Fan</i>	22
Gambar 3. 11 Primary Air Fan.....	23
Gambar 3. 12 Force Draft Fan	24
Gambar 3. 13 Bottom Ash Silo	25
Gambar 3. 14 Electro Static Precipitator	25
Gambar 3. 15 Fly Ash Silo.....	26
Gambar 3. 16 ID fan.....	26
Gambar 3. 17 Stack	27
Gambar 3. 18 Sea Water Pump	28
Gambar 3. 19 Floakulasi dan Sedimentasi.....	29
Gambar 3. 20 Sea Water Booster Pump	29
Gambar 3. 21 Multi Medium Filtration	30
Gambar 3. 22 Reverse Osmosis High Pressure Pump (RO HPP).....	30
Gambar 3. 23 SWRO	31
Gambar 3. 24 Produk Tank	31
Gambar 3. 25 Stage Feed Pump.....	32
Gambar 3. 26 Stage RO HPP	32
Gambar 3. 27 BWRO Module	33
Gambar 3. 28 Raw Water Tank.....	33
Gambar 3. 29 Condensate Transfer Pump	34
Gambar 3. 30 CEP	34
Gambar 3. 31 Polishing Plant	35
Gambar 3. 32 BFPT	36
Gambar 3. 33 Generator Sinkron Shanghai Electric	36
Gambar 3. 34 Konstruksi Generator Sinkron.....	38
Gambar 3. 35 Stator Generator Sinkron.....	39

Gambar 3. 36 Rotor Generator Sinkron	40
Gambar 3. 37 Generator Berpendingin Hidrogen	42
Gambar 3. 38 Generator Berpendingin Hidrogen dan Air	43
Gambar 3. 39 Konstruksi Generator Sinkron	52
Gambar 3. 40 Kurva Nilai Kapasitif	55
Gambar 3. 41 Kurva <i>Tan Delta</i>	55
Gambar 3. 42 Grafik <i>Tan Delta</i>	56
Gambar 3. 43 Pemasangan Mode GST	57
Gambar 3. 44 Pemasangan Mode GSTG	58
Gambar 3. 45 Pemasangan Mode UST	59
Gambar 4. 1 Nameplate Generator	61
Gambar 4. 2 Flowchat Pengujian	64
Gambar 4. 3 Saluran Pipa C3W	65
Gambar 4. 4 Saluran Pipa GSCW	66
Gambar 4. 5 Sistem GSCW	67
Gambar 4. 6 Pemasangan Saluran Udara Instrument	68
Gambar 4. 7 Pemasangan Pressure meter	68
Gambar 4. 8 Cairan Snoop	69
Gambar 4. 9 Proses Meneteskan Cairan Snoop	69
Gambar 4. 10 Megger MIT1025	70
Gambar 4. 11 starpoint	71
Gambar 4. 12 Hasil Pengukuran Megger	71
Gambar 4. 13 Selector Nilai PI	73
Gambar 4. 14 Kalibrator	74
Gambar 4. 15 Device QTD	74
Gambar 4. 16 Analyzer	75
Gambar 4. 17 Batterai	75
Gambar 4. 18 Voltage Regulator	75
Gambar 4. 19 Trafo step-up 220 V – 13.8 kV	76
Gambar 4. 20 Kabel 3 Fasa	76
Gambar 4. 21 Rangkaian Kalibrasi Alat	77
Gambar 4. 22 Langkah-Langkah Kalibrasi	77
Gambar 4. 23 Rangkaian pengukuran <i>tan delta</i> dan partial discharge	79
Gambar 4. 24 Rangkaian Alat pada QTD	79
Gambar 4. 25 Proses Pengambilan Data Pengukuran	82
Gambar 4. 26 Grafik Dissipation Factor fasa R-S-T	82
Gambar 4. 27 Grafik AC Leakage Test fasa R-S-T	83
Gambar 4. 28 Grafik Capacitance Test fasa R-S-T	84
Gambar 4. 29 Grafik Partial Discharge fasa R	85
Gambar 4. 30 Grafik Partial Discharge fasa S	86
Gambar 4. 31 Grafik Partial Discharge fasa T	86
Gambar 4. 32 Tabung Gas Helium	88

Gambar 4. 33 Helium Detector	89
Gambar 4. 34 Penggunaan Helium Detector.....	89
Gambar 4. 35 Lampu Indikator Berwarna Merah.....	90
Gambar 4. 36 Letak Kebocoran pada Pipa Header	90
Gambar 4. 37 ProLong	91
Gambar 4. 38 ProLong	91

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Kelas Isolasi	45
Tabel 4.1 Spesifikasi Generator	61
Tabel 4.2 Pengujian pada Stator Winding.....	62
Tabel 4.3 Pengujian pada Rotor Winding	63
Tabel 4.4 Pengujian Megger Pertama	72
Tabel 4.5 Pengujian Megger Kedua.....	72
Tabel 4.6 Hasil Pengujian <i>Tan Delta</i> pada Fasa R	80
Tabel 4.7 Hasil Pengujian <i>Tan Delta</i> pada Fasa S	81
Tabel 4.8 Hasil Pengujian <i>Tan Delta</i> pada Fasa T.....	81

DAFTAR RUMUS

Rumus 3. 1 Kecepatan Sinkron	37
Rumus 4. 1 Mencari PI.....	73
Rumus 4. 2 Mencari Tegangan Pada Voltage Regulator	79

DAFTAR KETERANGAN SIMBOL

PI	: <i>Polarization Index</i>
PD	: <i>Partial Discharge</i>
IR	: <i>Insulation Resistance</i>
TD	: <i>Tan Delta</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan suatu negara sangat dipengaruhi oleh sektor perindustriannya. Sesuai dengan Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) 2015 – 2035, Indonesia menargetkan sektor industri untuk berkontribusi terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) sebesar 30% pada tahun 2035. Sektor industri saat ini berkontribusi sebesar 19.82% dari perekonomian nasional (sumber: Badan Pusat Statistik), sehingga masih dibutuhkan banyak peningkatan dalam sektor industri masyarakat dan sumber energi yang dibutuhkan.

Listrik merupakan salah satu aspek yang sangat penting bagi masyarakat terutama untuk perindustrian. Perindustrian membutuhkan jumlah energi listrik yang semakin besar untuk menjalankan peralatannya sehingga dibutuhkan suplai listrik yang lebih besar. Dengan berkembangnya perindustrian, industri listrikpun sangat dibutuhkan untuk menyuplai energi listrik bagi seluruh Rakyat Indonesia. Salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan batu bara untuk memanaskan air yang menghasilkan uap bertekanan. Uap bertekanan tinggi ini digunakan memutar turbin yang dicouple langsung dengan generator sehingga menghasilkan listrik. Pembangkit listrik ini merupakan objek vital suatu negara untuk mensuplai listrik bagi seluruh negeri sehingga dibutuhkan rencana yang matang untuk berbagai macam hasil.

Pada sistem tenaga listrik, pengecekan kondisi mesin perlu dilakukan secara rutin. Selain itu proteksi terhadap mesin juga perlu diperhatikan mengingat keandalan mesin listrik yang semakin lama beroperasi akan semakin menurun.

Kualitas isolasi pada generator pembangkit listrik khususnya pada system pendingin merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhatikan dalam melakukan pemeliharaan. Pengujian tegangan tinggi pada isolasi belitan, menunjukkan kualitas isolasi terhadap tegangan kerja yang akan diterima oleh belitan tersebut.

Hasil uji kebocoran system pendingin generator yang didapatkan pada saat pengujian, menjadi indikasi ketahanan kualitas isolasi terhadap tegangan tinggi. $\tan \delta$ atau faktor disipasi juga merupakan salah satu indikasi yang menunjukkan karakteristik ketahanan isolasi. $\tan \delta$ akan berpengaruh pada rugi daya yang disebabkan oleh besarnya daya reaktif yang timbul dikarenakan nilai $\tan \delta$ yang tinggi. Hal ini kemudian mungkin untuk menentukan $\tan \delta$ (*dissipation factor*) sebagai rasio antara arus yang mengalir secara resistif dan kapasitif setara (Ghaderi, et al., 2019). Selain itu, pengujian kebocoran isolasi pada stator menggunakan udara instrument dan juga gas helium perlu dilakukan untuk mengetahui titik kebocoran system pendingin generator pada PLTU Jateng 2 Adipala.

1.2 Tujuan Kerja Praktek

Adapun tujuan Kerja Praktek yang dilaksanakan di PT. Indonesia Power MSU PLTU Jateng 2 Adipala ini antara lain adalah :

1. Mendapatkan pengalaman dalam lingkungan kerja dan berlatih menangani permasalahan yang terjadi serta mengetahui perbandingan teori yang didapat selama kuliah dengan penerapannya di lingkungan kerja.
2. Mengetahui dan mempelajari proses sistem pembangkitan listrik pada PLTU secara umum.
3. Penyusunan laporan kerja praktek ini bertujuan untuk :
 - a. Melakukan pengujian penukuran tahanan isolasi, *tan delta*, dan *partial discharge* untuk mengetahui kualitas isolasi pada kumparan stator.
 - b. Membandingkan hasil pengujian tahanan isolasi, *tan delta*, dan *partial discharge* dengan nilai standart yang ditentukan.

1.3 Manfaat Kerja Praktek

Manfaat yang diharapkan dari Kerja Praktek ini adalah :

1. Bagi Mahasiswa
 - a. Memperoleh pengalaman secara langsung.
 - b. Memahami dan mengaplikasikan pengetahuan yang didapat selama perkuliahan di dunia industri.

- c. Menambah pengetahuan dan pengalaman di dunia industri dengan melakukan observasi langsung.
 - d. Memahami proses industri dengan teori dan praktik yang didapat dalam perkuliahan serta mampu mempraktekannya dalam dunia industri.
2. Bagi Akademik
- Dapat digunakan sebagai alternatif pembelajaran tentang pengenalan teknologi di bidang pembangkitan listrik tenaga gas dan uap.
3. Bagi Perusahaan
- a. Membina hubungan yang baik dengan pihak institusi/universitas dan mahasiswa
 - b. Ikut serta membantu dunia pendidikan khususnya dalam pelatihan guna menyiapkan tenaga kerja yang siap pakai.

1.4 Metode Pengambilan Data

Metode yang digunakan dalam penulisan laporan ini yaitu metode studi pustaka, observasi atau pengamatan di lapangan dan wawancara.

Adapun data-data yang diperoleh dalam laporan ini berasal dari :

1. Pengamatan Lapangan

Studi ini dilakukan oleh penulis dengan melakukan pengamatan langsung terhadap obyek yang akan dibahas di lapangan. Dari studi ini penulis memperoleh pembahasan yang sebenarnya, sehingga dari data yang didapat digunakan untuk menyusun laporan.

2. Wawancara

Studi ini dilakukan penulis dengan melakukan tanya jawab dengan pembimbing di lapangan, sehingga apa yang tidak diketahui oleh penulis dapat ditanyakan. Dari studi ini penulis memperoleh gambaran langsung terhadap obyek secara teoritis.

3. Metode Pengumpulan Data

Berupa pengumpulan data atau informasi tertulis mengenai hal-hal yang terkait dalam penulisan laporan

4. Studi Pustaka

Studi ini dilakukan oleh penulis dengan cara mempelajari buku-buku yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas. Dari studi ini penulis

mencari keterangan yang akan dibutuhkan untuk membuat laporan dari hasil kerja praktek.

1.5 Waktu dan Lokasi Praktek Kerja Industri

Waktu dan lokasi Praktek Kerja Lapangan (PKL) yang dilakukan oleh penulis adalah sebagai berikut:

Waktu: 27 Januari 2020 hingga 29 Febuari 2020,
pukul 07.00 WIB hingga 17.00 WIB

Lokasi: PT. Indonesia Power MSU area 1.3 Semarang,
PLTU Jateng 2 Adipala, Cilacap.

Praktek Kerja Lapangan (PKL) dilaksanakan sesuai dengan kegiatan *overhaul* pada bagian Pemeliharaan Generator Listrik PLTU.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Laporan ini terdiri dari beberapa bab yang masing-masing bab membahas tentang topik yang diangkat oleh penulis pada PLTU Jateng 2 Adipala PT. Indonesia Power MSU Semarang. Laporan ini disusun sedemikian rupa sehingga masalah yang terkait dengan masalah lainnya.

Secara garis besar sistematika penulisannya adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang Latar Belakang Masalah, Perumusan Masalah, Tujuan Penulisan Laporan, Waktu dan Lokasi Praktek Kerja Lapangan, Tujuan Kerja Praktek, Metode Pengambilan Data dan Sistematika Penulisan Laporan.

BAB II : TINJAUAN UMUM PERUSAHAAN

Berisi tentang Sejarah, Visi, Misi, Motto, Makna dan Bentuk Logo serta Nilai Perusahaan dari PT Indonesia Power juga seputar Maintenance Service Unit Semarang.

BAB III : DASAR TEORI

Berisi tentang penjelasan seputar objek pembahasan Praktek Kerja Lapangan mulai dari PLTU secara umum serta melakukan analisis terhadap kualitas isolasi belitan dari kumparan stator Generator.

BAB IV : PEMBAHASAN

Berisi tentang pembahasan dari Praktek Kerja Lapangan dan data yang didapatkan dari lapangan serta analisa data untuk mendapatkan penyelesaian dari perumusan masalah yang didapat.

BAB V : PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan yang telah didapat dari analisa data Praktek Kerja Lapangan serta saran untuk perusahaan, sekolah dan juga Praktekan.

BAB II

TINJAUAN UMUM PERUSAHAAN

2.1 Sejarah PT Indonesia Power

Indonesia Power merupakan salah satu anak Perusahaan PT PLN (Persero) yang didirikan pada tanggal 3 Oktober 1995 dengan nama PT PLN Pembangkitan Jawa Bali I (PT PJB I). Pada tanggal 8 Oktober 2000, PT PJB I berganti nama menjadi Indonesia Power sebagai penegasan atas tujuan perusahaan untuk menjadi perusahaan pembangkit tenaga listrik independen yang berorientasi bisnis murni.

Pada awal 1990-an pemerintah Indonesia mempertimbangkan perlunya deregulasi pada sektor ketenagalistrikan. Langkah ke arah deregulasi tersebut diawali dengan berdirinya Paiton Swasta, yang dipertegas dengan dikeluarkannya Keputusan Presiden nomor.37 tahun 1992 tentang pemanfaatan sumber daya swasta melalui pembangkit-pembangkit listrik swasta. Kemudian pada akhir 1993, Menteri Pertambangan dan Energi (MPE) menerbitkan kerangka dasar kebijakan (Sasaran dan Kebijakan Pengembangan sub Sektor Ketenagalistrikan) yang merupakan pedoman jangka panjang restrukturisasi sektor ketenagalistrikan.

Sebagai penerapan tahap awal, pada 1994 PLN diubah statusnya dari PERUM menjadi PERSERO. Setahun kemudian, tepatnya pada tanggal 3 Oktober 1995, PT PLN (PERSERO) membentuk dua anak perusahaan, yang tujuannya untuk memisahkan misi sosial dan misi komersial yang diemban oleh BUMN tersebut. Salah satu dari anak perusahaan tersebut adalah PT Pembangkitan Tenaga Listrik Jawa-Bali I, atau dikenal dengan PLN PJB I. Anak perusahaan ini ditujukan untuk menjalankan usaha komersial pada bidang pembangkitan tenaga listrik dan usaha-usaha lain yang terkait.

Pada tanggal 3 Oktober 2000, bertepatan dengan ulang tahunnya yang kelima, manajemen perusahaan secara resmi mengumumkan perubahan nama PLN PJB 1 menjadi PT. Indonesia Power. Perubahan ini merupakan upaya untuk menyikapi persaingan yang sangat ketat dalam bisnis ketenagalistrikan dan sebagai persiapan untuk privatisasi perusahaan yang akan dilaksanakan dalam waktu dekat.

Berawal pada pengelolaan Pembangkit Listrik di Jawa Bali, saat ini Indonesia Power telah melakukan Pengembangan Bisnis Jasa Operasi Pemeliharaan di seluruh Indonesia baik melalui pengelolaan sendiri, melalui anak perusahaan maupun melalui Usaha Patungan. PT. Indonesia Power mengelola 5 Unit Pembangkitan (UP), 12 Unit Jasa Pembangkitan (UJP) serta 3 Unit Pembangkitan dan Jasa Pembangkitan (UPJP), 1 Unit Jasa Pemeliharaan (UJH) dan 1 Unit Proyek.

2.2 Visi, Misi, Motto PT Indonesia Power

Visi PT. Indonesia Power adalah “Menjadi Perusahaan Energi Terpercaya yang Tumbuh Berkelanjutan”. Misi PT.Indonesia Power adalah “Menyelenggarakan bisnis pembangkitan tenaga listrik dan jasa terkait yang bersahabat dengan lingkungan”. Motto PT. Indonesia Power adalah “*Trust Us For Power Excellence*”.



Gambar 2.1 Visi, Misi dan Motto PT. Indonesia Power

Sumber : Indonesia Power (2017)

Selain visi, misi dan motto PT Indonesia Power memiliki budaya perusahaan yang diberi nama IP AKSI yang memiliki kepanjangan Integritas, Profesional, Proaktif dan Sinergi.

2.3 Makna dan Bentuk Logo PT Indonesia Power

Makna bentuk dan warna logo PT Indonesia Power merupakan cerminan identitas dan lingkup usaha yang dimilikinya. Secara keseluruhan nama INDONESIA POWER merupakan nama yang kuat untuk melambangkan lingkup usaha Perusahaan sebagai Perusahaan Pembangkitan Tenaga Listrik di Indonesia.



Gambar 2.2 Logo PT. Indonesia Power

Sumber : Indonesia Power (2017)

Adapun makna bentuk logo di atas adalah:

1. Karena nama yang kuat, INDONESIA dan POWER ditampilkan dengan menggunakan dasar jenis huruf (font) yang tegas dan kuat yaitu INDONESIA: Futura Book/Regular dan POWER: Futura Bold
2. Aplikasi bentuk Kilatan Petir pada huruf "O" melambangkan "TENAGA LISTRIK" yang merupakan lingkup usaha utama Perusahaan
3. Titik/Bulatan Merah (Red Dot) di ujung kilatan petir merupakan Simbol Perusahaan yang dapat digunakan di sebagian besar materi komunikasi perusahaan. Jarak Red Dot dengan kilatan petir berjarak Y:z cm menjorok ke arah kiri dengan kemiringan sudut $22,5^\circ$. Dengan simbol yang kecil ini, diharapkan Identitas Perusahaan dapat langsung terwakili. Red Dot berarti kesatuan tekad dan perasaan insan Indonesia Power dalam bekerja dan berusaha untuk meningkatkan daya saing dalam usaha mewujudkan keberlangsungan hidup perusahaan.

Adapun makna warna bentuk logo di atas adalah:

1. Merah
Diaplikasikan pada kata INDONESIA, menunjukkan identitas yang kuat dan kokoh sebagai pemilik seluruh sumber daya untuk memproduksi tenaga listrik, guna dimanfaatkan di Indonesia, dan juga di luar negeri.

2. Biru

Diaplikasikan pada kata POWER. Pada dasarnya warna biru menggambarkan sifat pintar dan bijaksana, dengan diaplikasikan pada kata POWER, maka warna ini menunjukkan produk tenaga listrik yang dihasilkan Perusahaan memiliki ciri: Berteknologi tinggi Efisien Aman Ramah lingkungan.

2.4 Nilai Perusahaan

PT.Indonesia Power memiliki empat nilai perusahaan yang kemudian disingkat dengan IP-AKSI antara lain:



Gambar 2.3 Nilai Perusahaan PT. Indonesia Power
Sumber : Indonesia Power (2017)

1. INTEGRITAS

Insan IP senantiasa bertindak sesuai etika perusahaan serta memberikan yang terbaik bagi perusahaan. Berikut terdapat indikator INTERGRITAS yaitu:

- Bangga sebagai insan IP.
- Mengambil tindakan yang bertanggung jawab.
- Mengharumkan nama Indonesia Power.
- Mengajak kebaikan dan mencegah penyimpangan.
- Sesuai kata dengan perbuatan.
- Teladan dan mengajak orang lain dalam beretika dan melaksanakan Good Corporate Goverment (GCG).
- Melaksanakan IP bersih.

2. PROFESIONAL

Insan IP Senantiasa menguasai pengetahuan, keterampilan dan kode etik bidang pekerjaan serta melaksanakannya secara akurat dan konsisten.

Indikator PROFESIONAL adalah sebagai berikut:

- a. Melaksanakan tugas dengan pengetahuan, keterampilan, SOP, dan kode etik.
- b. Mencapai kinerja terbaik.
- c. Mengembangkan pengetahuan dan keterampilan untukantisipasi tuntutan pekerjaan terus menerus.
- d. Bekerja secara cerdas, terencana dan sistematis.
- e. Menentukan prioritas.
- f. Mengambil keputusan terintegrasi.
- g. Menyampaikan pendapat sesuai pengetahuan dan keterampilan.
- h. Melakukan tugas secara teliti dan akurat.

3. PROAKTIF

Insan IP sennantiasa peduli dan cepat tanggap melakukan peningkatan kinerja untuk mendapatkan kepercayaan stakeholder. Kemudian untuk indikator PROAKTIF adalah sebagai berikut:

- a. Mengantisipasi perkembangan teknologi melalui perbaikan berkelanjutan dan inovasi.
- b. Mencari peluang baru secara aktif untuk peningkatan kinerja Penulis maupun perusahaan.
- c. Mencari tahu secara aktif dan segera mengambil tindakan untuk memenuhi kebutuhan stakeholder.
- d. Cepat tanggap terhadap kondisi kerja dan lingkungan.
- e. Segera mengambil tindakan perbaikan untuk peningkatan kinerja.
- f. Mencari solusi secara aktif untuk mengatasi hambatan tugas.
- g. Menyelesaikan masalah hingga tuntas.

4. SINERGI

Insan IP senantiasa membangun hubungan kerja sama yang produktif atas dasar saling percaya untuk menghasilkan karya unggul. Indikator SINERGI, yaitu:

- a. Menjadi bagian dari keseluruhan bisnis poses perusahaan serta menjalankannya sesuai dengan peran dan fungsi masing-masing.
- b. Memastikan hasil kerja optimal mendukung keberhasilan proses kerja berikutnya dan keseluruhan.
- c. Memberikan kontribusi ide dan bantuan sesuai dengan keahlian dan tanggung jawab.
- d. Berbagi pengetahuan dan keterampilan secara aktif.
- e. Mengarahkan kelompok kerja secara aktif.

2.5 Bisnis Utama PT Indonesia Power

Berawal pada pengelolaan Pembangkit Listrik di Jawa Bali, saat ini Indonesia Power telah melakukan Pengembangan Bisnis Jasa Operasi Pemeliharaan di seluruh Indonesia baik melalui pengelolaan sendiri, melalui anak perusahaan maupun melalui usaha patungan. PT. Indonesia Power mengelola 5 Unit Pembangkitan (UP), 3 Unit Pembangkitan dan Jasa Pembangkitan (UPJP), 12 Unit Jasa Pembangkitan (UJP), 1 Unit Pemeliharaan (UJH) dan 1 Unit Proyek.

Sesuai dengan pasal 3 anggaran dasar perusahaan, bidang usaha Indonesia Power adalah menyelenggarakan usaha ketenagalistrikan berdasarkan prinsip industri dan niaga yang sehat dengan menerapkan prinsip-prinsip perseroan terbatas yang meliputi produk dan layanan sebagai berikut:

1. Penyediaan tenaga listrik yang ekonomis, bermutu tinggi dan andal.
2. Usaha yang berkaitan dengan penyediaan tenaga listrik
 - a. Jasa survei, investigasi, desain, konstruksi/pemasangan instalasi, operasi dan pemeliharaan, penyewaan peralatan pembangkitan serta pendidikan dan pelatihan.
 - b. Produksi, perbaikan dan perdagangan dan peralatan tenaga listrik.
 - c. Produksi, pengolahan, pengangkutan dan perdagangan batubara, gambut, biomas dan alam.

- d. Produksi dan pengusahaan energi panas bumi.
- e. Cogeneration.



Gambar 2.4 Sumber : Indonesia Power (2017)

Selain itu PT. Indonesia Power memiliki 9 anak perusahaan, yaitu PT. Artha Daya Coalindo, PT. Cogindo Daya Bersama, PT. GCL Indotenaga, PT. Indo Pusaka Berau, PT. Indo Ridlatama Power, PT. Perta Daya Gas, PT. Putera Indotenaga (PIT), PT. Rajamandala Elektrika Power serta PT. Tangkuban Perahu Geothermal Power.

2.6 Produk Jasa PT. Indonesia Power

PT. Indonesia Power memiliki Unit Jasa Pemeliharaan (UJH) yang berfungsi sebagai talent pool dalam rangka memelihara unit pembangkit listrik yang dimiliki oleh PT. Indonesia Power. Dalam pertumbuhan pasar ketenagalistrikan yang cepat, UJH telah mengembangkan produk-produk jasa pemeliharaan sesuai dengan kebutuhan pelanggan dan telah eksis menjadi pengelola pemeliharaan pembangkit kelas dunia yang tetap berusaha menjalin hubungan kerja multinasional di bidang pembangkitan dengan mengaplikasikan teknologi baru yang bersahabat dengan lingkungan.

Beberapa produk jasa pemeliharaan yang dapat dilakukan UJH adalah:

1. Overhaul berbagai macam pembangkit (PLTU, PLTG, PLTGU, PLTA, PLTP, PLTD/PLTDG)

2. Remaining Life Assessment peralatan pembangkit (Boiler/HRSG, Turbin, Generator, Trafo)
3. Test & Diagnostic peralatan pembangkit
4. Analisa & troubleshooting permasalahan vibrasi/rotating equipment
5. Root Cause Failure Analysis peralatan pembangkit
6. Low speed balancing
7. Commissioning atau pendampingan unit pembangkit
8. Supervisi EPC pembangkit listrik
9. Relokasi peralatan pembangkit
10. Rewinding rotor dan stator generator
11. Retrofit control system
12. Rehabilitasi/recovery gangguan unit pembangkit
13. Setup manajemen pemeliharaan pembangkit
14. Setup percepatan pelatihan pemeliharaan overhaul unit pembangkit

Saat ini Indonesia Power telah melakukan Pengembangan Bisnis Jasa Operasi Pemeliharaan di seluruh Indonesia baik melalui pengelolaan sendiri, maupun melalui Anak Perusahaan. PT Indonesia Power mengelola 4 Power Generation Unit (PGU), 11 Operation and Maintenance Unit (OMU) serta 5 Power Generation and O&M Services Unit (POMU). Pada Operation and Maintenance Unit (OMU) Indonesia Power mengoperasikan dan memelihara pembangkit dengan total kapasitas terpasang sebesar 5.265 MW Terdiri dari 11 OMU yaitu PLTU Banten 1 Suralaya, Banten 1 Labuan, PLTU Banten 3 Lontar, Jabar 2 Pelabuhan Ratu, PLTU Jateng Adipala, PLTU Pangkalan Susu, PLTU Cilegon, PLTU Barru, PLTU Jeranjang, PLTU Sanggau, PLTU Houltecamp, dan Sintang (Anon., 2017).

2.7 Sejarah PLTU Jateng 2 Adipala



Gambar 2.5 PLTU Jateng 2 Adipala

Sumber : Indonesia Power (2017)

PLTU 2 Jateng Adipala merupakan pembangkit listrik PPDE 1 yang terakhir dibangun di Pulau Jawa dikelola (O&M) oleh PT Indonesia Power dengan kapasitas 1 X 660 MW. Berbeda dengan pembangkit PPDE lainnya, pembangkit ini menggunakan Supercritical Boiler dengan tekanan uap mencapai 25.4 MPa.

Awal bulan September 2016, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) 2 Jawa Tengah Adipala, yang berada di Desa Bunton Kecamatan Adipala Kabupaten Cilacap mulai beroperasi. PLTU ini dibangun sejak tahun 2010, dengan nilai investasi mencapai Rp 7 triliun.

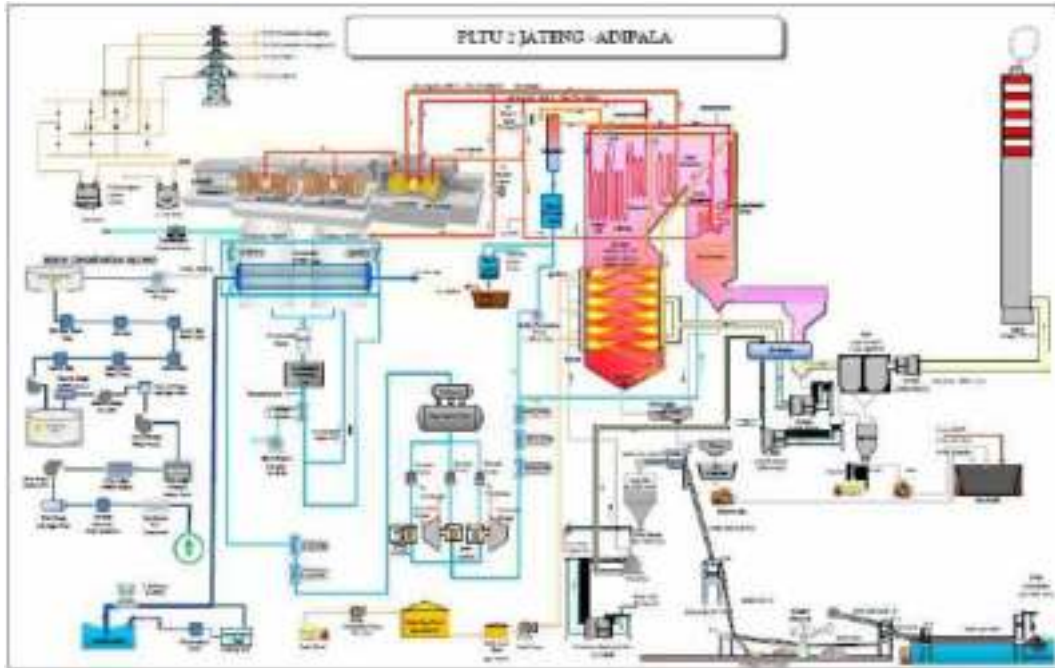
PLTU 2 Jateng Adipala mempergunakan teknologi terbaru Super Critical, dengan kemampuan efisiensi hingga 42 persen bila dibandingkan dengan teknologi sebelumnya. Dengan teknologi ini menandai untuk pertama kalinya PLTU milik PLN atau Indonesia Power mempergunakan teknologi canggih.

Pada Oktober 2016 PLTU beroperasi secara maksimal, dengan kemampuan 660 MW yang akan diresmikan oleh Presiden. Karena PLTU yang dibangun oleh China ini, merupakan bagian dari program Pemerintah Jokowi-JK, pengadaan listrik 35 MW.

[illegible]

BAB III DASAR TEORI

3.1 Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)



Gambar 3. 1 Siklus PLTU Adipala

Sumber : PLTU Adipala (2020)

Proses produksi listrik di PLTU Jateng 2 Adipala memerlukan beberapa bahan baku diantaranya batu bara, air demin, udara, dan ,minyak solar. Semua bahan baku tersebut akan bertemu di *boiler* guna membentuk uap panas untuk memutar turbin, baik *high pressure turbine* maupun *low pressure turbine*. Penggerak turbin dihubungkan dengan generator yang mengubah Gerakan mekanik menjadi energi listrik. Listrik hasil *output* generator nantinya digunakan untuk menyuplai kebutuhan listrik di Pulau Jawa dan Pulau Bali.

3.1.1 Siklus Batu Bara

a. *Ship Unloader*

Ship unloader berfungsi untuk pengambilan atau embongkaran batu bara dari kapal tongkang ke *coal yard (unloading)* atau

diteruskan ke *coal bunker (direct unloading)* menggunakan transportasi *Belt conveyort system*.



Gambar 3. 2 *Ship Unloader*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

b. *Stacker and Reclaimer*

Stacker and reclaimer merupakan alat yang digunakan untuk mencurahkan batu bara (yang dibongkar oleh *ship unloader*) melalui *belt conveyor* menuju *coal yard (stacking)*, maupun mengambil batu bara dari *coal yard* ke *coal bunker*.



Gambar 3. 3 *Stacker and Reclaimer*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

c. *Coal Yard*

Coal yard merupakan suatu tempat atau area yang digunakan untuk menampung batu bara yang dikirim dari *ship unloader* sebelum dikirim ke *coal bunker*.



Gambar 3. 4 *Coal Yard*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

d. *Belt Conveyor*

Conveyor PLTU Adipala berupa ban karet berjalan yang berguna untuk mengirim batu bara untuk kebutuhan bahan bakar. PLTU Adipala memiliki 8 line *conveyor*, yaitu *conveyor* BC1 A/B, BC2, BC 3, BC4 A/B, BC5 A/B, BC6 A/B, BC7 A/B, dan BC 8.



Gambar 3. 5 *Belt Conveyor*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

e. *Transfer Tower*

Transfer tower merupakan suatu tempat untuk memindahkan batu bara dari suatu *line conveyor* ke *conveyor* lain. Didalam *transfer tower* ada *hopper* yang berguna untuk mengatur perpindahan batu bara. PLTU Adipala memiliki 3 *Transfer tower*.



Gambar 3. 6 *TransferTower*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

f. *Coal Bunker*

Bunker bay adalah tempat penyimpanan batu bara sementara yang berasal dari *transfer tower* sebelum masuk ke *coal feeder*. *Bunker bay* ditunjukkan untuk memasok kebutuhan *boiler* selama beberapa jam, tanpa ada pemasokan baru bara ke *coal bunker*.



Gambar 3. 7 *Coal Bunker*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

g. *Coal Feeder*

Coal feeder memiliki fungsi penting yaitu untuk memberikan pasokan batu bara secara terus-menerus saat penggilingan batu bara (*mill/pulverizer*) dalam keadaan operasi serta mengatur aliran batu bara.



Gambar 3. 8 *Coal Feeder*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

h. *Pulverizer*

Pulverizer merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menggiling bongkahan batu bara menjadi serbuk halus (PF), agar mudah

bercampur dengan udara pembakaran didalam *boiler* sehingga proses pembakaran akan menjadi sempurna dan lebih cepat untuk dihembuskan menuju *boiler*. PLTU Adipada menggunakan 6 buah *pulverizer* untuk menyuplai kebutuhan batu bara ke *boiler*.



Gambar 3. 9 *Pulverizer*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

i. *Seal Air Fan (SA Fan)*

SA Fan berfungsi untuk menghasilkan udara sebagai udara perapat yang digunakan pada *Coal Feeder* dan *Mill Pulverizer* supaya kondisi di dalamnya menjadi *vacuum*.



Gambar 3. 10 *SA Fan*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

3.1.2 Siklus Udara Pembakaran

Proses pembakaran dan flue gas system dimulai saat batu bara keluar dari *pulverizer* sampai sisa debu pembakaran keluar dari stack menuju atmosfer. Pertama-tama batu bara yang ditampung pada *bunker bay* keluar menuju *coal feeder*. *Coal feeder* akan mengatur laju pemakaian batu bara yang akan dihaluskan oleh *pulverizer*. Setelah dihaluskan, batu bara yang berupa serbuk halus tersebut dibawa ke ruang *furnace* atau *burner* oleh *Primary Air Fan* (PA fan) melalui pipa-pipa primary air heater. Saat awal proses pembakaran, batu bara tidak langsung menjadi bahan bakar utama tetapi dipantik terlebih dahulu menggunakan *High Speed Diesel (HSD)* yang dikeluarkan melalui *Oil Gun*.

a. *Primary Air Fan*

PA fan berfungsi untuk menyuplai udara primer dari *pulverizer* menuju ke *boiler*. Primary air fan ini dibagi menjadi dua berdasarkan letaknya, yaitu *cold primary air system* and *hot primary air system*. *Cold primary air system* terletak pada saluran sebelum *air preheater*, sedangkan *hot primary air system* terletak pada saluran udara yang telah melewati *air preheater*.



Gambar 3. 11 *Primary Air Fan*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

b. *Force Draft Fan*

FD fan bekerja pada tekanan tinggi dan berfungsi menghasilkan udara sekunder yang akan dialirkan ke dalam *boiler* untuk

mencampur udara dan bahan bakar yang selanjutnya digunakan sebagai udara pembakaran pada *furnance boiler*.



Gambar 3. 12 *Force Draft Fan*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

c. *Air Preheater*

Berfungsi untuk memanaskan udara dari *PA fan* dan *FD fan* untuk menghasilkan udara primer dan udara sekunder.

d. *Bottom Ash Silo*

Bottom ash silo merupakan tempat yang digunakan untuk menampung abu sisa pembakaran didalam *boiler* yang dibawa oleh *steel conveyor* menuju *bottom ash*.



Gambar 3. 13 *Bottom Ash Silo*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

e. *Electro Static Precipirator*

ESP merupakan peralatan yang memiliki fungsi untuk menangkap abu sisa pembakaran yang berada dalam gas buang yang akan dibuang ke atmosfer melalui *stack*, sehingga gas buang yang akan dibuang tidak mengandung partikel-partikel abu yang dapat mencemari lingkungan.



Gambar 3. 14 *Electro Static Precipirator*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

f. *Fly Ash Silo*

Merupakan peralatan *ash handling* yang berfungsi menampung sementara *fly ash* dari *hooper* pada ESP untuk kemudian dibuang ke *ash yard*. Biasanya digunakan untuk bahan baku semen



Gambar 3. 15 *Fly Ash Silo*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

g. *Ash Yard*

Merupakan tempat pembuangan akhir sisa pembakaran batu bara.

h. *Induced Draft Fan*

ID fan berfungsi untuk mempertahankan *pressure* pada *furnance* boiler supaya bernilai negative. *ID fan* menghisap gas hasil pembakaran batubara pada *furnance* menuju *stack*.



Gambar 3. 16 *ID fan*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

i. *Stack*

Merupakan cerobong pembuangan gas hasil pembakaran batu bara menuju atmosfer.



Gambar 3. 17 *Stack*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

3.1.3 Siklus Air dan Uap

Siklus air dimulai dari pemompaan air laut oleh *Circulating Water Pump* dan dimasukkan ke *Desalt Evaporation* yang berfungsi untuk mengubah air laut menjadi air tawar dan ditampung dalam *Feed Water Tank*. Kemudian dialirkan menuju *Demineralized Plant* atau *Demin Plant* untuk dijadikan air murni dengan menghilangkan kandungan mineralnya yang ditampung oleh *Cool Condensate Storage Tank*. Kemudian air murni dialirkan menuju *LP Heater (Low Pressure Heater)* menggunakan *Condensate Pump*, *LP Heater* berfungsi untuk meningkatkan temperatur air. Dari *LP Heater*, air memasuki *Deaerator* untuk menghilangkan ion-ion oksigen dan gas lainnya.

Setelah pada kondensor, air dipompa oleh *Boiler Feed Pump (BFP)* menuju *boiler*. Air yang dipompakan harus memiliki tekanan tinggi sehingga dapat menghasilkan uap yang bertekanan tinggi. Sebelum memasuki *boiler*, air mengalami proses pemanasan dengan *HP Heater (High Pressure Heater)*.

Setelah memasuki boiler dan terjadi proses pemanasan, maka air akan berubah menjadi uap. Uap yang dihasilkan masih mengandung air

yaitu berupa uap jenuh yang memiliki kualitas rendah. Kadar air ini berbahaya bagi turbin karena dapat menyebabkan sudut-sudut turbin terkikis. Untuk menghilangkan kadar air pada uap jenuh dan merubahnya menjadi uap kering agar dapat digunakan memutar turbin maka digunakan alat bernama *superheater*.

Uap yang telah keluar dari turbin akan didinginkan dengan kondensor sehingga terjadi perubahan fasa dari uap menjadi air dan ditampung pada *hot well*.

a. *Sea Water Pump*

Berfungsi untuk memompakan air laut menuju *chlorination plat* dan akhirnya masuk kedalam *desalination plat*.



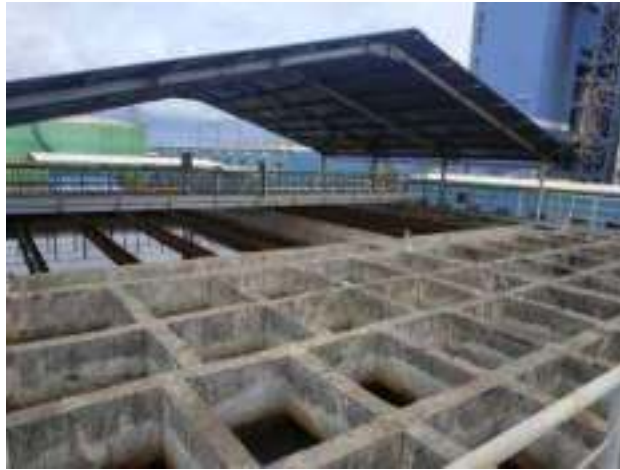
Gambar 3. 18 *Sea Water Pump*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

Chorination plat adalah tempat pengolahan air untuk menghilangkan biota-biota laut dengan menambahkan zat *clorine*.

b. Floakulasi dan Sedimentasi

Tempat yang digunakan untuk proses pengendapan partikel-partikel kotoran yang berasal dari air laut.



Gambar 3. 19 *Floakulasi dan Sedimentasi*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

c. *Sea Water Booster Pump*

Alat yang digunakan untuk memompakan air laut dari *purifying basin* menuju MMF (*Multi Medium Filtration*)



Gambar 3. 20 *Sea Water Booster Pump*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

d. *Multi Medium Filtration*

Alat yang digunakan sebagai penyaring air laut yang memisahkan padatan dan cairan sebelum menuju SWRO . Jumlahnya ada 8 buah sisi up dan 8 buah sisi down.



Gambar 3. 21 *Multi Medium Filtration*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

e. *Reverse Osmosis High Pressure Pump (RO HPP)*

Alat yang digunakan untuk memompakan air laut menjadi MMF menuju SWRO. Jumlahnya ada 2 buah.



Gambar 3. 22 *Reverse Osmosis High Pressure Pump (RO HPP)*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

f. *Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) Module*

Alat berupa membrane-membran yang digunakan sebagai penyaring bertekanan tinggi. Tujuannya adalah untuk mengurangi nilai konduktivitas air.



Gambar 3. 23 *SWRO*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

g. Produk Tank

Tangki yang digunakan sebagai penampungan air hasil penyaringan *SWO module*. Kapasitas tangki adalah $2 \times 300 \text{ m}^3$



Gambar 3. 24 *Produk Tank*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

h. *Stage Feed Pump*

Alat yang digunakan untuk memompakan air dari produk tank menuju catride filter dan suction 2nd stage *RO HPP*. Jumlah ada 2.



Gambar 3. 25 *Stage Feed Pump*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

i. *Stage RO HPP*

Alat yang digunakan untuk memompakan air dari outlet catride filter menuju ke *BWRO module*. Jumlah ada 2.



Gambar 3. 26 *Stage RO HPP*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

j. *Brackish Water RO Module*

Alat berupa membran-membran yang digunakan sebagai penyaring bertekanan tinggi. Fungsinya adalah memurnikan air.



Gambar 3. 27 *BWRO Module*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

k. Raw Water Tank

Tangki yang digunakan sebagai penampung air hasil penyaringan dari *BWRO module*. Kapasitas tangka $2 \times 3000 \text{ m}^3$



Gambar 3. 28 *Raw Water Tank*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

1. *Demin Plant* atau *Water Treatment Plant*

WTP (Water Treatment Plant) berfungsi untuk memenuhi kualitas air pengisi *boiler* setelah dilakukan penyulingan oleh *desalination plant*, dimana kandungan mineral di hilangkkn untuk mencegah korosi pada bahan.

m. Condensate System

Sistem air kondensat merupakan sumber pasokan utama untuk system air pengisi ketel. Mayoritas air kondensat berasal dari proses kondensasi uap berkas didalam kondensor. Rentang system air kondensat adalah mulai dari *hotwell* sampai ke *deaerator*. Selama berada dalam rentang system air kondensat, air mengalami 3 proses utama yaitu pemanasan, pemurnian, deaerasi.

n. *Condensate Transfer Pump*

Digunakan unruk memompa air *condensate* ke *system* air pengisi.



Gambar 3. 29 *Condensate Transfer Pump*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

o. CEP

Digunakan untuk memompa air dari *hotwell* menuju *deaerator*



Gambar 3. 30 CEP

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

p. *Polishing Plant.*

Merupakan perangkat penukar ion seperti *demineralizer plat* yang ditempatkan didalam siklus air kondensat. Fungsinya untuk menjada kualitas air kondensat.



Gambar 3. 31 *Polishing Plant*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

q. *Boiler Feed Pump Turbin (BFPT)*

Merupakan penukar panas untuk mengkondensasikan uap bekas dari perapat poos turbin. Uap bekas ini akan memanaskan air kondensat dari pompa kondensat yang dialirkan melintasi *gland steam condenser*.



Gambar 3. 32 BFPT

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

3.2 Generator Sinkron



Gambar 3. 33 Generator Sinkron Shanghai Electric

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Generator sinkron sering di sebut juga sebagai Generator AC karena dapat menghasilkan tegangan bolak-balik (AC). Generator dikatakan sinkron apabila jumlah putaran rotor sama dengan jumlah medan magnet pada stator. Kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama akan menghasilkan kecepatan sinkron. Hubungan antara medan magnet dan frekuensi pada stator dapat ditunjukkan pada persamaan berikut:

Rumus 3. 1 Kecepatan Sinkron

$$N_s = \frac{120 \times f}{p} \quad (3.1)$$

Keterangan:

N_s : kecepatan medan putar (Rpm)

f : frekuensi (Hz)

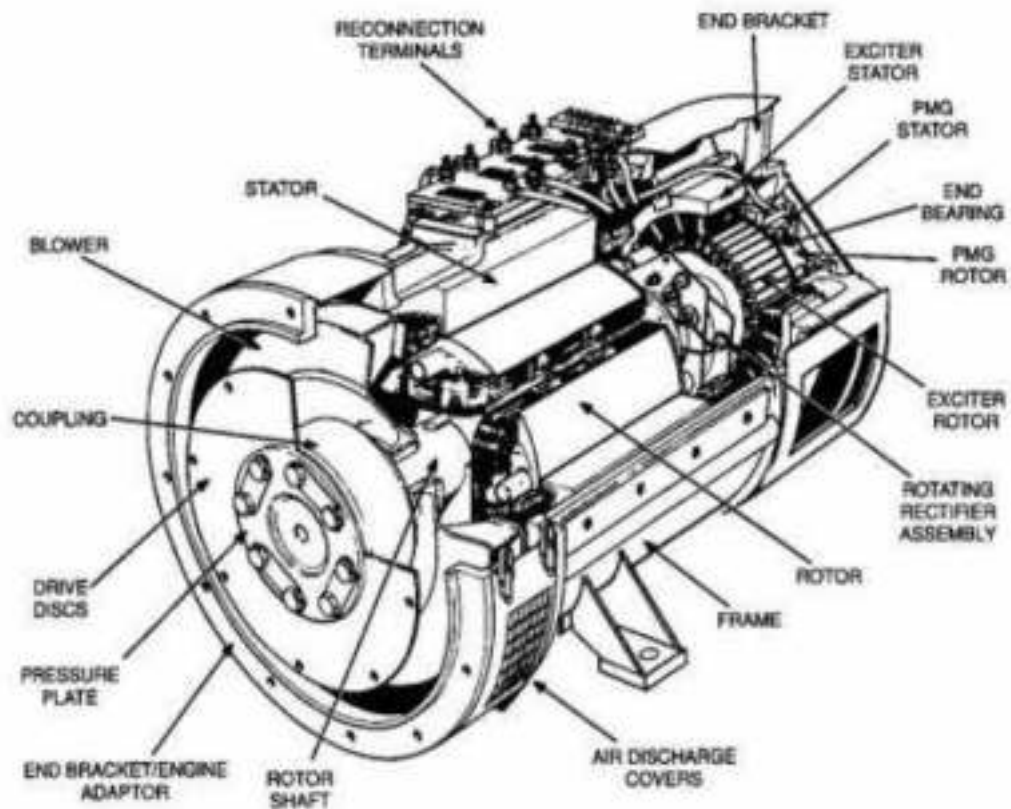
p : jumlah kutub

Ketika kumparan rotor berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang berputar, maka pada kumparan rotor akan timbul fluks. Fluks inilah yang akan menginduksi dan memotong kumparan stator sehingga timbul gaya gerak listrik (Arrosyid & Amin, 2019).

Generator arus bolak-balik atau generator sinkron merupakan sebuah peralatan listrik yang berfungsi untuk mengubah energi gerak (mekanis) menjadi energi listrik AC dimana kecepatan putaran medan dan kecepatan putaran rotornya sama atau tidak ada slip. Kumparan medan pada generator sinkron terletak pada rotornya sedangkan kumparan jangkanya terletak pada stator. Prinsip kerja generator sinkron adalah menggunakan prinsip induksi elektromagnetik dimana rotor generator sebagai kumparan medan (yang menghasilkan medan magnet) dan akan menginduksi stator sebagai kumparan jangkar yang akan menghasilkan energi listrik. Pada belitan rotor diberi arus eksitasi DC yang akan menciptakan medan magnet. Rotor ini dikopel dengan turbin putar dan ikut berputar sehingga akan menghasilkan medan magnet putar. Medan magnet putar ini akan memotong kumparan jangkar yang berada di stator. Oleh karena adanya perubahan fluks magnetik pada tiap waktunya maka pada kumparan jangkar akan mengalir gaya gerak listrik yang diinduksikan oleh rotor.

Generator PT. Indonesia Power PLTU Jawa Tengah 2 Adipala memiliki rating kapasitas sebesar 660 MW, akan tetapi pada kondisi lapangan rata-rata generator menghasilkan listrik sebesar 645 MW dengan frekuensi 50 Hz. Dalam satu menit rotor generator dapat berputar 3000 RPM sehingga menghasilkan tegangan keluaran sebesar 22 kV. Arus yang mengalir pada keluaran generator sebesar 20377 A dengan power factor generator 0,85.

3.3 Konstruksi Generator Sinkron

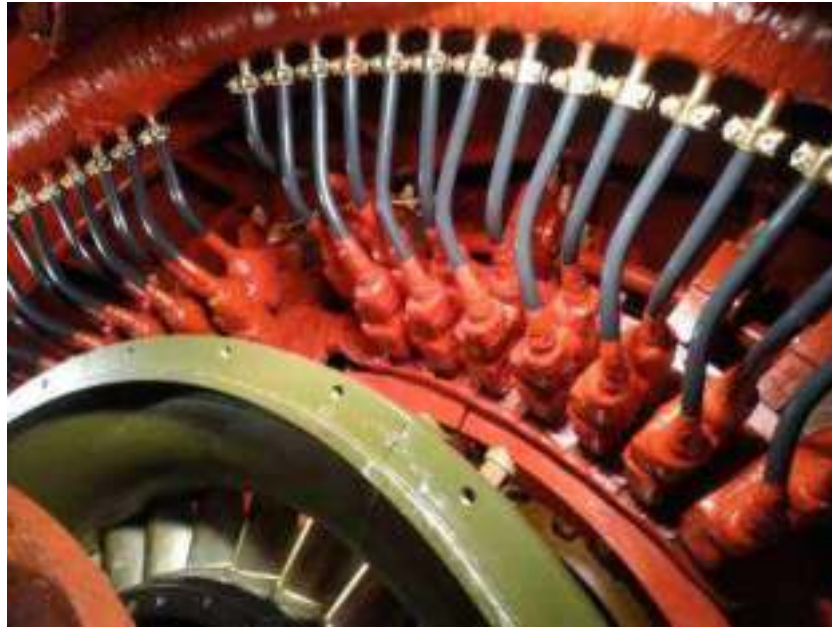


Gambar 3. 34 Konstruksi Generator Sinkron

Sumber : Generator SMK, Juhari S.Pd, (2013)

3.3.1. Stator

Pada umumnya stator merupakan tempat ggl dibangkitkan dan tempat arus beban mengalir ketika generator berbeban. Stator generator untuk pusat pembangkit listrik umumnya terdiri dari 3 bagian yaitu, rangka stator (*stator frame*), inti stator (*stator core*), dan kumparan stator (*stator winding*). Stator generator sinkron ditunjukkan pada berikut:



Gambar 3. 35 Stator Generator Sinkron

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

1. Stator (*Stator Frame*)

Rangka stator dibuat menyerupai tabung silinder yang bagian dalamnya diperkuat dengan rusuk-rusuk berupa lempengan-lempengan cincin baja yang di-las. Di sekeliling bagian dalam rangka silinder ini kemudian dipasang baja-baja bulat juga di-las sehingga menyerupai bentuk sangkar.

2. Inti Stator (*Stator Core*)

Inti stator terbuat dari segmen-segmen dimana tiap segmen tersebut terbuat dari laminasi lembaran plat baja silikon yang memiliki sifat kemagnitan sangat baik (permeabilitasnya tinggi).

3. Kumparan Stator (*Stator Winding*)

Kumparan stator terbuat dari lempengan-lempengan tembaga berpenampang segi empat (copper strips) dan mempunyai konduktifitas yang tinggi, yang dililit dengan pita isolasi diseluruh permukaannya sehingga membentuk batang solid yang terisolasi. Batang tembaga berisolasi ini kemudian ditempatkan pada alur (slot) inti stator dan dikunci dengan pasak yang terbuat dari bahan isolasi.

3.3.2. Rotor

Pada umumnya rotor merupakan tempat dimana medan magnet dibangkitkan. Rotor generator terdiri dari 2 bagian inti rotor dan kumparan rotor. Rotor pada umumnya ditumpu pada kedua ujungnya dengan bantalan (bearing). Perlu diketahui bahwa salah satu atau bahkan kedua bantalan tersebut diisolasi terhadap pondasi (*ground*). Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya sirkuit yang tertutup antara rotor, bantalan dan pondasi (*ground*) yang dapat menimbulkan aliran arus liar ini terjadi, maka permukaan bantalan minyak pelumas akan rusak akibat efek elektrokimia (*electro chemical*). Rotor generator sinkron ditunjukkan pada dibawah ini :



Gambar 3. 36 Rotor Generator Sinkron

Sumber : Indonesia Power (2018)

1. Inti Rotor

Inti rotor terbuat dari baja tuang yang dibubut atau bahan feromagnetik yang mempunyai permeabilitas tinggi di sekeliling inti rotor dibuat laur-alur dalam arah aksial untuk menempatkan konduktor kumparan dan sebagai saluran bagi media pendingin.

2. Kumparan Rotor

Kumparan rotor terbuat dari lempengan konduktor tambahan yang mempunyai konduktifitas tinggi yang dimasukkan kedalam alur-alur pada inti rotor setelah seluruh permukaan alur dilapisi bahan isolasi. Kedua ujung kumparan masing-masing dihubungkan ke slipring yang terbuat dari baja ke tempat yang diisolasi terhadap bodi rotor (untuk rotor Generator dengan sistem eksitasi statis). Untuk generator dengan sistem eksitasi tanpa sikat arang (*brushless*), kedua ujung kumparan

rotor dihubungkan ke konduktor yang melintasi lubang di pusat rotor agar dapat disambung ke output rotating rectifier. Kedua ujung rotor kemudian dipasang fan untuk mensirkulasikan media pendingin.

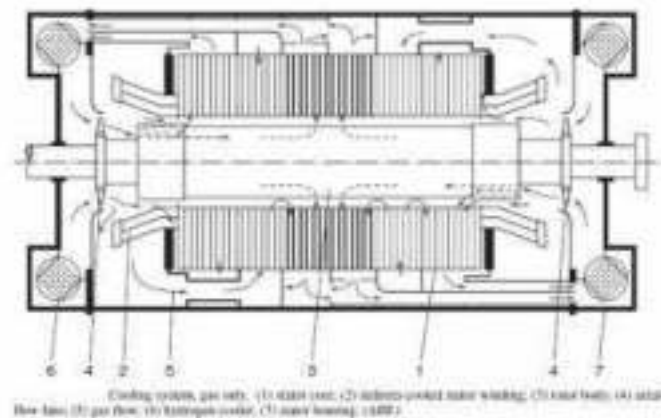
3. Bantalan Rotor

Rotor pada umumnya ditumpu kedua ujungnya dengan bantalan (bearing). Perlu diketahui bahwa salah satu atau kedua bantalan ini di isolasi terhadap pondasi (ground). Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya sirkuit tertutup antara rotor, bantalan dan pondasi (ground) yang dapat menimbulkan aliran arus liar terjadi, maka permukaan bantalan minyak pelumas akan rusak akibat efek elektrokimia (*electro chemical*).

3.4 Sistem Pendingin Generator

Generator terbentuk dari jutaan lilitan kawat yang tersusun menjadi kumparan di dua sisi sektor yang berbeda yakni rotor dan stator. Kumparan-kumparan tersebut akan menghasilkan panas yang sangat tinggi pada saat generator beroperasi. Hidrogen sebagai pendingin generator akan mengalir menyelubungi kumparan-kumparan tersebut, menyerap panasnya, dan membuangnya di pendingin heat exchanger. Ada dua jenis sistem pendinginan hidrogen pada generator yang lazim digunakan yakni hidrogen mendinginkan generator rotor sekaligus stator, serta generator dengan pendingin hidrogen untuk sisi rotor dan air pada sisi stator. Generator yang menggunakan pendingin hidrogen pada rotor dan air pada sisi stator biasanya berukuran besar dan menghasilkan Megawatt listrik di atas 500 MW.

3.4.1 Generator Berpendingin Hidrogen

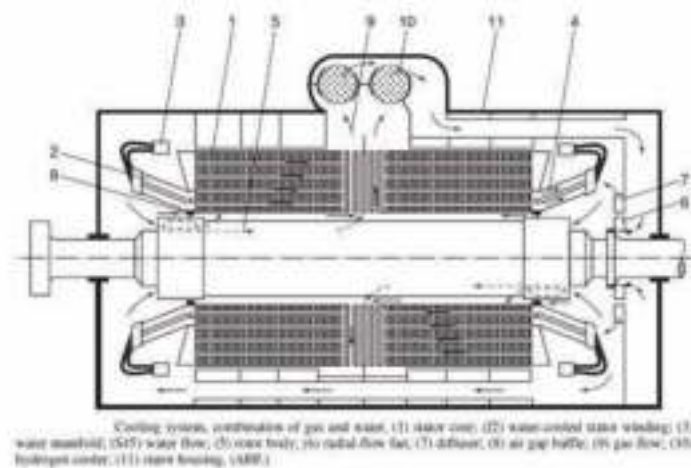


Gambar 3. 37 Generator Berpendingin Hidrogen

Sumber : artikel-teknologi.com (2016)

Generator hanya berpendingin hidrogen mensirkulasikan hidrogen ke seluruh sisi kumparan generator baik itu rotor maupun stator. Sebuah kipas aksial yang terpasang satu shaft dengan generator bertugas mensirkulasikan hidrogen tersebut agar terus berputar menjangkau segala sisi generator. Namun demikian, aliran hidrogen tidak menjangkau sisi dalam kumparan rotor, ia hanya mendinginkan sisi luarnya saja sehingga bisa dikatakan kumparan stator didinginkan hanya secara tak langsung (*indirect cooler*). Di beberapa titik sesuai dengan gambar di atas terdapat pendingin heat exchanger yang berfungsi untuk mendinginkan hidrogen yang telah menyerap panas komponen-komponen generator. Media pendingin hidrogen tersebut adalah air yang juga terus bersirkulasi dan membuang panas ke luar sistem.

3.4.2 Generator Berpendingin Hidrogen dan Air



Gambar 3. 38 Generator Berpendingin Hidrogen dan Air

Sumber : artikel-teknologi.com (2016)

Generator berpendingin hidrogen dan air terbagi menjadi 2 tugas sehingga hidrogen menjadi media pendingin rotor sedangkan air bertugas untuk mendinginkan kumparan stator. Selayaknya sistem sebelumnya, hidrogen bersirkulasi dengan bantuan kipas yang ikut berputar dengan rotor sehingga dapat menjangkau seluruh bagian rotor. Pada akhir sistem sirkulasi, hidrogen tersebut masuk ke dalam pendingin heat exchanger untuk membuang panasnya ke media air. Sedangkan pada sisi stator, air menjadi pendingin yang mampu menjangkau seluruh bagian dalam kumparan yang tidak kita dapatkan pada sistem sebelumnya.

3.5 Isolator

Untuk memproteksi lilitan medan dan lilitan stator sistem isolasi generator menggabungkan beberapa material berbeda, sehingga pada bagian utamamemerlukan beberapa pengujian untuk mendapatkan batasan standar isolasi. Sistem isolasi ini meliputi kekuatan dielektrik yang telah berhasil menggunakan mika dalam berbagai bentuk. Dalam penyusunan isolasi lilitan asphalt-mica pada generator mempunyai sejarah dapat menyerap kelembaban, namun dalam beberapa kasus membutuhkan pengeringa lilitan untuk

mendapatkan level resistansi isolasi yang baik. Isolasi epoxy-mica sekarang banyak digunakan karena mempunyai kekuatan mekanik dan kedap air yang baik terhadap air, oli atau kontaminasi lain yang ditimbulkan oleh kondisi abnormal.

Kualitas isolasi menjadi faktor yang harus diperhatikan untuk melakukan suatu perbaikan (*rewinding*) ataupun (*reinsulation*). Pengujian dengan tetapan tinggi pada belitan merupakan salah satu cara untuk mengetahui adanya arus bocor pada isolasi belitan. Dengan memberikan tegangan tinggi pada isolasi belitan, maka dapat menunjukkan kualitas dari isolasi terhadap tegangan kerja yang diterima.

Besarnya nilai arus bocor yang terdeteksi pada saat pengujian, menjadi parameter dari ketahanan kualitas isolasi terhadap tegangan kerja yang diterima. Dissipation factor atau *tan delta* merupakan parameter untuk memperlihatkan efisiensi isolasi. Pengujian *tan delta* sangat efektif untuk mendeteksi adanya kontaminasi isolasi, kualitas semikonduktor, jumlah kandungan kehampaan dan *partial discharge*.

3.6 Bahan Isolasi

Bahan isolasi sangatlah berbeda antara aslinya dan kekayaannya, keduanya adalah bahan metalik dan tidak tersusun secara teratur atau organik, seragam atau heterogen dikomposisi, alami atau buatan. Banyak dari mereka berasal dari bahan alami seperti kertas, kain, mica dan lilin.

Banyak sekali kekayaan yang dapat menentukan pantas atau tidaknya suatu bahan isolasi. Daya hambat, kekuatan elektis, histeris dielectric dan keuletan adalah syarat suatu bahan isolasi. Suatu bahan isolasi yang ideal harus memenuhi syarat diatas. Bahan isolasi untuk mesin-mesin listrik dalam hubungan dengan stabilitas yang berkenaan dengan panas di bagi menjadi beberapa kelas. Kelas bahan isolasi dan temperatur ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Kelas Isolasi

Kelas	Temperature
Y (formely 0)	90°C
A	105°C
E	120°C
B	130°
F	155°C
H	180°C
G	Diatas 180°C

Sumber : IEEE (2000)

Kelas suatu bahan dibatasi oleh kekuatan terhadap temperature. Temperature kerja mulai dari yang paling rendah yaitu kelas Y. Karena kelas suatu bahan tidak digunakan secara luas untuk lilitan mesin, transformator dan switchgear. Untuk itu isolasi dikelompokkan menjadi beberapa kelas sebagai berikut:

a. Kelas A

Kelas A terdiri dari kombinasi bahan-bahan seperti kapas, sutera dan kertas dengan ditambah kombinasi bahan-bahan lain seperti minyak dan lain-lain yang tercakup pada kelas A. dimana kombinasi tersebut pada pengetesan mampu beroperasi pada temperature kelas A.

b. Kelas E

Kelas E terdiri dari kombinasi bahan-bahan seperti mika, asbes dan lain-lain yang pada pengetesan mampu beroperasi pada temperature kelas E.

c. Kelas F

Kelas F terdiri dari kombinasi bahan-bahan seperti mika, serat kaca, asbes dan lain-lain, dengan tambahan bahan lain yang tidak perlu tersusun dengan teratur. Dimana bahan-bahan tersebut pada pengetesan

mampu beroperasi pada temperature kelas F yaitu 25°C lebih tinggi dibandingkan dengan kelas B.

d. Kelas G

Kelas G terdiri dari kombinasi bahan-bahan seperti mika, porselin, kwarsa dan kaca dengan susunan tidak teratur. Kombinasi bahan-bahan lain mungkin tercakup di dalam kelas ini, jika pada pengetesan mereka mampu beroperasi pada temperature kelas G.

e. Kelas H

Kelas H terdiri dari bahan silium dan kombinasi bahan seperti mika, serat kaca, asbes dan lain-lain dengan tambahan seperti damar. Kombinasi bahan-bahan lain mungkin tercakup di dalam kelas ini, jika dalam pengetesan mereka mampu beroperasi pada kelas temperature H.

f. Kelas Y

Kelas Y terdiri dari kombinasi bahan-bahan seperti kapas, sutera dan kertas dengan tambahan bahan lain yang tercakup dalam kelas Y. Dimana dalam pengetesan bahan-bahan tersebut mampu beroperasi pada temperature kelas Y.

3.7 Tahanan Isolasi

Ketika tegangan DC diijeksikan kepada isolator yang terbuat dari bahan polimer, maka arus mengalir melewati bagian dalam dan permukaannya. Tahanan isolasi adalah perbandingan dari tegangan DC yang diijeksikan dan arus total, perbandingan antara tegangan dengan arus yang melewati bagian dalam disebut tahanan volume dan perbandingan antara tegangan dan arus yang melewati bagian

permukaannya disebut tahanan permukaan. Tahanan volume per satuan tebal dan per satuan luas disebut ketahanan volume (Ωcm), sedangkan tahanan permukaan per satuan jarak permukaan atau satuan panjang dari elektroda disebut ketahanan permukaan (Ω).

3.8 Klasifikasi Bahan Isolasi

3.8.1 Bahan Isolasi Gas

Bahan isolasi ini berupa udara, nitrogen dan belerang. Hal ini dikarenakan bahan tersebut sangat ekonomis, mudah didapatkan, tidak mudah meledak dan menyala.

- a. Udara sangat baik digunakan pada isolasi tegangan rendah dan menengah. Karena arus bocor pada udara lebih kecil dibandingkan dengan bahan isolasi cair dan padat pada kondisi yang sama dan dielectric mendekati nol. Akan tetapi udara mempunyai dielectric strength rendah yaitu 3-5 kV/mm. Jadi ketika dua buah elektroda dipisahkan oleh udara dan diberikan tegangan tinggi yang melebihi tegangan tembus maka akan terjadi loncatan bunga api dan apabila tegangan dinaikkan lagi maka akan timbul busur api.
- b. Dalam beberapa kasus nitrogen mempunyai dua kegunaan yaitu sebagai bahan isolasi dan bahan kimia untuk mencegah oksidasi sehingga menambah umur peralatan.
- c. Belerang merupakan bahan isolasi yang baik karena mempunyai dielectric strength yang tinggi yaitu 75 kV/cm, tidak mudah terbakar dan mempunyai struktur kimia yang stabil pada tekanan tinggi dan temperatur sampai 100°C.

3.8.2 Bahan Isolasi Cair

Bahan isolasi cair biasanya digunakan sebagai bahan pengisi pada beberapa peralatan listrik seperti transformator, circuit breaker dan masih banyak lagi. Bahan isolasi ini berfungsi sebagai isolator dan sekaligus media pendingin pada peralatan listrik. Bahan isolator cair yang banyak digunakan adalah minyak transformator.

Minyak transformator merupakan mineral minyak yang diperoleh dari pemurnian minyak mentah. Selain itu minyak transformator juga bias diproduksi dari bahan organik seperti piranol dan silicon.

3.8.3 Bahan Isolasi Padat

Bahan isolasi ini banyak digunakan pada kumparan seperti kumparan motor, generator, transformator. Bahan isolasi padat di kelompokkan sebagai berikut:

a. Bahan Berserat (*fibrous*)

Contoh bahan ini yaitu kayu, kertas, textile dan asbes. Keuntungan dari bahan ini adalah mudah dibentuk dan di proses, ekonomis, mechanical strength kuat dan mudah didapat. Sedangkan kerugiannya yaitu bersifat hygroskopis dan dielectric strength rendah.

b. Bahan Mineral

Merupakan bahan isolasi yang dihasilkan dari tambang yang diolah dan dibentuk sesuai kebutuhan seperti: mica, maner, sabak dan aspal. Bahan ini sering digunakan pada mesin-mesin listrik tegangan tinggi, heating lemen dan bahan dielectric pada isolasi.

c. Bahan Karet

Bahan karet memiliki elastisitas yang sangat tinggi, tahan terhadap cuaca, dielectric strength tinggi dan dapat dicampur dengan belerang sehingga tahan terhadap temperature.

3.9 Isolasi Belitan Stator

Generator merupakan bagian paling penting dalam proses pembangkitan energy listrik. Salah satu bagian penting pada generator dan menjadi penyebab utama kegagalan dari kerja generator adalah system isolasi belitan stator. Sekitar 26% dari keggagalan kerja generator berasal dari kesalahan isolasi. Maka dari itu kelemahan dari suatu isolasi yang dapat mengakibatkan kegagalan kerja generator harus diketahui sejak dini.

Masalah utama isolasi adalah tentang pengaruh *disruptive discharge*, yang dapat timbul pada saat terjadi tekanan oleh tegangan pelepasan. Maka dari itu perlu dilakukan pemeliharaan dan pengujian yang rutin untuk mesin-mesin yang berputan (generator).

3.10 Aplikasi Bahan Isolasi

Terdapat beberapa material penting yang digunakan dalam pembuatan isolator sesuai dengan kebutuhan dan pengaplikasiannya, sebagai berikut:

3.10.1 Bahan Isolasi untuk Kawat

Kawat berbentuk bulat sering digunakan untuk alat instrument, piranti elektronik dan mesin elektrik. Untuk kebutuhan isolasi fleksibilitas, kecepatan dan kemampuan terhadap tekanan adalah syarat utama yang harus terpenuhi. Material yang digunakan umumnya masuk dalam kelas A.

Isolasi ini terdiri dari lapisan film yang diencerkan yang kemudian di balutkan pada kawat. Hal ini berkaitan dengan proses yang ekonomis. Karena kawat berlapis email banyak digunakan dan bersifat universal untuk motor kecil dan piranti industry.

Untuk lapisan film ukurannya tipis yaitu 0,055 – 0,075 mm. bahan yang digunakan untuk membuat lapisan film adalah sebagai berikut:

a. Kapas

Terdiri dari benang kapas terbaik dengan bentuk seperti sekrup pada kawat di dalam mesin.

b. Sutera

Digunakan untuk melindungi kawat dan memberikan ruang untuk kawat. Akan tetapi karena harganya yang terbilang sangat mahal sekarang sudah tidak banyak lagi digunakan.

c. Kaca Berserat

Terbuat dari material logam alkali oksida yang hanya diperbolehkan untuk membentuk satu permukaan mantel saja.

d. Asbes

Bahan ini baik untuk mesin lemah, bahkan ketika ditunen dengan serat katun bahan ini lebih buruk dari pada kaca berserat.

3.10.2 Bahan Isolasi untuk Laminasi

Bahan untuk laminasi dituntut untuk insulated. Maka dari itu berikut adalah bahan yang umum digunakan untuk laminasi:

a. Insulin

Insulin adalah suatu campuran kaolin yang kedua sisinya menyangkut pada laminasi tersebut. Total ketebalan mantel laminasi adalah 0,01 – 0,025 mm.

b. Pernis

Pernis merupakan jenis isolasi yang paling efektif dan tersedia sekarang. Pernis juga tahan terhadap karat dan temperature produksi pada mesin-mesin listrik. Pernis pada umumnya digunakan pada kedua sisi laminasi dengan ketebalan 0,006-0,05 mm.

c. Bahan Isolasi untuk Mesin

Generator AC/DC untuk tujuan industry biasanya di lapisi oleh material kelas A, akan tetapi untuk dynamo lebih ke material kelas B yang kemungkinan beroperasi pada tempertaur yang lebih tinggi.

3.11 Pemeliharaan Peralatan Listrik

Pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi merupakan serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk memberikan pencegahan terhadap gangguan yang terjadi pada peralatan yang mengakibatkan kerusakan pada peralatan, sehingga peralatan tidak berfungsi dengan sebagai mana mestinya.

Pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi mempunyai tujuan sebagai berikut:

- a. Untuk menjamin kontinuitas penyaluran tenaga listrik dan mengurangi lama waktu trip ygn disebabkan oleh gangguan.
- b. Meningkatkan keandalan system dan efisiensi peralatan.
- b. Memperpanjang umur peralatan.
- c. Mengurangi terjadinya resiko kerusakan alat yang diakibatkan oleh gangguan.
- d. Meningkatkan safety pada peralatan.

Sistem isolasi menjadi faktor yang paling dominan pada pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi. Semakin baik bahan isolasi yang digunakan pada suatu peralatan maka umur dari peralatan akan semakin panjang. Begitu juga sebaliknya jika bahan isolasi yang digunakan pada peralatan tidak terlalu

baik maka umur dari peralatan akan lebih pendek. Oleh karena itu pemeliharaan pada system isolasi harus diutamakan, mulai dari pemeliharaan terhadap isolasinya maupun penyebab kerusakan isolasi.

Pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi dibedakan menjadi dua yaitu, dalam keadaan operasi meliputi pemeriksaan / monitoring (melihat, mendengar, meraba serta mencatat) dan dalam keadaan trip meliputi pemeliharaan (kalibrasi / pengujian, koreksi, memperbaiki serta membersihkan).

Monitoring dapat dilakukan oleh operator setiap hari dengan sistem check list atau catatan saja. Sedangkan pemeliharaan harus dilakukan oleh tim teknis pemeliharaan.

3.12 Jenis-Jenis Pemeliharaan

Terdapat beberapa jenis-jenis pemeliharaan peralatan sebagai berikut:

3.12.1 *Conditional Maintenance*

Merupakan pemeliharaan yang dilakukan dengan cara memprediksi kondisi dari suatu peralatan dengan menentukan kapan kemungkinan terjadinya kegagalan pada peralatan tersebut. Dengan demikian kegagalan dari suatu peralatan dapat diketahui lebih dini.

3.12.2 *Times Base Maintenance*

Merupakan pemeliharaan yang bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan secara tiba-tiba pada peralatan serta mempertahankan kinerja peralatan secara optimal sesuai dengan umur teknisnya. Pemeliharaan ini dilakukan secara berkala dengan berpedoman pada manual book dari pabrik serta pengalaman lapangan. Pemeliharaan ini sering juga disebut dengan pemeliharaan berdasarkan waktu

3.12.3 *Corrective Maintenance*

Merupakan pemeliharaan yang terencana dan dilakukan pada waktu-waktu tertentu ketika peralatan listrik mengalami gangguan atau peralatan tidak bekerja secara optimal. Pemeliharaan ini bertujuan untuk mengembalikan keadaan peralatan menjadi lebih baik atau seperti semula

disertai dengan perbaikan dan penyempurnaan instalasi. Pemeliharaan ini dapat juga disebut Curative Maintenance, yang bisa berupa trouble shooting atau penggantian bagian-bagian yang rusak atau tidak berfungsi sebagaimana mestinya dan dilaksanakan secara terencana.

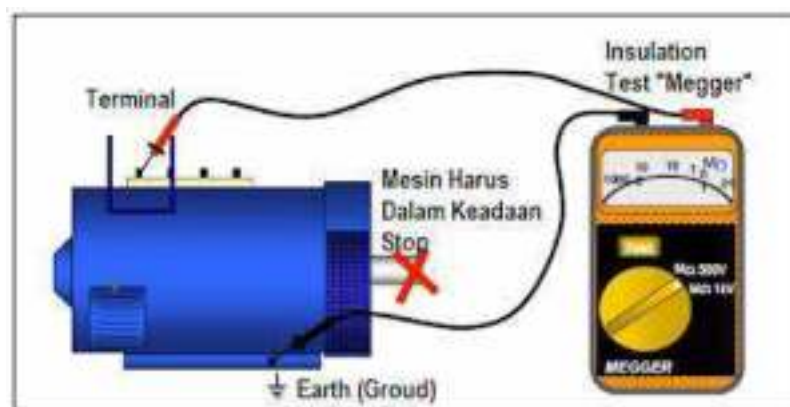
3.12.4 Breakdown Maintenance

Merupakan pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadi gangguan atau kerusakan yang bersifat mendadak dan darurat.

3.13 Pengukuran *Insulation Resistant* dan PI

3.13.1 *Insulation Resistance*

Pengukuran Tahanan Isolasi dan PI - Tahanan isolasi antara penghantar tembaga dengan tanah atau ground pada sebuah mesin listrik diukur dengan menggunakan alat ukur *High Voltage Tester* atau *Insulation Resistance Meter*, dimana tegangan DC diinputkan ketitik pengukuran yang nilainya tergantung dari tegangan operasi mesin listrik tersebut. Beberapa teknisi menyebutnya sebagai Megger, meskipun sebenarnya megger merupakan salah satu merk alat ukur tersebut.



Gambar 3. 39 Konstruksi Generator Sinkron

Sumber : Anonim (2015)

Tegangan yang diinputkan pada titik pengukuran tersebut akan menghasilkan arus bocor yang mengalir melewati isolasi belitan, sehingga besarnya arus yang ditimbulkan menjadi hasil pembacaan pada alat *Insulation Test* (Megger) yang setelah dikonversi akan ditampilkan dalam nilai tahanan (resistance) dengan satuan Mega Ohm. Tegangan DC yang

diinputkan untuk peralatan Low Voltage adalah sebesar 100 - 600 V dan untuk medium voltage antara 1000 - 5000 V.

Untuk peralatan listrik tegangan rendah (Low Voltage), nilai tahanan isoalsi (Insulation Resistance) normal antara phasa ke tanah harus lebih besar dari satu Mega Ohm. Jika didapati hasil pengukuran lebih rendah dari satu Mega Ohm, maka isolasi belitan peralatan tersebut perlu diperiksa, dikeringkan, dibersihkan dan bila hasil pembacaan masih menunjukkan nilai yang rendah, maka perlu dilakukan refurbish.

3.13.2 Polarization Index (PI)

Pengujian PI, digunakan untuk mengetahui tingkat kekeringan, kebersihan dan keamanan isolasi suatu belitan pada mesin listrik. Pengukuran ini dilakukan selama 10 menit, dengan membandingkan hasil pengukuran tahanan isoalsi 10 menit terhadap hasil pengukuran selama 1 menit.

- Untuk isolasi belitan yang baik, nilai PI harus minimum 2 pada pengukuran di temperatur 20 °C.
- Nilai PI dibawah diantara 1.5 - 2 , peralatan masih dapat dioperasikan, tapi perlu pengawasan dan pemantauan berkala.
- Nilai PI dibawah 1.5, mengindikasikan isolasi belitan peralatan tersebut dalam keadaan basah, kotor atau sudah ada yang bocor. Sehingga perlu dilakukan pembersihan, pengeringan dan refurbish apabila ditemukan kerusakan pada isolasinya.

Sekarang ini sudah banyak alat Insulation Resistance Meter yang bisa mengukur tahanan isolasi dan PI yang dapat menampilkan hasil pengukuran pada suhu 20 °C, dengan melakukan konversi secara otomatis sesuai dengan standar IEC.

Pengukuran tahanan isolasi (insulation resistance test) maupun Polarisation Index (PI) dapat dilakukan dilapangan, dan biasanya dilaksanakan sebagai pengukuran awal untuk menentukan langkah selanjutnya apakah peralatan tersebut dapat diperbaiki dilapangan atau harus dibawa ke workshop untuk dilakukan pengetesan lebih lanjut.

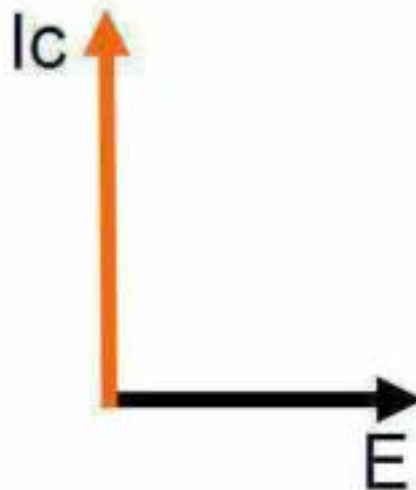
3.14 Tangent Delta

Tan Delta atau *dissipation factor* atau *dielectric loss* merupakan bilangan tanpa dimensi yang menunjukkan nilai tahanan isolasi. Idelanya isolasi yang baik tidak mengkonduksikan listrik sama sekali. Namun untuk mencapai hal itu sangatlah sulit sekali, maka akan tetap menjadi konduktor dan menglairkan sejumlah arus dan menjadi *loss*.

Pada isolasi dengan material yang baik, memiliki losses cukup rendah maka tidak memberikan efek merusak terhadap isolasi. Pengujian *tan delta* berfungsi untuk memeriksa losses yang terjadi atau juga bisa sebagai *quality control*. Maka dari itu pengujian *tan delta* sering digunakan oleh perusahaan untuk memeriksa kondisi isolasi dari peralatannya. Karena *tan delta* dapat mendeteksi kondisi resin insulasi dalam keadaan *undercured* atau kontaminasi.

Insulasi atau isolasi sesuai dengan namanya berfungsi sebagai penyekat arus listrik. Ketika dua konduktor diletakkan secara berhimpitan, maka insulasi berada diantaranya. Teori ini sama seperti halnya kapasitor. Apabila tegangan (DC) diinjeksikan terhadap konduktor, maka arus charging kapasitif yang kuat mengalir pada isolator, hal ini yang dapat mengakibatkan arus bocor. Arus bocor yang mengalir melewati isolator berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan tahanan isolasi. Inilah yang menjadi prinsip dasar dari pengukuran tahanan isolasi atau megger tes.

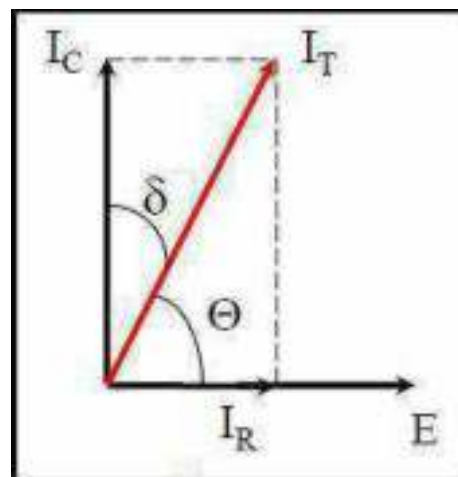
Hampir sama dengan tegangan (DC), tegangan sinusoidal (AC) yang bervariasi, arus juga terbagi menjadi dua yaitu charging current atau lebih dikenal dengan arus leading atau kapasitif dan sejumlah kecil kebocoran arus atau resitif. Apabila digambarkan kondisi tegangan (AC) secara vector, arus berada pada arah melintang insulasi yang sempurna (seluruhnya kapasitif) dan 90% terhadap fase tegangan (leading). Kurva nilai kapasitif ditunjukkan pada Gambar berikut:



Gambar 3. 40 Kurva Nilai Kapasitif

Sumber : Arrosyid (2019)

Insulasi pada kenyataanya terdapat kebocoran arus melalui Insulasi dengan kondisi satu fasa dengan tegangan, hal itu di karenakan adanya sifat resitif pada insulasi. Dengan demikian saat tegangan (AC) diijeksikan, arus total mengalir I_t terdiri dari arus kapasitif I_c arus resitif I_r seperti pada Gambar berikut :



Gambar 3. 41 Kurva Tan Delta

Sumber : Arrosyid (2019)

3.15 Kelebihan Tangent Delta

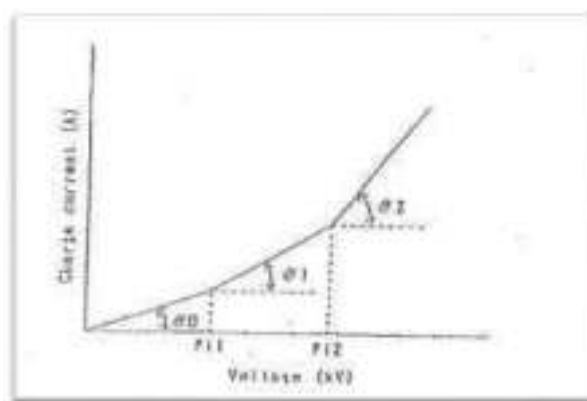
Pada dasarnya pengujian tangent delta merupakan tes diagnosis yang dilakukan pada isolasi kabel, coil dan belitan. Ini digunakan untuk tingkat degradasi kombinasi bahan-bahan isolasi pada peralatan mesin-mesin listrik, kabel dan belitan. Pengujian tangent delta beroperasi sesuai dengan prinsip bahwa setiap isolasi murni adalah bertindak sebagai kapasitor.

Pengujian tangent delta dapat memberikan hasil tangent dari sudut I_r / I_c yang memberikan suatu kondisi dari isolasi suatu peralatan. Semakin tinggi nilai sudut loss maka hasil akan menunjukkan tingginya tingkat kontaminasi pada isolasi. Dengan aplikasi dan interpretasi yang tepat pada pengujian *tan delta*, kondisi isolasi belitan dapat dimonitor dan dijaga untuk tetap dalam kondisi sesuai standart.

Pengujian *tan delta* juga dapat dilakukan pada mesin-mesin listrik yang telah selesai dilakukan maintenance untuk mengetahui kondisi belitan dan usia pakai dari peralatan.

3.16 Interpretasi Pengujian Tangent Delta

Pengukuran tangent delta mengukur total loss sistem insulasi, dibutuhkan pemisahan loss yang diakibatkan perubahan *partial discharge* agar dapat diperoleh loss yang diperlukan. Grafik *Tan Delta* ditunjukkan pada Gambar berikut :



Gambar 3. 42 Grafik Tan Delta

Sumber : Arrosyid (2019)

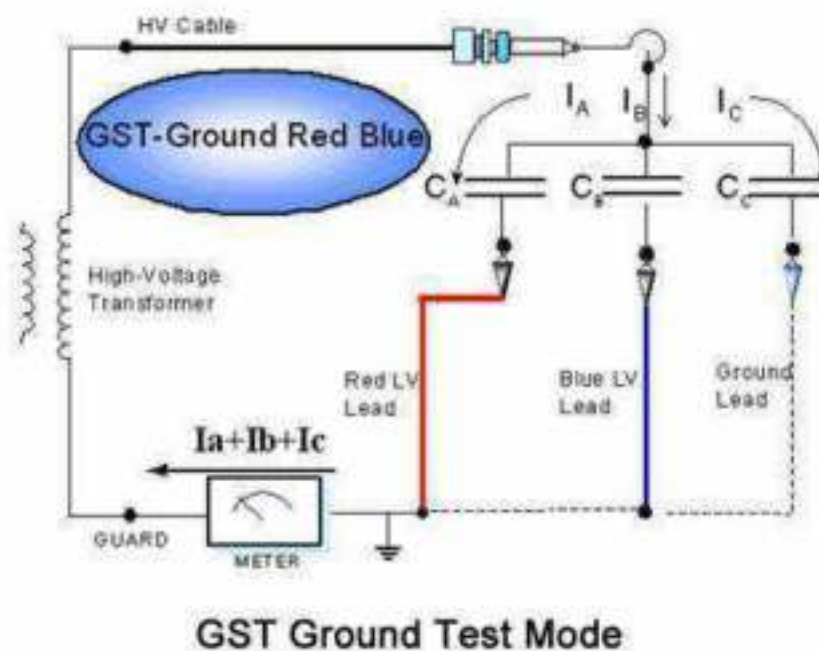
Pada tegangan rendah tidak terjadi *partial discharge* (karena rongga-rongga dalam insulasi mampu menahan tegangan yang diaplikasikan padanya) dan pengukuran *tangent delta* mempengaruhi karakteristik *dielectric losses* insulasi. Karakteristik *dielectric losses* akan tetap konstan atau mengalami perubahan sedikit terhadap variasi tegangan.

3.17 Metode Pengujian Tengtent Delta

Pada pengujian tangent delta terdapat beberapa metode yang sering digunakan yaitu:

3.17.1 Mode GST (*Grounded Speciment Test*)

Pemasangan koneksi pada mode GST ditunjukkan pada Gambar berikut :



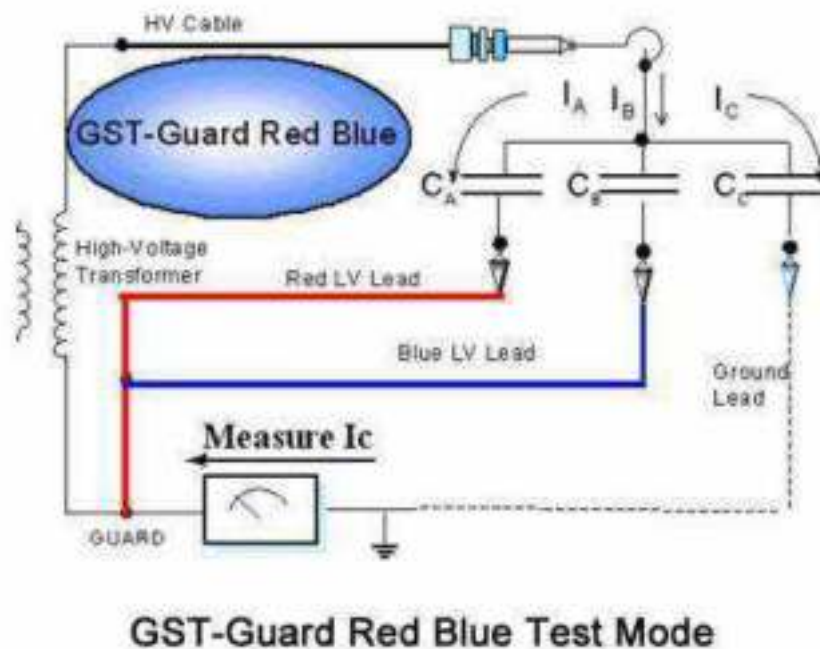
Gambar 3. 43 Pemasangan Mode GST

Sumber : Arrosyid (2019)

Merupakan mode pengujian *tan delta*, yang mana nilai kapasitansi yang digunakan sebagai referensi pengujian adalah kapasitansi obyek yang diuji terhadap *ground*.

3.17.2 ModeGSTG (*Grounded Speciment Test Guard*)

Pemasangan koneksi pada mode GST-Guard ditunjukkan pada Gambar berikut :



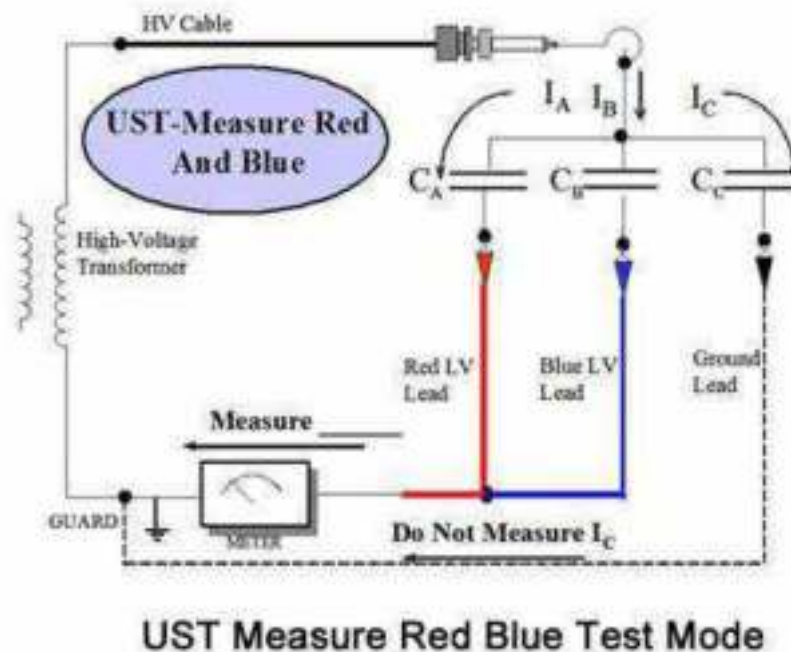
Gambar 3. 44 Pemasangan Mode GSTG

Sumber : Arrosyid (2019)

Merupakan mode pengujian *tan delta*, yang mana nilai kapasitansi yang digunakan sebagai referensi pengujian adalah kapasitansi obyek yang diuji terhadap ground dan membatasi kapasitansi obyek lain yang mempengaruhi nilai kapasitansi. mode pengujian *tan delta*, yang mana nilai kapasitansi yang digunakan sebagai referensi pengujian adalah kapasitansi obyek yang diuji terhadap *ground*.

3.17.3 Mode UST (*Ungrounded Speciment Test*)

Pemasangan koneksi pada mode UST ditunjukkan pada Gambar berikut :



Gambar 3. 45 Pemasangan Mode UST

Sumber : Arrosyid (2019)

Merupakan mode pengujian *tan delta* yang mana nilai kapasitansi digunakan sebagai referensi pengujian adalah kapasitansi antara dua objek yang sama sekali tidak terhubung dengan *ground*.

3.18 *Partial Discharge*

Partial Discharge adalah peristiwa pelepasan atau loncatan bunga api litrik yang terjadi pada sebagian dari sistem isolasi (pada rongga dalam atau pada permukaan sebagai akibat adanya beda potensial yang tinggi dalam isolasi tersebut. Pada saat sistem isolasi ini menahan *electrical stress* dan thermal stress yang terus menerus maka akan terjadi penuaan (aging) yang menyebabkan kegagalan isolasi. Fenomena ini dapat dideteksi dengan pengamatan dan pengukuran pulsa PD. Pada bahan isolasi tidak tertutup kemungkinan terdapat partikel-partikel asing sebagai pengotor, yang sering dijumpai adalah rongga udara bertekanan rendah (void).

Bahan isolasi dengan kekosongan udaraGb 1 Bahan isolasi dengan kekosongan udara. Terjadinya void (rongga) yang muncul di dalam isolasi melalui proses-proses yang tidak sempurna, antara lain:

1. Proses fabrikasi dimana void terbentuk karena adanya udara bocor saat proses cross linking dari polyethylene. Proses ini terjadi pada temperature 200-220° C, yang untuk mencapainya digunakan uap panas dan tekanan 1.6-2 Mpa.
2. Proses instalasi, seperti pada proses penyambungan kabel.
3. Pada operasi kabel, seperti pada saat terjadi hubung singkat yang menghasilkan perubahan termis yang besar pada kabel. Jika tekanan yang dialami melebihi batas, ikatan isolasi polimer dapat lepas sehingga menghasilkan void.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Desain Generator

Generator PLTU Jateng 2 Adipala memiliki spesifikasi sebagai berikut:



Gambar 4. 1 *Nameplate* Generator

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

Parameter generator dijelaskan pada spesifikasi generator pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Spesifikasi Generator

Manufacture	Shanghai Electric
Type	QFSN-660-2
Serial Number	B0700SHJ11011
Year of Manufacturing	2012
Winding Connection	Y
Insulation Class	Class F
Rated Power	660 MW
Frequency	50 Hz
Stator Voltage	22000 V
Stator Current	A
Rotor Voltage	491 V
Rotor Current	4669 A

Sumber : Shanghai Electric (2014)

4.2 *Scope Assessment* pada Generator

Pada proyek *overhaul* yang dikerjakan oleh PT. Indonesia Power MSU Semarang pada PLTU Jateng 2 Adipala dilakukan serangkaian pengujian untuk menilai keandalan suatan alat. Kualitas isolasi pada generator sangat penting untuk diperhatikan, oleh karena itu diperlukan pemeliharaan agar dapat beroperasi secara maksimal. Proyek ini dilakukan pada periode tertentu agar semua peralatan pada unit pembangkit khususnya generator agar memiliki kehandalan sehingga tahanan lama.

Batasan masalah pada laporan ini adalah mengetahui kualitas isolasi belitan dari kumparan stator generator berdasarkan nilai tahanan isolasi, *tan delta*, dan *partial discharge*. Sebelum melakukan pengujian pada stator, dilakukan pengujian pada rotor terlebih dahulu. Hasil pengujian pada rotor tidak penulis bahas dalam laporan ini.

4.2.1 Stator *Winding*

Tabel 4.2 Pengujian pada Stator *Winding*

Pengujian	Tujuan
<i>Insulation resistance test and polarization index</i>	<i>Short to ground and phase to phase</i>
<i>Winding resistance</i>	<i>Looseness, crack Cooper</i>
<i>PDCA (Polarization Depolarization Current Analysis)</i>	<i>Thermal Insulation</i>
<i>Tan delta / dissipation factor test</i>	<i>Dielectric loss/deterioritation insulation</i>
<i>Offline partial discharge</i>	<i>Deterioritation insulation</i>
<i>AC leakage current test</i>	<i>Deterioritation insulation</i>

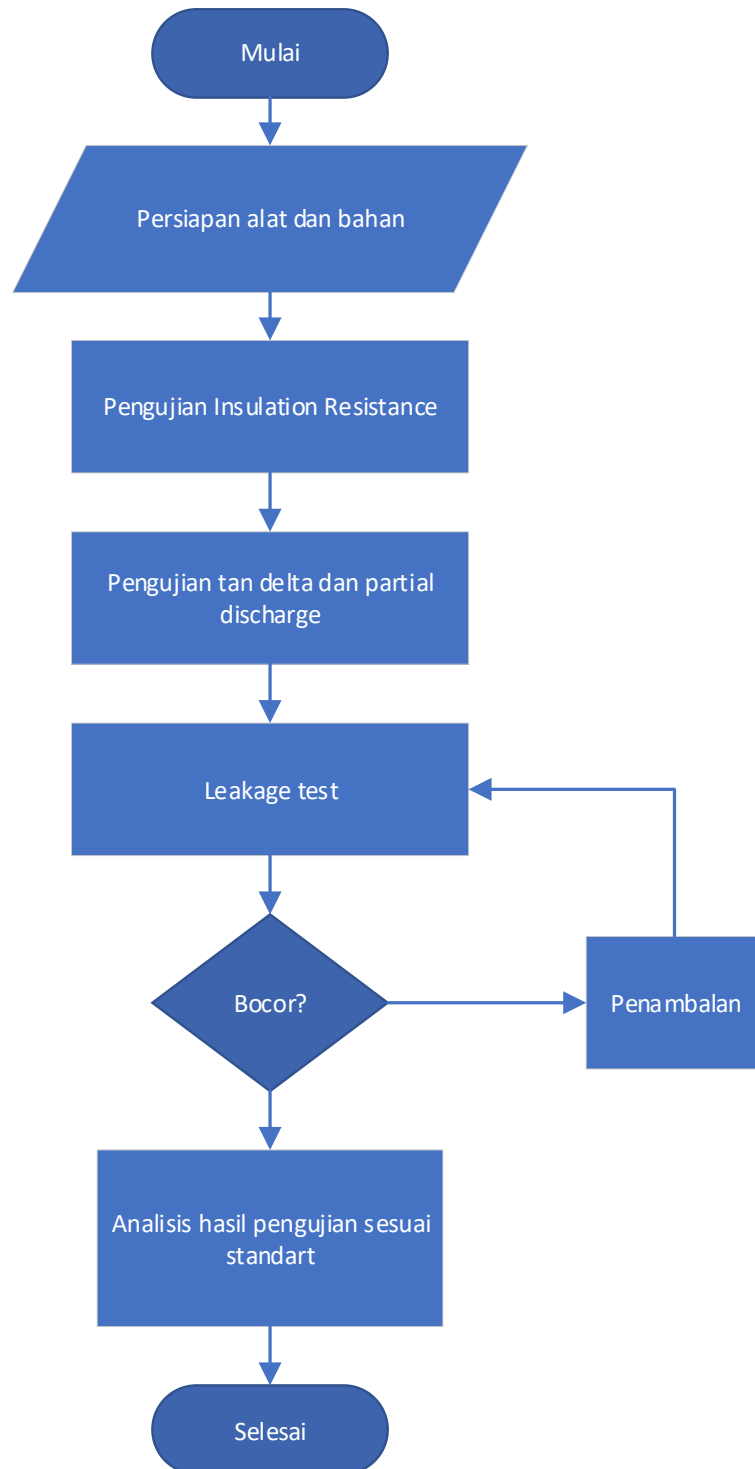
Sumber : Andika (2020)

4.2.2 Rotor *Winding*

Tabel 4.3 Pengujian pada Rotor *Winding*

Pengujian	Tujuan
<i>Insulation resistance test and polarization index</i>	<i>Short to ground.</i>
<i>Winding resistance</i>	<i>Looseness, crack Cooper</i>
<i>PDCA (Polarization Depolarization Current Analysis)</i>	<i>Thermal aging, insulation abrasion, or contaminant</i>
RSO	<i>Short interturn, earth fault</i>
SFRA	<i>Short interturn</i>

Sumber : Andika (2020)



Gambar 4. 2 *Flowchat* Pengujian

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

4.3 Sistem Pendingin Generator

Sistem pendingin generator pada PLTU Jateng 2 Adipala, menggunakan system pendingin Hidrogen dan Air. Pendingin gas Hidrogen merupakan pendingin untuk ruangan antara stator dan rotor. Hidrogen didalam generator akan didinginkan oleh air dari C3W (*Close Cooling Circuating Water*). C3W merupakan air *demineralized* yang bersumber dari air laut. Air laut akan melalui proses *demineralized* untuk menghasilkan air dengan kualitas pendingin yang bagus. Pada prinsipnya, air yang berasal dari saluran C3W akan menerima suhu panas dari gas Hidrogen yang kemudian airnya akan didinginkan oleh condenser oleh air laut. Sehingga Hidrogen pada ruanganan stator dan rotor generator tetap terjaga suhunya karena adanya perpindahan panas melalui air.



Gambar 4. 3 Saluran Pipa C3W

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

Pendingin Air pada generator berfungsi untuk mendinginkan coil stator. Coil stator mempunyai rongga pada bagian intinya. Rongga tersebut dialiri air dari saluran sistem GSCW (*Generator Stator Cooling Water*). Pendingin air dan hydrogen tidak saling berinteraksi satu sama lain karena mempunyai saluran yang berbeda dan masing-masing systemnya adalah *close loop*.



Gambar 4. 4 Saluran Pipa GSCW

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

4.4 *Leakage Test* Udara Instrument

Uji mekanikal dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan serangkaian pengujian elektrik untuk menguji kualitas isolasi pada belitan stator. Generator berpendingin hydrogen dan air sangat rentang terhadap kebocoran. Berdasarkan laporan dari pihak operasi harian, sering terjadi dentuman keras pada bagian generator dalam waktu sesaat. *Team* pada bagian generator kemudian melakukan pengujian mekanik, salah satunya adalah *leakage test* pada saluran pendingin. Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan alat *Gas Analyzer* didapatkan temuan gas hydrogen pada system pendingin GSCW sehingga dilakukan pengujian kebocoran pada system pendingin air tersebut (Taylor, 2014). Kebocoran gas hydrogen ditemukan pada pipa *venting* atau pipa buangan udara saluran GSCW yang merupakan pipa yang berfungsi untuk membuang uap panas yang dibawa oleh air serta sebagai sirkulasi udara.



Gambar 4. 5 Sistem GSCW

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

Uji kebocoran (*leakage test*) pada saluran GSCW menggunakan media udara instrument. Udara instrument dipilih agar mudah untuk mencari titik kebocoran isolasinya menggunakan cairan bermerk snoop. Jika ada kebocoran udara instrument maka cairan snoop akan mengeluarkan gelembung udara.

Langkah – langkah pengujian *leakage test* menggunakan udara instrument adalah sebagai berikut :

1. Menuras air pada GSCW *tank*. Kemudian melepas pipa GSCW lalu memasukkan pipa untuk saluran udara instrument.



Gambar 4. 6 Pemasangan Saluran Udara Instrument

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

2. Memasang *pressure* meter untuk mengetahui jumlah tekanan udara instrument yang dimasukkan. Jika tekanan terus berkurang, maka terjadi kebocoran pada system.



Gambar 4. 7 Pemasangan *Pressure* meter

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

3. Memasukkan udara instrument kedalam system pendingin generator melalui lubang saluran GSCW.
4. Mencari titik kebocoran menggunakan cairan snoop dengan cara mengoleskan cairan ke sela-sela sambungan secara menyeluruh.



Gambar 4. 8 Cairan Snoop

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)



Gambar 4. 9 Proses Meneteskan Cairan Snoop

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

5. Mengontrol tekanan pada *pressure meter*.

Hasil pengujian menguatkan adanya kebocoran pada system GSCW yang sesuai dengan adanya temuan gas Hidrogen pada saluran GSCW, ditunjukkan dengan penurunan tekanan dalam waktu tertentu pada *pressure meter*. *Leakage test* menggunakan media udara instrument tidak berhasil, karena para pekerja tidak menemukan titik kebocoran . Sedangkan tekanan yang terukur pada *pressure meter* lama kelamaan turun. Menggunakan cairan snoop terbukti tidak efektif untuk menemukan titik kebocoran yang

kecil. Hasil *leakage test* kemudian ditindaklanjuti dengan pengujian *electrical* menggunakan instrument (alat ukur).

4.5 Pengukuran *Insulation Resistance and PI* Stator Generator

Insulation resistance test and polarization index adalah pengukuran pada isolator belitan stator untuk mengetahui kualitas isolasi antara *coil* stator dengan *ground* dan joda antar coil. Pada pengujian ini, alat yang perlu dibutuhkan adalah Megger. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13



Gambar 4. 10 Megger MIT1025

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

Langkah-langkah pengukuran *Insulation resistance and polarization index* adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan *insulation tester* (Megger).
2. Melepaskan sambungan *starpoint* pada hubungan bintang (Y) serta melepaskan sambungan *outgoing* yang terhubung pada trafo.



Gambar 4. 11 *starpoint*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

3. Menghubungkan polaritas negative (kabel warna hitam) Megger ke fasa R-S-T dengan bergantian. Sedangkan fasa yang tidak diuji dihubungkan ke *ground* agar tidak terjadi induksi.
4. Menghubungkan polaritas positif (kabel merah) Megger ke *ground*.
5. Memutar *selector* pada *inject* tegangan pada 2.5 kV DC.
6. Memastikan semua koneksi kabel sudah benar.
7. Menekan tombol power (*Test*).
8. Mencatat hasil pengukuran tahanan isolasi pada setiap menit.



Gambar 4. 12 Hasil Pengukuran Megger

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

9. Langkah terakhir adalah menghubungkan *ground* semua fasa untuk membuang tegangan yang tersimpan pada tiap fasa.

Tabel 4.4 Pengujian Megger Pertama

Waktu (menit)	R-G (G Ω)	S-G (G Ω)	T-G (G Ω)
0.5	0.285	0.932	0.749
1	0.397	1.331	1.079
2	0.571	1.662	1.652
3	0.791	1.897	2.13
4	0.845	2.02	2.62
5	0.982	2.19	3.06
6	1.055	2.3	3.41
7	1.116	2.36	3.79
8	1.234	2.41	4.07
9	1.325	2.55	4.44
10	1.354	2.66	4.83
PI	3.14	2.06	4.48

Sumber : Penulis (2020)

Tabel 4.5 Pengujian Megger Kedua

Waktu (menit)	R-G (G Ω)	S-G (G Ω)	T-G (G Ω)
0.5	1.189	2.56	1.296
1	1.649	3.8	1.768
2	2.35	4.98	2.64
3	2.78	5.59	3.56
4	3.12	6.11	4.47
5	3.74	6.46	4.99
6	3.73	6.69	5.25
7	4.24	6.99	6.21
8	4.4	7.14	6.03
9	4.6	7.34	6.98
10	4.76	7.46	7.1
PI	2.89	2	3.95

Sumber : Penulis (2020)

Pengukuran *insulation resistance* dilakukan pada suhu 32 °C. Nilai 2 kali percobaan berbeda dikarenakan oleh beberapa factor, diantaranya adalah factor *heating* lampu penerangan, posisi koneksi, dan panjang kabel saat pengukuran. Hasil pengujian IR (*Insulation Resistance*) pada table 4.2 dan table 4.3 didapatkan nilai paling rendah yaitu 0.397 G Ω . *Acceptance Criteria*

berdasarkan IEEE Std 43-2000 IR @ 1 menit adalah $100\text{M}\Omega/40^\circ\text{C}$ (IEEE, 2000). Nilai tahanan isolasi pengukuran lebih besar dari standar nilai standar IEEE. Semakin besar tahanan isolasinya semakin bagus tingkat isolasinya. Sehingga pengujian pengukuran IR (*Insulation Resistance*) berhasil mendapatkan nilai yang bagus. Hal ini menunjukkan bahwa isolasi *coil* fasa pada stator dengan *ground* dinyatakan aman dan dalam kondisi normal.

Polarization index (PI) mempunyai keterkaitan dengan pengujian pengukuran IR untuk mengetahui tingkat kekeringan, kebersihan, dan keamanan isolasi antara fasa dengan *ground* dan juga fasa dengan fasa. Pada generator sinkron 22 kV ini mempunyai spesifikasi isolasi *class* F, dimana pada standarisasi *thermal class rating* F nilai PI minimal adalah bernilai 2. Nilai PI di dapatkan pada hasil pengukuran Megger seperti yang ditunjukkan Gambar 4.15.



Gambar 4. 13 *Selector* Nilai PI

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

Nilai PI dapat juga dihitung yang hasilnya tidak jauh berbeda dengan hasil pengukuran menggunakan Meger (Anon., 2015). Pada data percobaan pertama fasa R-G nilai PI dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Rumus 4. 1 Mencari PI

$$PI = \frac{\text{Nilai IR dalam waktu 10 menit}}{\text{Nilai IR dalam waktu 1 menit}} \quad (4.1)$$

$$PI = \frac{0.397}{0.285}$$

$$PI = 1.39$$

Berdasarkan nilai pengukuran dan juga perhitungan, nilai PI memenuhi standar yaitu nilai PI diatas 2 (IEC, 1984). Pada tabel 4.2 dan tabel 4.3 menunjukkan bahwa indeks polaritas coil fasa pada stator dengan *ground* dinyatakan aman dan dalam kondisi normal.

4.6 Pengujian Pengukuran dengan Lifeview QTD

Pengujian *electrical* selanjutnya adalah mengukur nilai *tan delta* dan *partial discharge* menggunakan alat berbasis PC yaitu Lifeview QTD. Alat ini merupakan sebuah alat yang dibuat oleh perusahaan *quartzteq*, berfungsi sebagai system pengukuran *tan delta* dan *partial discharge* pada frekuensi 50Hz/60Hz.

Pengukuran menggunakan *device* QTD dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat dan bahan



Gambar 4. 14 Kalibrator

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)



Gambar 4. 15 Device QTD

Sumber : Dokumentasi Penulis (2017)



Gambar 4. 16 *Analyzer*

Sumber : Anonim (2017)



Gambar 4. 17 *Batterai*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)



Gambar 4. 18 *Voltage Regulator*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)



Gambar 4. 19 Trafo *step-up* 220 V – 13.8 kV

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)



Gambar 4. 20 Kabel 3 Fasa

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

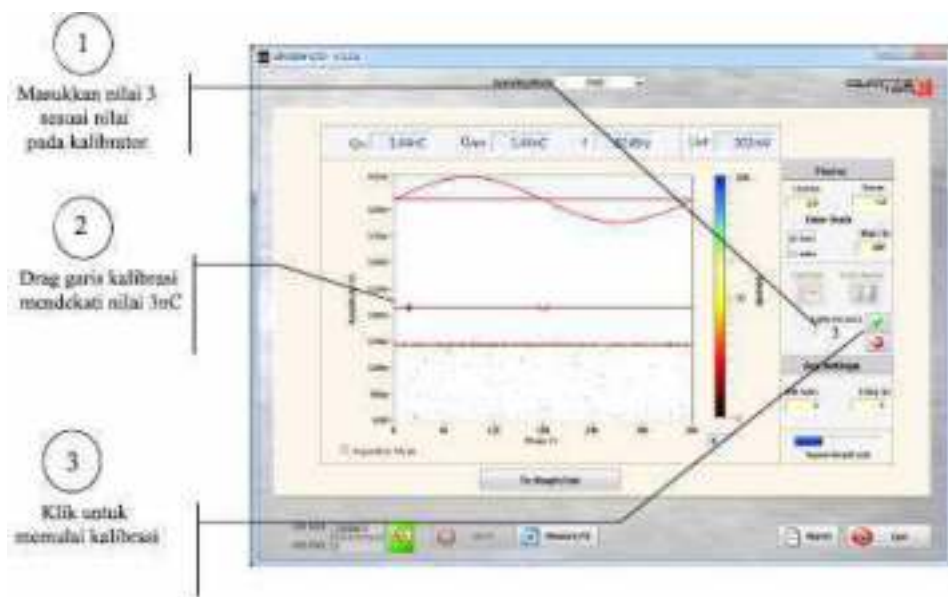
2. Langkah awal untuk memulai pengukuran menggunakan alat ukur adalah melakukan kalibrasi. Kalibrasi dilakukan dengan cara menyambungkan kalibrator ke fasa R dan *ground*, *device* QTD dihubungkan dengan *analyzer* dan *ground* yang kemudian disambungkan ke laptop. Rangkaian kalibrasi ditunjukkan seperti Gambar 4.20



Gambar 4. 21 Rangkaian Kalibrasi Alat

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

3. Memutar *selector* kalibrator pada 3nC. Kemudian melakukan proses kalibrasi pada software Lifeview QTD seperti Gambar 4.21. Kalibrasi berhasil jika garis kalibrasi menunjukkan tepat pada 3nC pada grafiknya. Pada saat kalibrasi, panjang kabel mempengaruhi akurasi kalibrasi maka digunakan kabel yang pendek.



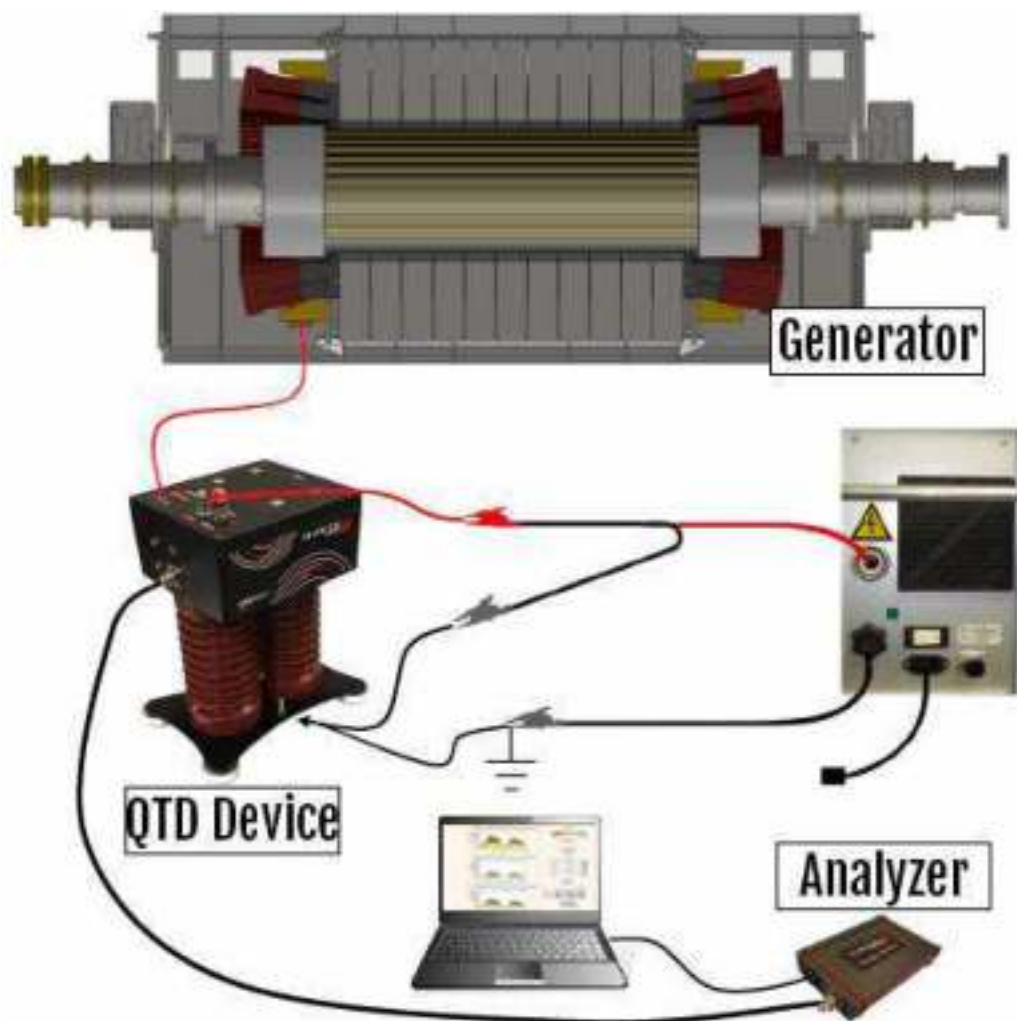
Gambar 4. 22 Langkah-Langkah Kalibrasi

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

4. Menyambungkan trafo dengan *voltage regulator* menggunakan kabel 1 fasa. Kabel 3 fasa yang digunakan hanya kabel berwarna merah dan

biru. *Voltage regulator* disambungkan ke sumber tegangan 220 V dengan arus 160 A.

5. Melepaskan kalibrator, kemudian memasang baterai ke *device* QTD. Output trafo dihubungkan ke *device* QTD dan juga *ground*.
6. Menyambungkan *device* QTD ke objek yang akan di uji yaitu fasa R-S-T secara bergantian. Fasa yang tidak diuji dihubungkan ke *ground* agar semua tegangan yang tersimpan pada fasa terbuang ke tanah. Rangkaian pengujian pengukutan *tan delta* dan *partial discharge* ditunjukkan pada Gambar 4.25





Gambar 4. 23 Rangkaian pengukuran *tan delta* dan *partial discharge*

Sumber : Anonim (2017)



Gambar 4. 24 Rangkaian Alat pada QTD

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2020)

7. Mengatur tegangan pada *voltage regulator* untuk mendapatkan tegangan output trafo dengan Step 1 kV – 13.2 kV. Maka dilakukan perhitungan dengan perbandingan sebagai berikut :

Rumus 4. 2 Mencari Tegangan Pada *Voltage Regulator*

$$\frac{\text{Output Trafo}}{\text{Output Trafo Max}} = \frac{\text{Output Var}}{\text{Input Tegangan}} \quad (4.2)$$

$$\frac{1 \text{ kV}}{13.8 \text{ kV}} = \frac{\text{Output Var}}{220 \text{ V}}$$

$$\text{Output Var} = 15.94 \text{ V}$$

8. Pastikan kabel-kabel yang terhubung tidak menyentuh *body* generator.
9. Melakukan pengujian pengukuran *tan delta* dan *partial discharge*.
Kemudian mencatat hasilnya.

4.7 Pengujian *Tan Delta* Stator Generator

Pengujian *Tan Delta* atau *dissipation factor* berfungsi untuk mengetahui besar rugi dielektrik sebagai analisis kualitas isolasi belitan stator. Pada generator pembangkit listrik yang di gunakan terus-menerus akan mengalami stress terhadap faktor tegangan operasi, vibrasi, temperature, kotoran dan lain sebagainya. Semua faktor tersebut akan menyebabkan penurunan ketahanan isolasi. Ketahanan atau kualitas isolasi dapat diukur menggunakan parameter pengujian *tan delta*, dimana nilai *tan delta* diperoleh dari perbandingan arus kapasitif dan arus resistif yang mengalir.

Hasil pengujian menggunakan *software Lifeview QTD* ditunjukkan pada Tabel 4.6 untuk fasa R, Tabel 4.7 untuk fasa S, dan Tabel 4.8 untuk fasa T.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian *Tan Delta* pada Fasa R

TD Voltage (kV)	Current (uA)	Cap. (nF)	TanDelta (%)	Frequ. (Hz)
1.01	115302.38	361.82	1.09	49.91
1.96	224002.88	362.60	1.17	49.95
4.34	500396.01	363.80	1.29	49.93
8.88	1023392.32	365.92	1.61	49.90
12.65	1469117.52	368.14	1.94	50.01
13.22	1531136.39	368.65	2.02	50.03
12.61	1472968.10	368.47	1.98	50.04
8.89	1022487.64	366.43	1.67	50.09
4.39	503765.05	364.43	1.33	50.05
1.94	224182.95	363.28	1.22	50.04
1.02	115975.07	362.61	1.11	50.00

Sumber : Penulis (2020)

Tabel 4.7 Hasil Pengujian *Tan Delta* pada Fasa S

TD Voltage (kV)	Current (uA)	Cap. (nF)	TanDelta (%)	Frequ. (Hz)
1.04	120300.28	369.39	1.07	50.05
1.98	231115.98	370.22	1.19	50.07
4.37	512837.05	371.53	1.30	50.05
8.76	1031092.29	373.80	1.62	50.08
12.78	1524184.23	376.76	2.05	49.98
13.22	1571996.45	377.19	2.09	49.99
12.63	1511249.30	377.01	2.06	49.99
8.75	1031812.43	374.64	1.73	50.04
4.37	512956.56	372.36	1.34	50.03
1.98	231047.02	371.15	1.20	50.04
1.01	117521.67	370.42	1.12	50.05

Sumber : Penulis (2020)

Tabel 4.8 Hasil Pengujian *Tan Delta* pada Fasa T

TD Voltage (kV)	Current (uA)	Cap. (nF)	TanDelta (%)	Frequ. (Hz)
1.05	117768.68	356.64	1.08	50.05
2.01	227265.86	357.48	1.15	50.12
4.44	502376.56	358.88	1.27	49.94
8.77	995001.85	361.32	1.58	50.02
12.71	1455993.18	364.09	1.94	49.96
13.16	1509116.17	364.63	2.00	49.93
12.74	1462414.03	364.57	1.97	49.94
8.76	1004083.04	362.53	1.66	49.95
4.37	499891.91	360.53	1.31	50.00
1.93	220531.42	359.45	1.18	50.01
0.99	111241.70	358.83	1.08	49.96

Sumber : Penulis (2020)

Hasil pengujian *tan delta* berdasarkan data fasa R-S-T pada tabel diatas dapat dilakukan analisa dengan cara membandingkannya.



Gambar 4. 25 Proses Pengambilan Data Pengukuran

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2020)

4.5.1 Analisa Hasil Pengujian *Dissipation Factor*



Gambar 4. 26 Grafik *Dissipation Factor* fasa R-S-T

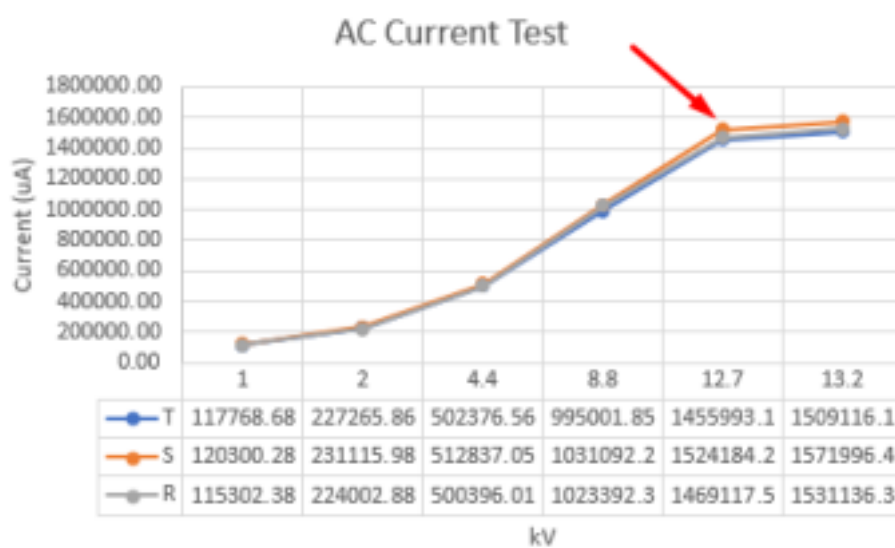
Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

Pada generator sinkron nilai *tan delta* antara fasa R-S-T harus bernilai sama, tetapi nilai *tan delta* pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.26 tidak sesuai. Terjadi kenaikan nilai *tan delta* pada saat fasa S di berikan tegangan 12.7 kV dan 13.2 kV.

Belum ada referensi IEEE mengenai kriteria standarisasi pengukuran nilai *tan delta*. Berdasarkan standard IEC, nilai *tan delta* pada saat (0.2UN) adalah kurang dari 2% (IEC, 2015). Dimana UN adalah tegangan *output* generator sebesar 22 kV, jika 0.2UN hasilnya adalah 13.2 kV. Output

generator sesuai dengan data yang penulis ambil. Sedangkan nilai *tip up* (0.6UN-0.2UN) adalah kurang dari 0.4% (Douglas, 2000). Parameter *tip up* untuk adalah mengukur kenaikan tegangan pada setiap step pengambilan data. Pada fasa R-S-T nilai *tan delta* masih sesuai dengan standar IEC, akan tetapi kenaikan nilai *tan delta* pada tegangan 12.7kV menyebabkan ketidaksejajaran grafik yang kemudian mengindikasikan sedikit adanya void content pada fasa S.

4.5.2 Analisa Hasil AC Leakage Current Test



Gambar 4. 27 Grafik AC Leakage Test fasa R-S-T

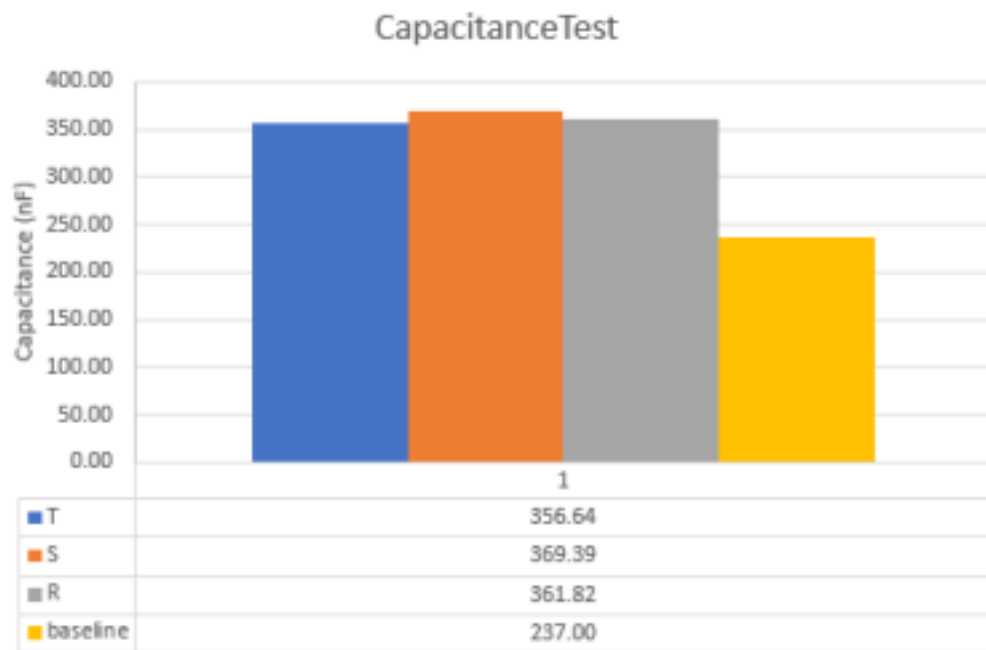
Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

Pada grafik yang di tunjukkan oleh Gambar 4.26 terjadi kenaikan AC *leakage current* pada saat fasa S di berikan tegangan 12.7 kV dan 13.2 kV jika dibandingkan dengan fasa R dan T,

Hasil pengukuran AC *leakage current* antar fasa R-S-T harus sejajar atau bernilai sama. Ditunjukkan pada Gambar 4.26 bahwasannya jika ditarik garis antar titik dalam keadaan normal menunjukkan line yang sejajar. Pengujian ini dilakukan dengan tegangan masukan 1 fasa generator yaitu 13.2 kV (0.2UN). Grafik diatas menunjukkan bahwasannya pada tegangan 12.7 kV terjadi kenaikan arus yang menyebabkan line tidak sejajar.

Ketidak sejajaran line dibuktikan dengan teori hukum ohm yang mengatakan bahwa “Jika arus semakin tinggi dengan tegangan tetap, maka hambatannya kecil (Hukum Ohm)”. Kebocoran arus pada fasa S paling tinggi sehingga hambatan atau resistansinya kecil sehingga mempengaruhi kualitas isolasi. Hal ini mengindikasikan adanya *deteriorasi* atau penurunan kualitas isolasi pada fasa S.

4.5.3 *Capacitance Test Stator Generator*



Gambar 4. 28 Grafik *Capacitance Test* fasa R-S-T

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

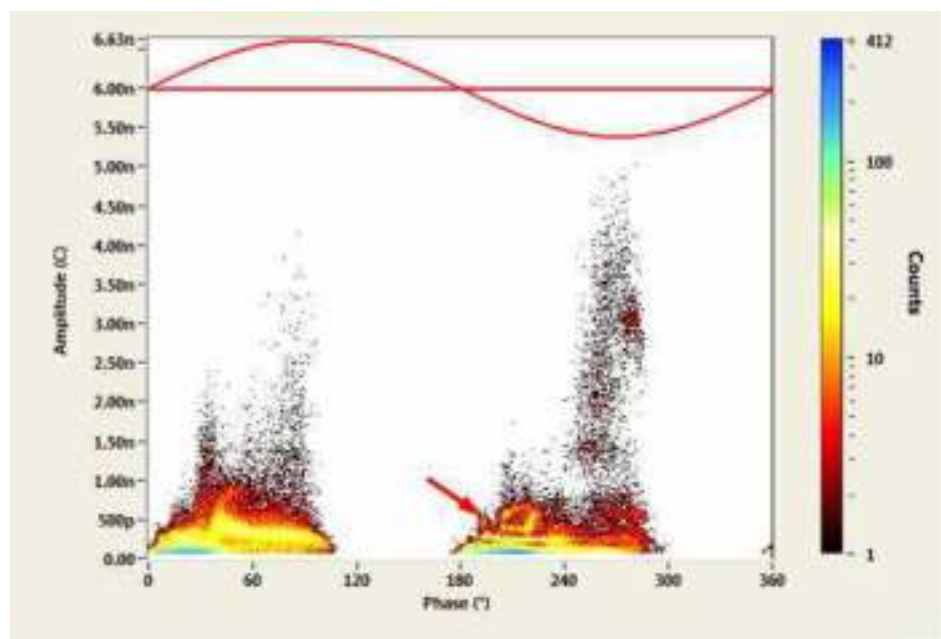
Pada grafik yang di tunjukkan oleh Gambar 4.28 nilai kapasitansi pada fasa R-S-T sangat jauh dari nilai baseline spesifikasi yang terkandung pada *manual book* generator yaitu bernilai 237 nF (Shanghai Electric;, 2011). Berdasarkan grafik pada Gambar 4.27 nilai kapasitansi fasa S paling besar dengan nilai 369.39 nF. Dikuatkan dengan data-data pengujian sebelumnya yaitu pengukuran *tan delta* dan *AC leakage current test* pada belitan stator, mengindikasikan bahwa fasa S dalam kondisi *upnormal*. Dugaan awal menurut data pada 3 percobaan diatas adalah kontaminasi pada permukaan isolasi khususnya pada fasa S. Setelah mengetahui ketidaknormalan isolasi

belitan, maka dilakukan pengujian *partial discharge* untuk mengetahui bagian isolasi terlemah.

4.8 Partial Discharge Test

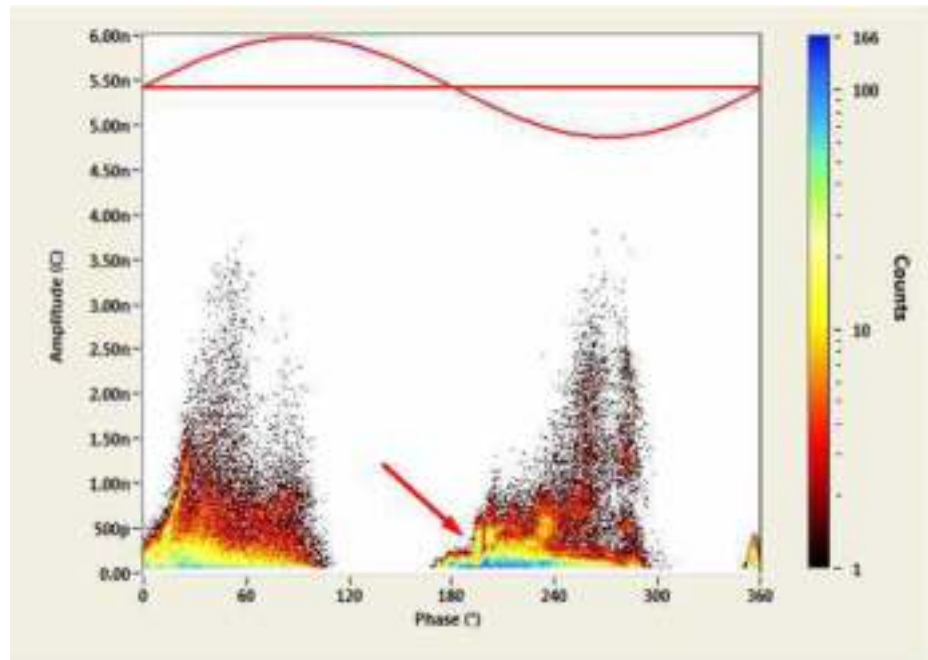
Pengujian *partial discharge* berfungsi untuk mengetahui letak isolasi yang paling lemah. PD didefinisikan sebagai kerusakan dielektrik isolasi peralatan tegangan tinggi sebagai akibat dari peningkatan kekuatan medan yang disebabkan oleh kontaminasi atau lokasi pelepasan dalam media isolasi (IEC, 2015). Peningkatan gaya magnet menyebabkan panas pada stator *core*. Ketika terjadi panas pada stator *core* akan terjadi pemuaian sehingga membuat isolasi belitan menjadi longgar. Hal ini menyebabkan isolasi lemah disebabkan oleh adanya *void* atau gelembung udara antara *coil* dan isolator pada stator. Void juga terjadi karena beberapa faktor diantaranya adalah manufacturing yang tidak bagus, umur belitan, temperature, kontaminan, dan kelembaban.

Penulis mengambil sample data hasil pengujian *partial discharge* pada saat fasa R-S-T diberikan *inject* tegangan 13.2 kV ditunjukkan pada Gambar berikut.



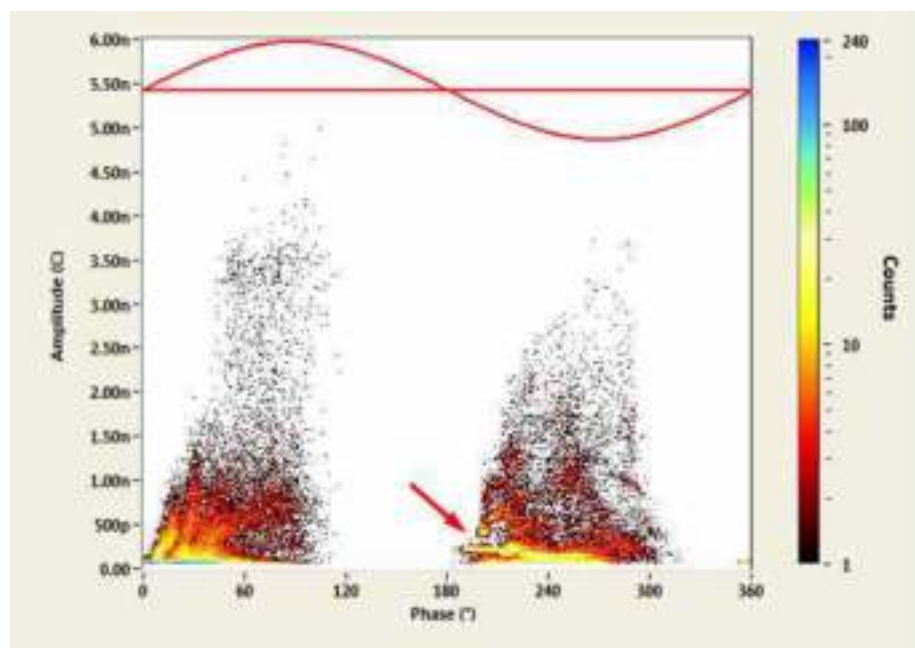
Gambar 4. 29 Grafik *Partial Discharge* fasa R

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)



Gambar 4. 30 Grafik *Partial Discharge* fasa S

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)



Gambar 4. 31 Grafik *Partial Discharge* fasa T

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

Terjadi ketidaknormalan pada kualitas isolasi pada fasa R-S-T. Adanya temuan gas Hidrogen yang bocor pada saluran GSCW dan hasil *leakage test* menggunakan udara instrument yang terjadi penurunan tekanan udara

instrument. kebocoran isolasi pada saluran GSCW diduga kuat pada *end winding*. Dugaan ini dikuatkan dengan hasil pengujian *partial discharge* pada karakteristik spectrum pada Gambar 4.28, 4.29, dan 4.30. Spectrum yang bagus adalah Pola spectrum atau PRPD (*Phase Resolved Partial Discharge*) dan hubungan antara PD positif dan negatif pada dasarnya sama pada frekuensi 50Hz (Stone, 2018). Hal ini dapat dilihat dari gambar bahwa aktivitas PD tidak simetris dalam dua setengah siklus. Ada dominasi aktivitas PD dalam setengah siklus negatif dengan peningkatan mendadak PD pada awal setengah siklus negatif. Karakteristik ini mengkonfirmasi adanya slot discharge (Hudon & Belec, 2005). Namun, penyebaran aktivitas PD bahkan tidak seperti porsi awan yang diamati dalam pola (panah merah pada Gambar 4.28, 4.29, dan 4.30). Awan ini seperti porsi yang berada pada besaran yang lebih rendah (sekitar 250 - 500 pC) menggambarkan adanya ujung berliku jenis discharge (*endwinding discharge*) (Warren & Stone, 2000). *End winding discharge* terjadi pada bagian akhir dari *winding* atau pada bagian bengkokan *winding* (Deshpande, et al., 2015). Hasil pengujian *partial discharge* ditemukan titik isolasi terlemah, berdasarkan hipotesa *team assessment* terjadi kebocoran *barclif* pada *end winding* rotor. *Team assessment* merekomendasikan untuk menindak lanjuti dengan *leakage test* ulang menggunakan gas Helium.

Pengujian *leakage test* merupakan pengujian mekanik yang mungkin tidak berhubungan dengan kualitas isolasi pada belitan stator. Mungkin saja dengan adanya kebocoran yang ditandai penurunan tekanan udara menyebabkan isolasi menjadi lembab, sehingga spectrum PD tidak bagus. *leakage test* adalah pengujian mekanikal sedangkan pengujian *electrical* mencakup *IR*, *tan delta*, dan *PD*. Pada laporan ini dicantumkan pengujian *leakage test* berdasarkan sistematika pengujian yang penulis ikuti selama Kerja Praktek.

4.9 Leakage Test Gas Helium

Leakage test yang kedua menggunakan gas Helium, dimana gas helium *massa jenisnya* lebih kecil dari pada udara instrument. Sehingga lebih mudah untuk mencari titik kebocoran karena gas helium sifatnya lebih sensitive.

Langkah – langkah pengujian *leakage test* menggunakan gas Helium adalah sebagai berikut :

1. Melepas pipa udara instrument, kemudian memasukkan pipa yang bersumber dari gas Helium.
2. *Pressure* meter tetap dipasangkan untuk mengontrol kebocoran tekanan gas Helium saat di lakukan pengujian.



Gambar 4. 32 Tabung Gas Helium

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

3. Mencari titik kebocoran menggunakan alat “*Helium Detector*” dengan cara mendekatkan sensor alat ke sela-sela sambungan dan komponen-komponen lain secara menyeluruh.



Gambar 4. 33 Helium *Detector*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)



Gambar 4. 34 Penggunaan Helium *Detector*

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

Berdasarkan hasil pengujian *leakage test* gas Helium didapatkan kebocoran pada sambungan pipa *cooling* menuju header yang menghubungkan *cooling* untuk fasa R-S-T. Titik kebocoran ditunjukkan dengan Helium *Detector* lampu

indikatornya berwarna merah. Seperti pada Gambar 4.26 yang menyatakan tempat kebocoran.



Gambar 4. 35 Lampu Indikator Berwarna Merah

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)



Gambar 4. 36 Letak Kebocoran pada Pipa Header

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

Bagian sambungan pipa *cooling* menuju header yang menghubungkan *cooling* untuk fasa R-S-T terdeteksi bocor, ditunjukkan dengan Gambar 4.33. lubang yang bocor sangat kecil, maka dilakukan proses penambalan menggunakan prolom. Prolom adalah bahan isolator yang sangat baik dari bahan keramik dalam bentuk cairan kental. Prolom biasanya digunakan untuk menutup lubang isolasi yang tidak rata dan memperkuat isolasi sambungan.

ProLong terdiri dari bahan pengeras dan bahan campurannya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.34



Gambar 4. 37 ProLong

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

Proses penambalan dilakukan dengan cara mencampurkan bahan A dan B. Campuran tersebut digunakan untuk menambal bagian yang bocor. Campuran prolong akan mengering dengan segera apabila suhunya tinggi. Pada proses penambalan di lapangan digunakan lampu 100W untuk mempercepat pengeringan.



Gambar 4. 38 ProLong

Sumber : Dokumentasi Penulis (2020)

Pada proses pengujian tahanan isolasi, *tan delta*, dan *partial discharge* diukur berdasarkan nilai yang sesuai dengan standart untuk mengetahui kualitas isolasi pada kumparan stator. Kebocoran terjadi pada sambuangan pipa header saluran GSCW, sedangkan berdasarkan analisa pengujian *partial discharge* titik kebocoran terjadi pada *barclip* di *end winding*. Penulis membuat hipotesa bahwa terdapat gas Hidrogen yang masuk pada isolasi yang menyebabkan nilai *AC leakage current test* dan *capacitance* tidak sesuai standart. Gas Hidrogen ini mengontaminasikan isolasi melalui pipa header yang bocor tersebut.

BAB IV

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan analisis kualitas isolasi belitan dari kumparan stator generator pada PLTU Jateng 2 Adipala dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian menggunakan metode *insulation resistant*, *tan delta*, dan *partial discharge* dapat digunakan sebagai parameter kualitas isolasi belitan dari kumparan stator generator sinkron.
2. Hasil uji tahanan isolasi masih *acceptable*. Kualitas isolasi *short to ground* sangat baik.
3. Berdasarkan hasil pengujian *tan delta*, isolasi stator mengindikasikan *deteriorasi* terutama pada belitan fasa S. *Deteriorasi* atau penurunan kualitas isolasi belitan fasa S ditandai dengan kenaikan *AC current leakage* dan tingginya *capacitance test*
4. Hasil uji *partial discharge* mengindikasikan *end winding discharge*.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk pembaca adalah, antara lain :

1. Mengikuti instruksi kerja sesuai dengan SOP yang berlaku pada setiap perusahaan.
2. Melaksanakan pengujian ulang jika hasil pengujian pertama sudah ditemukan solusinya agar hasilnya *valid* .
3. Untuk mengetahui kualitas isolasi secara *real time* dilakukan monitoring *partial discharge* secara online agar dapat dikontrol jika terjadi pelepasan (*discharge*) pada suatu sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Anon., 2015. *Direktori Listrik*. [Online]
Available at: <https://direktorilistrik.blogspot.com/2012/11/pengukuran-tahanan-isolasi-dan-pi.html?m=1>
[Accessed 03 02 2020].
- Anon., 2017. *Indonesia Power*. [Online]
Available at: <https://www.indonesiapower.co.id>
[Accessed 30 01 2020].
- Arrosyid & Amin, M. F., 2019. Analisis Pengujian Tahanan Isolasi Tangent Delta Bushing Generator Transformer PT. Indonesia Power UJP PLTU Jateng 2 Adipala. 20 07, pp. 1-30.
- Deshpande, A., Mangalvedekar, H. A. & Cheeran, A. N., 2015. Estimation of Individual Contribution of Partial Discharge Sources for. *researchgate*, pp. 4-7.
- Douglas, L., 2000. IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation Electric Machinery Committee of the IEEE Power Engineering Society IEEE-SA Standards Board. In: *IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation*. New York: IEEE.
- Ghaderi, A., Mingotti, A., Peretto, L. & Tinarelli, R., 2019. Effects of Temperature on MV Cable. *IEEE*, 68(10), p. 3.
- Hudon, C. & Belec, M., 2005. PD Signal Interpretation for Generator Diagnostics. *IEEE TDEI*, xii(2), pp. 297-319.
- IEC, 2015. Rotating electrical machines - Part 27-3: Dielectric dissipation factor measurement on stator winding insulation of rotating electrical machines. *International Electrotechnical Commission*, Volume I, p. 19.
- IEC, 6., 1984. Thermal evaluation and classification of electrical insulation. *International Electrotechnical Commission*, Volume II.
- IEC, 6., 2015. High-voltage test techniques - Partial discharge measurements. *International Electrotechnical Commission*, Volume 3.1.
- IEEE, 2000. IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery. *IEEE*, Issue 43, p. 17.
- Shanghai Electric, 2011. In: *700MW CLASS HYDROGEN & WATER INNER-COOLED TURBINE GENERATOR INSTRUCTION BOOK*. China: s.n., p. 94.
- Stone, 2018. Comparison of Low Frequency and High Frequency. *Electrical Insulation Conference (EIC)*, p. 351.
- Taylor, J., 2014. *Scribd*. [Online]
Available at: <https://www.scribd.com/doc/218535412/Pendingin-Generator>
[Accessed 03 02 2020].
- Warren, V. & Stone, G. C., 2000. Advancements in Partial Discharge Analysis to Diagnose Stator Winding Problems. *IEEE Intl Symposium on Electrical Insulation*, pp. 497-500.

LAMPIRAN



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Jl. Ir. Sutami 36 A Ketingan Surakarta
telp. 0271 647069 web: <http://elektro.ft.uns.ac.id>

Nomor : 74 /UN27.08.06.7/PP/2019

18 July 2019

Lampiran : Proposal KP

Hal : Permohonan Kerja Praktek

Yth. Manajer Administrasi
PT Indonesia Power Unit Jasa Pemeliharaan
Jl. Aipda KS Tubun no 8, Jakarta Barat

Dengan Hormat,

Dengan surat ini kami bermaksud mengajukan permohonan kepada Bapak/Ibu untuk menerima mahasiswa kami kerja praktek / magang pada perusahaan yang Bapak/Ibu pimpin. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah sebagai berikut:

Nama : **GILANG SATRIA AJIE**

N I M : **10717017**

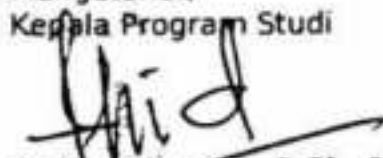
Untuk pelaksanaan kerja praktek tersebut di atas dimohonkan mulai tanggal **27-01-2020** sampai **29-02-2020** atau dalam waktu yang lain sesuai dengan kebijakan perusahaan Bapak/Ibu.

Untuk surat balasan mohon dialamatkan kepada:

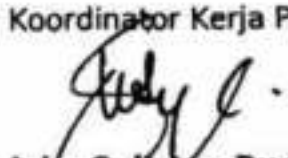
Kepala Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126 Telp. 0271-647069

Atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Mengetahui,
Kepala Program Studi


Feri Adriyanto, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP 296801161999031001

Koordinator Kerja Praktek


Jaka Sulistya Budi
NIP 196710191999031001

Nomor : 036 SK/070/UJH/2019

Jakarta, 26 November 2019

Lampiran : -

Perihal : Surat Keterangan Praktek Kerja Lapangan

Kepada :

Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36 A Ketingan Surakarta

Surakarta

U.p. Ketua Program Studi Teknik Elektro

Dengan ini kami sampaikan bahwa Mahasiswa yang bernama :

NO	NAMA	NIM	PROGRAM STUDI
1.	Gilang Satria Ajie	10717017	Teknik Elektro

Dapat melaksanakan Praktek Kerja Lapangan kurang lebih 1 (Satu) Bulan dimulai dari tanggal 27 Januari 2020 – 29 Februari 2020 di PT Indonesia Power Maintenance Services Unit (MSU) Area Semarang yang dimana berada dalam lingkungan PT. Indonesia Power Semarang Power Generation Unit (SMG PGU).

Demikian kami sampaikan atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

MANAJER ADMINISTRASI


PEFRI ARI SAPUTRA



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jl. Ir. Sutami 36 A Ketingan Surakarta
telp. 0271 647069 web: <http://elektro.ft.uns.ac.id>


LEMBAR TUGAS KERJA PRAKTEK

Nama Mahasiswa : **GILANG SATRIA AJIE**
NIM : **10717017**
Dosen Pembimbing : **Chico Hermanu Brilliyanto Apribowo, S.T., M.Eng.**
NIP : **198804162015041002**
Tempat Kerja Praktek (KP) : **PT Indonesia Power Unit Jasa Pemeliharaan**
Alamat Tempat KP : **Jl. Aipda KS Tubun no 8, Jakarta Barat**
Tanggal Kerja Praktek (KP) : **s.d.**

Diskripsi Tugas Mahasiswa

- Telajari Sistem pembangkitan PLTU secara menyeluruh di Sistem Real PLTU cilacap / Semarang
- Telajari Pola pengoperasian Pembangkit PLTU
- Telajari Sistem maintenance & Perbaikan rutin dan Insidental di PLTU
- Telajari Proses Bisnis PLTU
- Telajari dampak lingkungan PLTU
- Penuhi K3 di lingkungan kerja & Dari pembimbing Lapangan

Surakarta, 5 Desember 2019
Dosen Pembimbing Kerja Praktek


Chico Hermanu Brilliyanto Apribowo, S.T., M.Eng.
NIP. 198804162015041002



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Ir. Sutami 36A Ketingan Surakarta 57126
Telp. (0271)647069, Fax. (0271)662118
laman: <http://ft.uns.ac.id>

Nomor : 4089/UN27.08/65/2019
Hal : Penugasan Kerja Praktek

31 December 2019

Yth. **Manajer Administrasi**
PT Indonesia Power Unit Jasa
Pemeliharaan
Jl. Aipda KS Tubun no 8, Jakarta
Barat

Dengan Hormat,

Berdasarkan surat No. **036.SKt/070/UJH/2019** tanggal **26-11-2019** mengenai jawaban permohonan kerja praktek, bersama ini kami tugaskan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro sebagai berikut untuk melaksanakan kerja praktek / magang di perusahaan Bapak / Ibu:

Nama : **GILANG SATRIA AJIE**
N I M : **10717017**

Terhitung,

mulai tanggal : **27-01-2020**
selesai tanggal : **29-02-2020**

Demikian surat penugasan ini untuk dilaksanakan sebagaimana mestinya.



Dr. Tech. Ir. Sholihin As'ad, M.T.
NIP. 196710011997021001

Nomor : 022.SK/070/MSU/2020

Jakarta, 1 Juli 2020

Lampiran : -

Perihal : Surat Keterangan Selesai
Praktek Kerja Lapangan

Kepada :

Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36 A Ketingan Surakarta

Surakarta

1. p. Ketua Program Studi Teknik Elektro

Dengan ini kami sampaikan bahwa Mahasiswa yang bernama :

NO	NAMA	NIM	PROGRAM STUDI
1.	Gilang Satria Ajie	10717017	Teknik Elektro
2.	Bintar Yudo Sadewa	10717014	Teknik Elektro

Telah melaksanakan Praktek Kerja Lapangan kurang lebih 1 (Satu) Bulan dimulai dari tanggal 27 Januari 2020 - 29 Februari 2020 di PT Indonesia Power Maintenance Services Unit (MSU) Area Semarang yang dimana berada dalam lingkungan PT. Indonesia Power Semarang Power Generation Unit (SMG PGL).

Demikian kami sampaikan atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

PLH MANAJER ADMINISTRASI





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jl. Ir. Sutami 36 A Kentingan Surakarta
telp. 0271 647069 web: <http://elektro.ft.uns.ac.id>

LEMBAR PENILAIAN KERJA PRAKTEK

Nama : **GILANG SATRIA AJIE**
NIM : **10717017**

A. Nilai Perusahaan (bobot 60%)

No	Kriteria	Nilai Angka	Nilai Huruf
Sikap Kerja :			
1.	Kerajinan dan Kedisiplinan	82	
2.	Kerjasama	80	
3.	Inisiatif	84	
Hasil Kerja :			
4.	Ketrampilan	80	
5.	Kerapian	80	
	Nilai Rata-rata	81,2	A-

B. Nilai Seminar KP/Dosen (bobot 40%)

1.	Tata tulis, Penyampaian Makalah, Penguasaan Materi, Kemampuan Menjawab Pertanyaan	95	A
----	---	----	---

Nilai Akhir


86,72 A

Catatan :

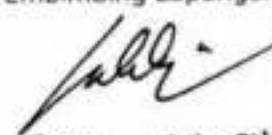
- a. 85 s/d 100 : A
b. 80 s/d 84 : A-
c. 75 s/d 79 : B+

- d. 70 s/d 74 : B
e. 65 s/d 69 : C+
f. 60 s/d 64 : C

Dosen Pembimbing KP


Chico Hermanto Brilliyanto Atribowo,
S.T., M.Eng.
NIP. 198804162015041002

Pembimbing Lapangan,


Zakky Mubarak

LEMBAR KONSULTASI KERJA PRAKTEK

Nama Mahasiswa : GILANG SATRIA AJIE
 N I M : 10717017
 Dosen Pembimbing : Chico Hermanu Brilliyoanto
 Apribowo, S.T.,
 M.Eng./198804162015041002
 Pembimbing Lapangan : Zakky Mukarat
 Tempat Kerja Praktek : PT Indonesia Power Unit Jasa
 (KP) Pemeliharaan
 Alamat Tempat KP : Jl. Alpda KS Tubun no 8, Jakarta
 Barat
 Tanggal Kerja Praktek : s.d.
 (KP)

No	Tanggal	Uraian Kegiatan	Paraf Pemb.
1	15/2/2019	Pemilihan tempat kp	
2	16/2/2019	Persetujuan tempat kp (Indonesia Power)	
3	18/2/2019	Penyusunan proposal kp.	
4	18/2/2019	Persetujuan proposal	
5	6/11/2019	Pembungkatan Berangkat	
6	28/01/2020	Pemilihan Topik KP (Pak Zakky Y)	
7	28/01/2020	Pengambilan data pengujian Tan Delta Generator	
8	29/01/2020	Konsultasi Materi Topik Laporan (Pak Slamat)	
9	29/01/2020	ACC Topik	
10	29/01/2020	Meeting Preliminary Report (sebagai peserta)	
11	30/01/2020	Pengambilan data Insulasi Keseluruhan (mesin)	
12	30/01/2020	Mengikuti Safety Induction	

Catatan :

1. Lembar pantauan ditandatangani dosen pembimbing selama penyusunan proposal & laporan akhir
2. Lembar konsultasi ditanda tangani pembimbing lapangan dan distempel selama kegiatan di lapangan

No	Tanggal	Uraian Kegiatan	Paraf Pembb.
12	1/01/2020	Revisi Judul Laporan (Islamk)	<i>[Signature]</i>
14	3/01/2020	Konsultasi isi Laporan (Akhmal)	<i>[Signature]</i>
15	7/01/2020	Konsul Bab IV (Zakky)	<i>[Signature]</i>
16	9/01/2020	ACC Laporan (Pembimbing Lapangan)	<i>[Signature]</i>
17	4/01/2020	Revisi Sistematis Laporan (Fat Alde F.)	<i>[Signature]</i>
18	5/02/2020	Renew judul laporan.	<i>[Signature]</i>
19	7/01/2020	Kunjungan Perpusdatan	<i>[Signature]</i>
20	10/01/2020	Mempelajari sistem PBTU secara mendalam sesuai real pada PBTU Adipala	<i>[Signature]</i>
21	15/01/2020	Memahami & mempelajari sistem PBTU baru	<i>[Signature]</i>
22	16/01/2020	Memahami & mempelajari sistem air dan uap	<i>[Signature]</i>
23	2/02/2020	Konsep & pengelompokan Laporan	<i>[Signature]</i>
24	23/02/2020	Renew bab pembahasan & kesimpulan	<i>[Signature]</i>
25	20/02/2020	Revisi Laporan	<i>[Signature]</i>
26	2/3/2020	Persiapan Seminar KP	<i>[Signature]</i>

Catatan :

1. Lembar pantauan ditandatangani dosen pembimbing selama penyusunan proposal & laporan akhir
2. Lembar konsultasi ditanda tangani pembimbing lapangan dan dosen pembimbing selama kegiatan di lapangan

TE-KP-002





KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Jl. Ir. Sutami 36 A Ketingan Surakarta
telp. 0271 647069 web: <http://elektro.ft.uns.ac.id>

DAFTAR HADIR SEMINAR KERJA PRAKTEK

Nama : GILANG SATRIA AJIE / 10717017
Judul Laporan KP : PENGUJIAN KUALITAS ISOLASI BELITAN DARI KUMPARAN STATOR GENERATOR SINKRON BERDASARKAN NILAI TAHANAN ISOLASI, TAN DELTA, DAN PARTIAL DISCHARGE PADA PLTU JATENG 2 ADIPALA PT. INDONESIA POWER MSU SEMARANG
Tanggal KP : 2020-01-27 s.d. 2020-02-29
Tempat KP : PT Indonesia Power Unit Jasa Pemeliharaan
Pembimbing : Chico Hermanu Brilliyanto Apribowo, S.T., M.Eng./ 198804162015041002

No	Nama	NIP/NIM	Tanda Tangan
1.	Kevin Dwiganto S.	10717023	
2.	Enghaql JFoni	10717011	
3.	Habibullah Ahmad Fathoni	10717021	
4.	Berlianne Shanzaza A.	10717012	
5.	M. Iqbal Zidny	10717024	
6.	Muh Wakhid Wardani	10717033	
7.	Walden Pangsi K.	10717041	
8.	Muhammad Ikryu A.	10717028	
9.	M. Maulana Yusuf	10717025	
10.	Sony Adyastomo	10717039	
11.	Muhammad Al Muftakhal K.	10717007	

12.	Exikorian Pericouri	102 7004	Pericouri
13.	Athaya Contra Ruler	102, 2004	Contra
14.	Aulia VIC, Y	107/2008	Ami
15.	IVATI ROK S	10117-22	IVATI
16.	M Rifai	10713000	Hub
17.	M. Rivaldy Darmawan	10717029	aidi
18.	ARIF WIBOWO	107-7005	Ami
19.	Fahri Ismail	10717016	Ismail
20.			
21.			
22.			
23.			
24.			
25.			
26.			
27.			
28.			
29.			
30.			

[Signature]

6-3-2020