

LAPORAN
PRAKTEK KERJA LAPANGAN
(ON THE JOB TRAINING)

PT PLN NUSANTARA POWER UP PAITON UNIT 1 & 2
(12 OKTOBER 2025 – 12 DESEMBER 2025)

**PEMELIHARAAN TRAFO EKSITASI GENERATOR UNTUK
MENCEGAH TERULANGNYA KERUSAKAN *FAN* AKIBAT
PENUMPUKAN DEBU DI PT PLN NUSANTARA POWER UP
PAITON 1 & 2**



Oleh:

DAFFA HAFIDZT DARMAWAN

NIT: 30123001

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK LISTRIK BANDAR
UDARA POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA**

2025

LEMBAR PERSETUJUAN

PRAKTEK KERJA LAPANGAN (*ON THE JOB TRAINING*)

PT PLN NUSANTARA POWER UP PAITON 1 & 2

12 OKTOBER 2025 – 12 DESEMBER 2025

Oleh:

DAFFA HAFIDZT DARMAWAN

NIT: 30123001

Disetujui di : Paiton, 10 Desember 2025

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Drs. HARTONO. ST, M.Pd, MM

NIP. 19610727 198303 1 001

Supervisor



LUKMANUL HAKIM

NID. 9013112ZJY

Mengetahui

Asisten Manager Pemeliharaan



SELAMET BASORI

NID. 7294035JA

Manager Pemeliharaan



WAWAN SURYANTO

NID. 8208038JA

LEMBAR PENGESAHAN

Laporan *On The Job Training* telah dilakukan pengujian didepan Tim Penguji pada 10 Desember dan dinyatakan memenuhi syarat sebagai salah satu komponen penilaian *On The Job Training*

Tim Penguji :

Penguji I



Dr. SLAMET HARIYADL ST.MM
NIP. 19630408 198902 1 001

Penguji II



YUDHIS THIRO KABUL YUNIOR ST. M. Kom
NIP. 19870224 202203 1 003

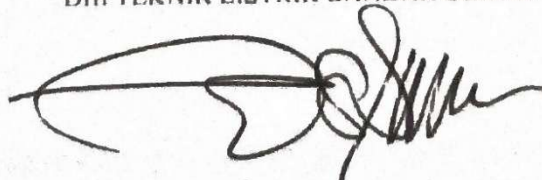
Penguji III



Drs. HARTONO ST. M.Pd. MM
NIP. 19610727 198303 1 001

Mengetahui,

KETUA PROGRAM STUDI
DIII TEKNIK LISTRIK BANDAR UDARA



Dr. Ir. GUNAWAN SAKTI ST. MT
NIP. 19881001 20012 1 003

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan *On The Job Training (OJT)* di PT PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 1&2 dan juga dapat menyelesaikan Penulisan Laporan *On The Job Training* ini sesuai dengan waktu yang telah ditentukan dengan lancar tanpa hambatan yang berarti.

Laporan *On The Job Training* ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan pada program pendidikan Teknik Listrik Bandara. Disusun berdasarkan data-data dan hasil pengamatan di lapangan selama pelaksanaan program *On The Job Training (OJT)* yang berlangsung selama lima bulan pada tanggal 12 Oktober 2025 sampai dengan 12 Desember 2025 di PT PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 1&2.

Kegiatan *On The Job Training (OJT)* ini merupakan kegiatan praktek kerja lapangan, sebagai penerapan terhadap wawasan dan ilmu pengetahuan khususnya di bidang Teknik Listrik Bandara yang telah dipelajari dan diperoleh selama mengikuti pendidikan di kampus baik teori maupun praktek.

Dalam penulisan laporan *On The Job Training (OJT)* ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak baik secara spiritual, materi serta nasihat yang mendukung penulis untuk menyelesaikan laporan. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, yang telah memberikan limpahan anugerah dan rahmat-Nya.
2. Kedua Orang tua dan keluarga yang telah memberikan restu, doa, bantuan serta dukungan kepada penulis sehingga dapat melaksanakan kegiatan *On The Job Training* dengan lancar serta menyelesaikan laporan dengan baik.
3. Bapak Ahmad Bahrawi, ST, MM. selaku Direktur Politeknik Penerbangan Surabaya.
4. Bapak Wawan Suryanto, selaku General Manager Pemeliharaan PT. PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 1 & 2.
5. Bapak Selamat Basori, selaku Asisten Manager Pemeliharaan PT. PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 1 & 2.

6. Bapak Misbiantoro selaku Assisten Officer Admin Sumber Daya Manusia PT PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 1 & 2.
7. Bapak Dr. Ir. Gunawan Sakti, ST, MT. selaku Ketua Program Studi Diploma III Teknik Listrik Bandar Udara Politeknik Penerbangan Surabaya.
8. Bapak Drs, Hartono ST, MM. selaku Dosen Pembimbing.
9. Bapak Lukmanul Hakim, selaku Pembimbing *On The Job Training* (OJT) di PT PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 1 & 2.
10. Seluruh karyawan PT PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 1 & 2, dan PT Mitra Karya Prima.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu yang telah membantu secara sukarela segala keperluan penulis selama mengikuti kegiatan *On The Job Training* (OJT) dan selama pembuatan *laporan On The Job Training* (OJT) ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menerima kritik dan saran yang positif sehingga dapat menyempurnakan laporan ini. Penulis berharap semoga penulisan laporan ini bermanfaat bagi kita semua.

Paiton, 01 Desember 2025

DAFFA HAFIDZT DARMAWAN

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan <i>On The Job Training</i> (OJT).....	2
BAB II PROFIL LOKASI OJT	3
2.1 Sejarah Singkat PT. PLN Nusantara Power UP Paiton 1 & 2.....	3
2.2 Deskripsi Perusahaan	4
2.3 Visi dan Misi Perusahaan	4
2.4 Struktur Organisasi.....	5
2.4.1 Struktur Organisasi PT. PLN NP UP Paiton Unit 1 & 2	5
2.4.2 Struktur Organisasi Bagian Pemeliharaan Listrik Unit 1 & 2	6
2.5 Nilai Dasar dan Budaya Perusahaan.....	6
2.5.1 Nilai Dasar Perusahaan.....	6
2.5.2 Budaya Perusahaan	7
2.6 Kesehatan, Keselamatan Kerja (K3) dan Lingkungan Bagi Karyawan ...	8
2.7 Teknik Pekerjaan	9
BAB III TINJAUAN PUSTAKA	15
3.1 Prinsip Kerja PLTU.....	15
3.1.1 Siklus Air dan Uap.....	16
3.1.2 Siklus Udara.....	19
3.1.3 Siklus Pembuangan.....	20
3.1.4 Siklus Bahan Bakar	22
3.2 Transformator	23
3.2.1 Transformator Daya	23
3.2.2 Jenis dan Fungsi Transformator	24
3.2.3 Bagian-Bagian Transformator	26

3.3	Sistem Kelistrikan PLTU Paiton	35
3.4	Pemeliharaan Listrik.....	37
3.4.1	Jenis-Jenis Pemeliharaan	37
3.5	Sistem Proteksi	39
3.6	Trafo Eksitasi	40
3.7	Spesifikasi Trafo Eksitasi	41
3.8	Fungsi Setiap Bagian Utama Trafo Eksitasi.....	42
BAB IV	HASIL KERJA PRAKTIK	46
4.1	Lingkup Pelaksanaan OJT	46
4.2	Jadwal Pelaksanaan OJT	46
4.3	Permasalahan pada Trafo Eksitasi.....	46
4.3.1	Riwayat Gangguan.....	47
4.3.2	Dampak Gangguan terhadap Sistem.....	48
4.3.3	Pemeriksaan Awal dan Temuan Lapangan.....	48
4.4	Tindakan Pemeriksaan dan Pemeliharaan Trafo Eksitasi	49
4.4.1	Pemeriksaan Visual.....	49
4.4.2	Pembersihan Peralatan	50
4.4.3	Permeriksaan Kipas (<i>Fan</i>) Pendingin	51
4.4.4	Pemeriksaan Sambungan dan Terminal.....	51
4.4.5	Pemeriksaan dan Pengujian Listrik.....	51
4.5	Aliran Udara (<i>Air Flow</i>).....	51
4.6	SOP Pengujian IR.....	52
4.7	Pengujian Tahanan Isolasi (<i>Insulation Resistance Test</i>)	53
4.7.1	Tujuan Pengujian	53
4.7.2	Peralatan dan Metode Pengujian.....	53
4.7.3	Hasil Pengukuran	53
4.7.4	Analisis Data Pengukuran.....	55
4.7.5	Evaluasi Berdasarkan Standar.....	56
4.7.6	Grafik Tren Tahanan Isolasi	57
4.8	Pembahasan Kondisi Trafo Eksitasi Setelah Pengujian	60
4.8.1	Interpretasi Kondisi Isolasi	62
4.8.2	Perbandingan dengan Data Historis.....	62
4.8.3	Indikasi Potensi Kerusakan.....	63
4.8.4	Keterkaitan Temuan Visual dengan Hasil Pengujian	63

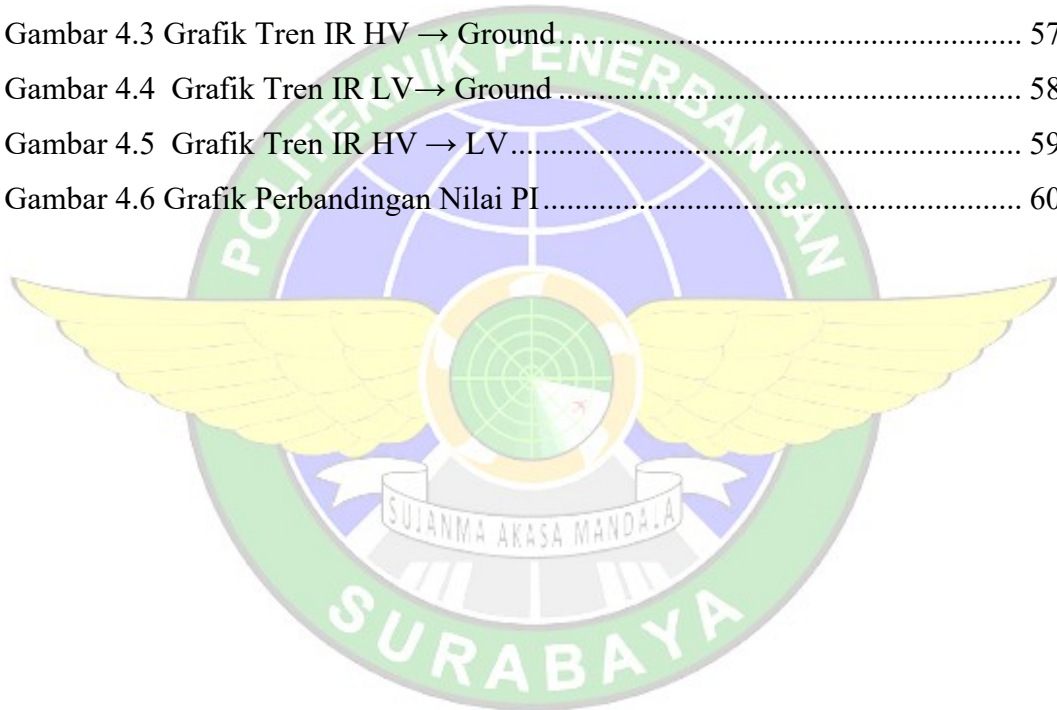
4.9 Tindakan Perbaikan dan Rekomendasi	63
4.9.1 Tindakan Korektif.....	63
4.9.2 Tindakan <i>Preventif</i>	63
4.9.3 <i>Maintenance</i> Harian, Mingguan, Bulanan	63
4.9.4 Pemantauan Berkala.....	64
4.9.5 Usulan Perbaikan SOP	64
BAB V PENUTUP.....	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.1.1 Kesimpulan Permasalahan	65
5.1.2 Kesimpulan Pelaksanaan <i>On The Job Training</i>	65
5.2 Saran.....	66
5.2.1 Saran Permasalahan	66
5.2.2 Saran Terhadap Pelaksanaan <i>On The Job Training</i>	67
DAFTAR PUSTAKA.....	68



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Organisasi.....	viii
Gambar 2.2 Struktur Organisasi Har. Listrik	6
Gambar 2.3 Cover Values BUMN.....	6
Gambar 2.4 Budaya 5S PT. PLN Nusantara Power.....	7
Gambar 2.5 Permit To Work.....	9
Gambar 2.6 Work Order	10
Gambar 2.7 Instruksi Kerja.....	11
Gambar 2.8 Pelindung wajah dan mata.....	12
Gambar 2.9 Alat Pelindung Kepala	12
Gambar 2.10 Sepatu Safety.....	12
Gambar 2.11 Pelindung Telinga	13
Gambar 2.12 Perlindungan Pernafasan	13
Gambar 2.13 Sarung Tangan.....	13
Gambar 2.14 Pakaian Kerja	14
 Gambar 3.1 Diagram Alur PLTU Paiton Unit 1 dan 2	 15
Gambar 3.2 Diagram Siklus Uap dan Air PLTU	17
Gambar 3.3 Siklus udara Pembakaran	20
Gambar 3.4 Diagram Siklus Pembuangan	21
Gambar 3.5 Diagram Siklus Bahan Bakar	22
Gambar 3.6 Prinsip Kerja Transformator.....	24
Gambar 3.7 Generator Transformer	25
Gambar 3.8 Station service Transformer	25
Gambar 3.9 Unit Auxilary Transformer.....	26
Gambar 3.10 Inti Besi Trafo	26
Gambar 3.11 Kumparan Trafo	27
Gambar 3.12 Ilustrasi minyak di dalam Trafo	28
Gambar 3.13 Bushing Trafo.....	29
Gambar 3.14Tangki dan Konservator trafo	30
Gambar 3.15 Tap changer trafo	31

Gambar 3.16 Neutral grounding resistor trafo	31
Gambar 3.17 Dehydrating Brether Trafo	32
Gambar 3.18 Indikator Suhu Minyak.....	33
Gambar 3.19 Indikator Level Minyak.....	34
Gambar 3.20 Diagram Listrik PT PLN NP UP Paiton unit 1 & 2	35
Gambar 3.21 Trafo eksitasi	40
Gambar 3.22 Spesifikasi Trafo Eksitasi.....	41
Gambar 4.1 Fan Trafo eksitasi.....	48
Gambar 4.2 Perawatan Trafo eksitasi	50
Gambar 4.3 Grafik Tren IR HV → Ground.....	57
Gambar 4.4 Grafik Tren IR LV→ Ground	58
Gambar 4.5 Grafik Tren IR HV → LV.....	59
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Nilai PI.....	60



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Deskripsi Perusahaan	4
Tabel 4.1 Pengukuran IR.....	54
Tabel 4.2 Pengukuran PI.....	54
Tabel 4.3 Standar IEEE.....	56
Tabel 4.4 Pengujian Thyristor.....	61



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan era industri 4.0 telah mendorong peningkatan kebutuhan energi listrik sebagai penopang utama aktivitas industri, transportasi, dan kehidupan masyarakat modern. Indonesia sebagai negara kepulauan dengan jumlah pulau yang besar membutuhkan sistem penyediaan energi listrik yang andal dan berkelanjutan untuk menjaga stabilitas pembangunan nasional. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu tulang punggung sistem ketenagalistrikan nasional karena mampu menghasilkan daya dalam kapasitas besar dan beroperasi secara kontinyu untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut.

Dalam mendukung kebutuhan sumber daya manusia yang kompeten di bidang ketenagalistrikan, pemerintah melalui lembaga pendidikan vokasi menyelenggarakan program pendidikan yang berorientasi pada keterampilan praktis dan kesiapan kerja. Politeknik Penerbangan Surabaya, khususnya Program Studi Teknik Listrik Bandara, mewajibkan taruna untuk melaksanakan *On The Job Training* (OJT) sebagai bagian dari kurikulum. Kegiatan OJT di PLTU Paiton Unit 1 & 2 memberikan kesempatan bagi taruna untuk memahami secara langsung sistem pembangkitan listrik, pengoperasian peralatan utama, serta penerapan pemeliharaan guna meningkatkan kompetensi teknis dan profesionalisme di bidang kelistrikan.

Selama pelaksanaan *On The Job Training* (OJT) di PT PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 1 & 2, terdapat sebuah permasalahan operasional pada pemeliharaan trafo eksitasi, khususnya kerusakan fan yang disebabkan oleh penumpukan debu. Kondisi ini dapat mengganggu proses pelepasan panas, menurunkan keandalan kerja transformator eksitasi, serta berpotensi menimbulkan gangguan pada sistem eksitasi generator. Berdasarkan pengamatan secara langsung, pemilihan topik “Pemeliharaan Trafo Eksitasi Generator untuk Mencegah Terulangnya Kerusakan Fan Akibat Penumpukan Debu” sebagai fokus pembahasan, dengan tujuan untuk menganalisis penyebab

gangguan, mengevaluasi metode pemeliharaan yang telah diterapkan, serta merumuskan langkah perbaikan yang lebih efektif guna meningkatkan keandalan dan kontinuitas operasi unit pembangkit.

Politeknik Penerbangan Surabaya melalui Program Studi Teknik Listrik Bandara membekali taruna dengan kompetensi pengoperasian, pemeliharaan, dan analisis sistem kelistrikan bandar udara untuk menjamin kontinuitas catu daya demi keselamatan dan keamanan penerbangan, sehingga taruna wajib melaksanakan *On The Job Training* (OJT) sebagai penerapan ilmu di lapangan. Salah satu bentuk penerapan tersebut adalah keterlibatan dalam penanganan gangguan pada trafo eksitasi akibat kerusakan *fan* di PLTU Paiton. Upaya pencegahan gangguan serupa dapat dilakukan melalui meningkatkan perawatan atau *maintenance* secara berkala agar trafo dapat bekerja secara maksimal serta memastikan pentingnya pembersihan filter agar debu dapat tersaring dengan sempurna, sehingga aliran udara pendingin tetap optimal dan risiko kerusakan fan maupun *overheating* pada trafo dapat diminimalkan secara signifikan.

1.2 Maksud dan Tujuan *On The Job Training* (OJT)

Maksud dan manfaat *On The Job Training* di Politeknik Penerbangan Surabaya adalah sebagai berikut :

- a. Agar para taruna mampu memahami, memantapkan, dan mengembangkan pelajaran yang didapat dan menerapkannya di dunia kerja sebagai Teknisi Listrik Bandar Udara.
- b. Menyiapkan dan menyesuaikan diri dalam menghadapi lingkungan kerja.
- c. Menerapkan teori dan keterampilan kerja atau praktek yang telah diperoleh dari Pendidikan.
- d. Membina hubungan kerja sama yang baik antara pihak Politeknik Penerbangan Surabaya dengan perusahaan atau Lembaga instansi lainnya.

BAB II

PROFIL LOKASI OJT

2.1 Sejarah Singkat PT. PLN Nusantara Power UP Paiton 1 & 2

PLTU Paiton Unit 1 dan 2 merupakan bagian dari pembangunan tahap awal kompleks PLTU Paiton. Unit 1 beroperasi pada tahun 1993, disusul Unit 2 pada 1994, dengan peresmian keseluruhan kompleks dilakukan pada 1999 setelah tahap kedua selesai. Proyek ini merupakan hasil kerja sama antara PT PLN (Persero) dengan beberapa mitra internasional seperti Mitsui & Co. Ltd., Tokyo *Electric Power Company*, dan International Power PLC. Kompleks PLTU Paiton berdiri di atas lahan sekitar 48 hektare di Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur, dan kini memiliki delapan unit pembangkit dengan kapasitas yang dikelola berbagai perusahaan. Unit 1 dan 2 masing-masing berkapasitas 400 MW sehingga total menghasilkan 800 MW.

Pengelolaan Unit 1 dan 2 awalnya berada di bawah PT PJB (Pembangkitan Jawa-Bali), anak perusahaan PLN yang berdiri pada 1995 sebagai bagian dari restrukturisasi sektor ketenagalistrikan nasional. Sejak 22 September 2022, PJB resmi melakukan rebranding menjadi PT PLN Nusantara Power (PLN NP) dan Unit Paiton kini menjadi salah satu unit pembangkitan utamanya. PLN NP mengelola pembangkit listrik dengan standar internasional melalui sistem manajemen aset, manajemen risiko, K3, hingga tata kelola perusahaan yang baik.

Selain menghasilkan pasokan listrik utama untuk sistem Jawa-Madura- Bali, Paiton Unit 1 dan 2 juga menjadi pelopor implementasi *co-firing* biomassa sejak 2020. Program ini mencampurkan biomassa seperti serbuk kayu dengan batubara untuk menekan emisi. Hingga 2024, *co-firing* di Paiton telah mengurangi ratusan ribu ton emisi CO₂ serta menghasilkan energi hijau tambahan. Inovasi ini tidak hanya mendukung transisi energi bersih, tetapi juga membawa penghargaan Proper Emas dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan selama beberapa tahun berturut-turut.

Dengan kapasitas besar, sejarah panjang, dan komitmen pada inovasi ramah lingkungan, PLTU Paiton Unit 1 dan 2 di bawah pengelolaan PLN Nusantara Power menjadi salah satu tulang punggung ketenagalistrikan nasional sekaligus motor

penggerak transisi energi di Indonesia.

2.2 Deskripsi Perusahaan

Tabel 2.1 Deskripsi Perusahaan

Lokasi Proyek	Jl. Raya Surabaya-Situbondo No.Km.142, Area Sawah, Bhinor, Kec. Paiton, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur 67291
Koordinat Geografis	7°42'58.7"S dan 113°35'11.0"E
Perbatasan	1. Sebelah utara : Laut Jawa, Selat Madura 2. Sebelah timur : Kompleks PLTU Paiton Unit 1-8 3. Sebelah Selatan : Jalan Raya Probolinggo – Situbondo 4. Sebelah barat : Garis Pantai Lokasi Pembangunan
PLTU Luas Area	476 ha
Kapasitas	2 x 400 MW
Spesifikasi Bahan Bakar	Batu Bara Kalori Rendah
Kebutuhan Batu Bara	3.467.500 Ton/Tahun

2.3 Visi dan Misi Perusahaan

a. Visi

“Menjadi Perusahaan Pembangkitan yang Terdepan dan Terpercaya untuk Energi Berkelanjutan di Indonesia dan Pasar Global”

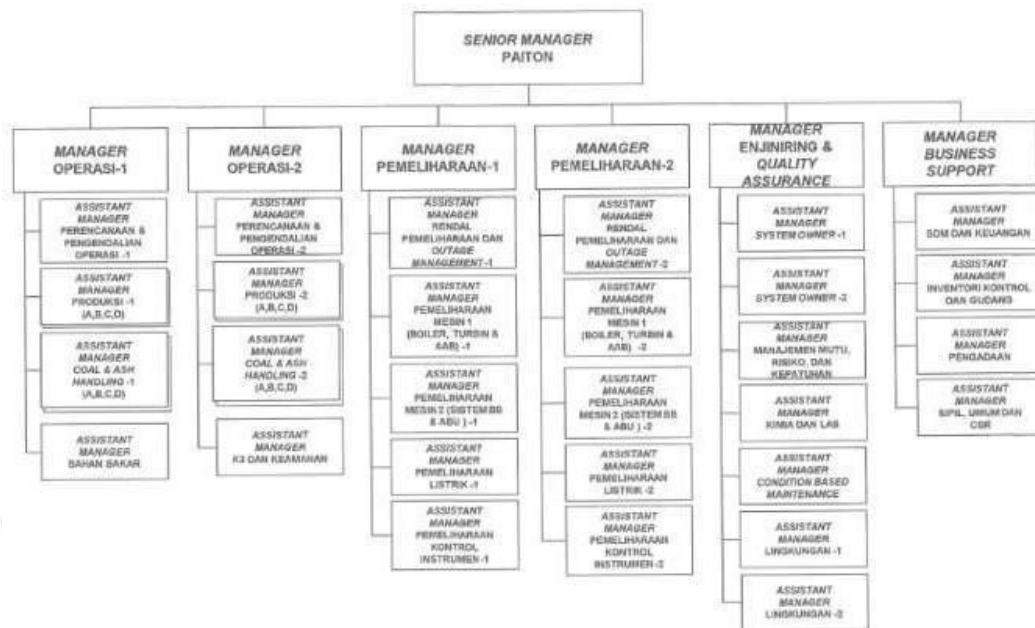
b. Misi

1. Menjaga Kinerja Pembangkit Listrik yang Unggul Sebagai Kompetensi Inti
2. Membangun Bisnis Inovatif yang terdepan untuk melakukan Diversifikasi dan Pertumbuhan yang Berkelanjutan
3. Mengakselerasi Portofolio Bisnis EBT Untuk Mendukung Tercapainya Nol Emisi Karbon

4. Mengakuisisi dan Membangun Talenta Terbaik Untuk Menjalankan Organisasi yang Responsif dan Ada.

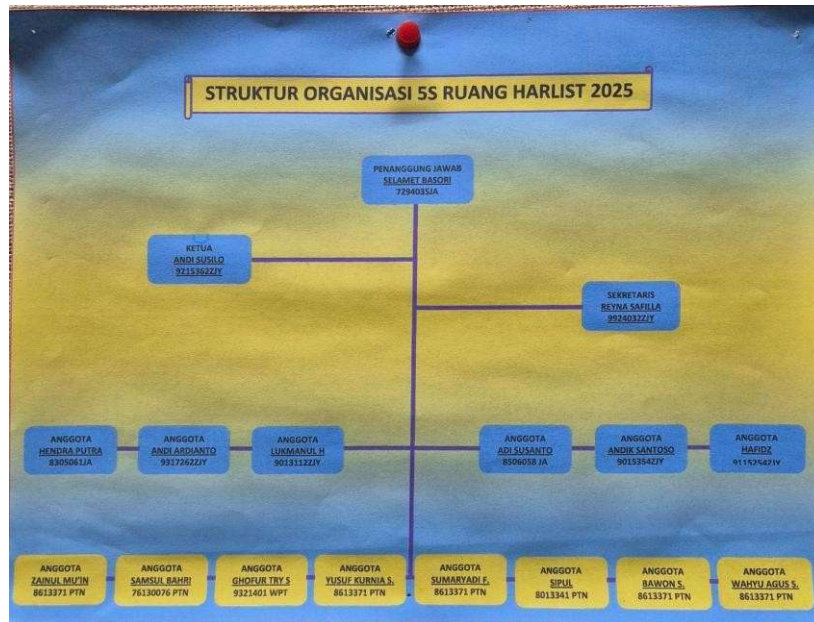
2.4 Struktur Organisasi

2.4.1 Struktur Organisasi PT. PLN NP UP Paiton Unit 1 & 2



Gambar 2. 1 Struktur Organisasi

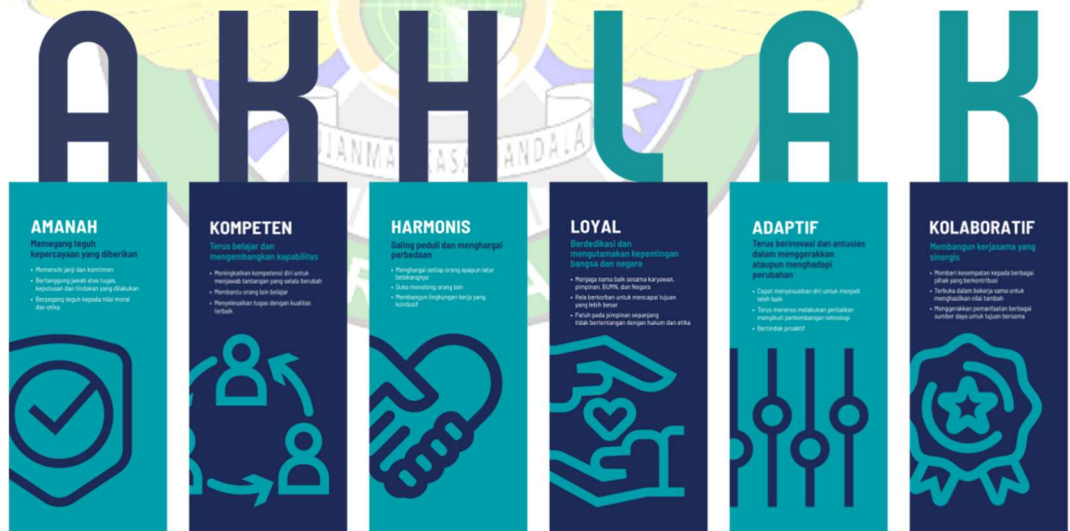
2.4.2 Struktur Organisasi Bagian Pemeliharaan Listrik Unit 1 & 2



Gambar 2.2 Struktur Organisasi Har. Listrik

2.5 Nilai Dasar dan Budaya Perusahaan

2.5.1 Nilai Dasar Perusahaan



Gambar 2.3 Cover Values BUMN

1. Amanah : Memegang teguh kepercayaan yang diberikan
2. Kompeten : Terus belajar dan mengembangkan kapabilitas

3. Harmonis : Saling peduli dan menghargai perbedaan
4. Loyal : Berdedikasi dan mengutamakan kepentingan Bangsa dan Negara
5. Adaptif : Terus berinovasi dan antusias dalam menggerakkan ataupun menghadapi perubahan
6. Kolaboratif : Membangun Kerjasama yang sinergis

2.5.2 Budaya Perusahaan



Gambar 2.4 Budaya 5S PT. PLN Nusantara Power

- a. Seiri (Ringkas) : Memisahkan barang sesuai prioritas
- b. Seiton (Rapi) : Menyimpan barang di tempat yang tepat
- c. Seiso (Resik) : Membersihkan area kerja, mesin, dan perlengkapan secara rutin
- d. Seiketsu (Rawat) : Memelihara fasilitas alat dan mesin secara teratur
- e. Shitsuke (Rajin) : Membiasakan bekerja sesuai prosedur secara disiplin

2.6 Kesehatan, Keselamatan Kerja (K3) dan Lingkungan Bagi Karyawan

Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) adalah upaya untuk membuat tempat kerja sehat dan aman sehingga lebih sedikit kecelakaan kerja dan penyakit yang disebabkan oleh kelalaian yang menyebabkan orang tidak termotivasi dan kurang produktivitas. Menurut UU Pokok Kesehatan RI No. 9 Th. 1960 Bab I Pasal II, Kesehatan Kerja adalah kondisi kesehatan yang bertujuan untuk memastikan masyarakat pekerja memperoleh derajat kesehatan setinggi mungkin, baik jasmani, rohani, maupun sosial, dengan usaha pencegahan dan pengobatan penyakit atau gangguan kesehatan yang disebabkan oleh pekerjaan dan lingkungan kerja mereka, serta penyakit umum.

Menurut Undang – Undang Keselamatan kerja No.1 tahun 1970, tujuan keselamatan kerja adalah untuk:

- a. Mencegah dan mengurangi dan memadamkan kebakaran.
- b. Mencegah dan mengurangi kecelakaan.
- c. Mencegah dan mengurangi bahaya peledakan.
- d. Memberikan keselamatan atau jalan menyelamatkan diri pada waktu kebakaran atau kejadian lain yang berbahaya.
- e. Memberikan pertolongan pada kecelakaan.
- f. Memberikan alat-alat perlindungan pada kecelakaan.
- g. Memberikan alat-alat perlindungan kepada para pekerja.
- h. Mencegah dan mengendalikan timbul dan menyebar luasnya suhu, kelembaban, debu, kotoran, asap, uap, gas, hembusan angin, cuaca, sinar atau radiasi, suara dan getaran.
- i. Mencegah dan mengendalikan timbulnya penyakit akibat kerja, baik fisik, psikis, peracunan, infeksi dan penularan.
- j. Memperoleh penerangan yang cukup sesuai.
- k. Menyelenggarakan suhu dan lembab udara yang baik.
- l. Memelihara kebersihan, kesehatan dan kertertiban.
- m. Memperoleh keserasian antara tenaga kerja, alat kerja, lingkungan, cara dan proses kerjanya.
- n. Mengamankan dan memperlancar pengangkutan orang, binatang, tanaman atau barang.

- o. Mencegah sengatan aliran listrik yang berbahaya.
- p. Menyelesaikan dan menyempurnakan pengamanan pada pekerjaan yang kecelakaannya menjadi bertambah tinggi.

2.7 Teknik Pekerjaan

Sebelum melakukan pekerjaan, pada PT. PLN NP UP Paiton memiliki peraturan yang harus dilaksanakan yaitu diantaranya:

1. *Permit to Work (PTW)*

Untuk memastikan bahwa pekerjaan dilakukan dengan aman dan efektif, sistem manajemen dikenal sebagai Persetujuan untuk Pekerjaan (PTW). Tujuan dari perizinan pekerjaan ini adalah untuk memastikan bahwa kondisi tempat pekerjaan sudah aman. Perizinan ini juga mengidentifikasi tahap awal bahaya dan tindakan pencegahan yang dilakukan oleh pekerja serta peralatan yang mereka gunakan.

PTN Nusantara Power		PT PEMBANGKITAN JAWA BALI PJB INTEGRATED MANAGEMENET SYSTEM		No. Dokumen : FMZ-08-2-3-21 Tgl Berlaku : 5 Jan 2015 Revisi : 0.1 Halaman : 1 dari 1
Work Order No : 00291295 / 001 Lokal Pekerjaan : PLANT AREA		Permit to Work No : PT028501 No Kunci :		Pekerjaan dengan banyak pihak : Y / N Specify When : ROS / TEST / LIVE
Nama Pekerjaan : Perbaikan Lampu Sampling Room#1 Mulai Pekerjaan : 01 February 2023 Akhir Pekerjaan : 08 February 2023				
Disahkan / Signed : <i>[Signature]</i> SPVS Produksi		Disahkan / Signed : <i>[Signature]</i> PTW Officer		Mengetahui : <i>[Signature]</i> Safety Officer (K3)
Tanggal : Waktu :				
KKS ID	Deskripsi	Metode Isolasi	Catatan	
	Koordinasi dgn operator sampling room MCB lampu	koordinasi off		
Di Isolasi Oleh : Waktu / Time : 09.08.13 Tanggal / Date : 09.08.13 Signed : <i>[Signature]</i>		Di Restorasi Oleh : Waktu / Time : 10.00 Tanggal / Date : 09.08.13 Signed : <i>[Signature]</i>		
Note by PTW Officer : PERBAIKAN LAMPU SAMPLING ROOM#1				
Diterima / Accepted : <i>[Signature]</i> Acceptor / SPV Maintenance		Nama / Name : <i>[Signature]</i> Perusahaan / Company : PT PLN N.P.		
CLEARANCE (disi/stempel oleh Maintenance setelah pekerjaan selesai) Pekerjaan telah selesai, selanjutnya untuk keadaan normal di area PT, PJB harus dituliskan :		CANCELLATION Izin In / Akses pembatalan dan tindakan telah diambil sehubungan dengan pengecualian dinyatakan di atas.		
Waktu / Time : Tanggal / : Disahkan / Signed :		Waktu / Time : Tanggal / : Disahkan / Signed :		
Waktu / Time : Tanggal / : Disahkan / Signed :		Waktu / Time : Tanggal / : Disahkan / Signed :		
1. Putih Untuk pelaksanaan Pekerjaan		2. Merah untuk pelaksanaan K3		3. Biru untuk PTW Officer

Gambar 2.5 *Permit To Work*

2. Work Order

Work Order adalah perintah kerja. Secara umum, *work order* adalah dokumen tertulis yang di dalamnya berisi perintah suatu pekerjaan dalam ruang lingkup internal maupun eksternal perusahaan pada pelaksana yang memang ditugaskan.

UNIT PEMBANGKITAN PAITON			
Surat Perintah Kerja			
00303638/001		Page : 1	
No. SPK/NO	: 00303638	No. Equipment	: P0077
Diterbitkan Oleh	: FAIZAL DWI FEBRIANTO	Nama	: POMPA KELONTONG A P000GAF10AP001
Tanggal	: 03 AUG 2023	Productive Unit	: PU PAITON OUTSIDE SUPPORTING PLANT
Jam Dilaporkan	: null	Lokasi	: KELONTONG (DESA)
		Kode Perkiraan	: APT122050000800
Ditujukan Ke	: PELEC	Deskripsi Umum Pekerjaan	: REGREASING MOTOR KLONTONG A
Tipe SPK/NO	: MAINTENANCE	Deskripsi Tambahan	:
Tipe Pemeliharaan	: PREDICTIVE MAINTENANCE		
Prioritas	: NORMAL (PRIORITY 1)		
Disetujui Oleh	: FAIZAL DWI FEBRIANTO	Petunjuk Pelaksanaan	:
Jadwal	: Start: 09 AUG 2023 Finish: 09 AUG 2023	Motor Operasi:	:
WG Pelaksanaan	: PELEC	1. Regreasing bearing motor. Tipe	:
Dilaksanakan Oleh	:	grease: Shell Gadus S3 T100 2. Quantity	:
Kelas Isolasi	: ISOLATION THAT COULD NOT DISTURB UNIT	grease: 100 gram	:
Safety Permit	: SAFETY OPERATION PERMIT (IJIN KERJA OPS. SAFETY)		
No. Task	: 001/001		
Deskripsi Task	: REGREASING MOTOR KLONTONG		
Tenaga Kerja	Jumlah	Lama Kerja	
LISTRIK SENIOR TEKNIK	01	1.00	
LISTRIK JUNIOR TEKNIK	01	1.00	
WORKING PERMIT / SAFETY PERMIT			
Pemintaan	: 1 / 2 / 3 / 4	Safety Permit	:
Diminta Oleh	:	Disetujui	: E Safety
Tanggal / Jam	:	Tanggal / Jam	:
Pelaksana Isolasi	: Produksi A / B / C / D		
Izin Kerja Oleh	: E Produksi A / B / C / D		
Tanggal / Jam	:		
Diuji Oleh	: - Produksi A / B / C / D	Release Isolasi	:
Pelaksana	: - Kinerja	Diminta Oleh	:
		Tanggal/Jam	:
		Pelaksana	: E Produksi A / B / C / D
Tanggal / Jam	:	Tanggal / Jam	: 09-08-2023
Hasil	:	Diperiksa	: E Produksi A / B / C / D
Diuji	: E Produksi A / B / C / D		
	: E Kinerja		
SPK/NO Ditutup	:		
Tanggal / Jam	:		
[] Shutdown: Start Tanggal /	:	Repair: Start Tanggal /	: 09-08-2023 / 09.00
Stop Tanggal /	:	Stop Tanggal /	: 09-08-2023 / 10.00
Pekerjaan Selesai		Pelaksana Pekerjaan	
Tanggal	: 09-08-2023	Hendro	
Lama Pekerjaan	: 1.00 jam	Reyna	
Jumlah Tenaga	: 2 orang		
Material	: grease		
Aktual Kerusakan Yang Terjadi	: rutin PM	Penyebab Kerusakan	: rutin PM
		Pekerjaan Yang Dilakukan	: regreasing

Gambar 2.6 *Work Order*

3. Instruksi Kerja (IK)

Instruksi Kerja (IK) adalah sekumpulan langkah yang dilakukan seseorang untuk menyelesaikan pekerjaan secara aman dan lengkap. IK mendampingi Standar Operasi Prosedur (SOP), yang menjelaskan secara rinci langkah

instruksional yang ada dalam kegiatan SOP, dan hanya mencakup satu unit kerja.

INSTRUKSI KERJA (IK)
PJB-IMS 2.0

PENGOPERASIAN ESP

NO. DOKUMEN : IKPT-001-14.2.1.8.g-048
TANGGAL DITETAPKAN : 01/06/2004
TANGGAL DIPERBARUI : 12/11/2021
REVISI : 05

Disusun,	Disetujui,	Disahkan,
SPV S Produksi B	Manager Unit	General Manager Unit

F Detail Aktivitas (Persiapan, Pelaksanaan dan Tindakan Akhir)

- **Perencanaan/ Persiapan:**
 - Pastikan semua ESP casing / man-hole sudah tertutup
 - Pastikan tidak ada kebocoran oli pada Gear-box Rapper Motor baik itu pada GDM, CRM dan ERM
 - Pastikan High-Voltage Transformator di atas ESP casing dalam kondisi aman (ESP casing tertutup rapat) serta tidak ada genangan air yang disebabkan Fire Protection yang aktif, saluran sanitasi yang tersumbat, disab.
 - Pastikan Ground and Disconnecting Switch (tergabung dengan HV Transformator) sudah masuk / terhubung pada jalur DE (Discharge Electrode), bukan pada jalur Ground.
 - Pastikan tidak ada sinyal MFT (Main Fuel Trip) atau Boiler Trip di CCR (Unit tidak trip / shutdown) atau Unit dalam kondisi Coal Firing bukan HSD Oil Firing.
 - Pastikan Breaker ESP dalam kondisi ON atau sudah masuk (rack-in)
 - Pastikan Main Circuit Breaker (train A dan B) pada posisi ON di ESP Control Room
 - Pastikan Switch-Gear Room Ventilator (Fan) running ketika memposisikan ON breaker dari PPTR. (Percipitator) Switch-Gear Ventilation (nVUIICA & nVUIICB).
 - Pastikan Breaker pada Central Control Unit (nPL15J dan nPL28J) pada posisi ON
 - Pastikan Breaker pada Rapper Control Panel (nPL27J dan nPL29J) pada posisi ON
 - Pastikan pada modul ESP Controller EPIC III (nPE08EX dengan X = 1-16) dalam kondisi berikut ini:
 - Main Breaker dalam posisi ON dan tombol-lampu OFF menyala (warna hijau)
 - Posisikan selector pada posisi AUTO
 - Tidak ada tombol-lampu ALARM RESET (warna orange) yang menyala
 - Tidak ada lampu TRIP (warna kuning) yang menyala
 - Pastikan semua display (seven-segment) dalam kondisi baik (menyala / menunjuk angka)
 - Primary / Secondary Current yang terbaca pada display menunjuk nol
 - Pastikan / posisikan OFF, semua selector pada Control Panel berikut ini :

Gambar 2.7 Instruksi Kerja

4. Menggunakan Alat Pelindung Diri

Alat pelindung diri adalah alat yang mempunyai kemampuan untuk melindungi seseorang dalam bekerja yang fungsinya untuk mengisolasi tubuh tenaga kerja dari bahaya di tempat kerja. Alat pelindung yang dipakai oleh tenaga kerja secara langsung untuk mencegah sebuah kecelakaan yang disebabkan oleh berbagai faktor yang ada atau timbul di lingkungan kerja.

a. Perlindungan Personal

1) Perlindungan Mata dan Muka

Untuk melindungi muka dan mata dari loncatan bunga api, loncatan benda-benda kerja, percikan bahan kimia dan sinar yang bersifat keras.



Gambar 2.8 Pelindung wajah dan mata

2) Topi Pelindung atau Helm

Untuk melindungi kepala terhadap bahaya listrik, mekanik, kimia, panas dan lain lain.



Gambar 2.9 Alat Pelindung Kepala

3) Sepatu *Safety*

Untuk melindungi kaki terhadap bahaya listrik, mekanis, panas dan lain-lain.



Gambar 2.10 Sepatu *Safety*

4) Pelindung Telinga

Untuk melindungi pendengaran petugas dari suara keras yang melampaui batas kekuatan pendengaran.



Gambar 2.11 Pelindung Telinga

5) Perlindungan Pernapasan

Untuk melindungi alat pernafasan petugas (kerongkongan, paru-paru dan lain-lain) terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh debu, serbuk-serbuk cat, gas beracun lainnya.



Gambar 2.12 Perlindungan Pernafasan

6) Sarung tangan dan Sarung Lengan

Untuk melindungi tangan dan lengan terhadap bahaya listrik, mekanik, kimia, panas dan lain-lain.



Gambar 2.13 Sarung Tangan

7) Pakaian Kerja

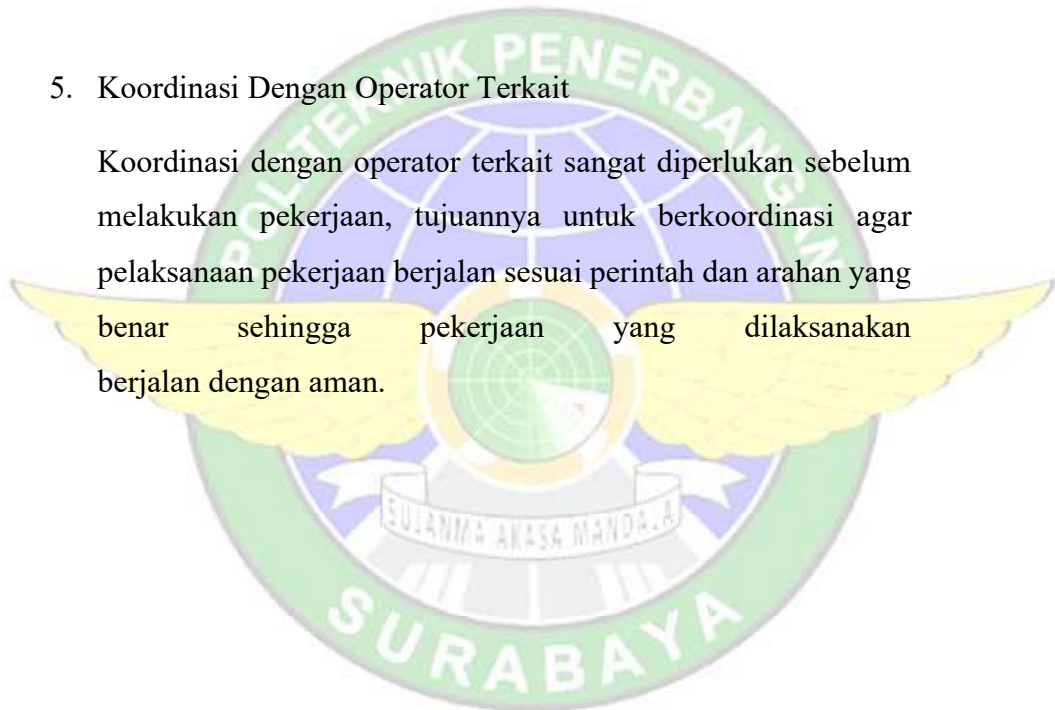
Untuk melindungi bahan terhadap bahaya listrik, mekanik, kimia panas dan lain-lain.



Gambar 2.14 Pakaian Kerja

5. Koordinasi Dengan Operator Terkait

Koordinasi dengan operator terkait sangat diperlukan sebelum melakukan pekerjaan, tujuannya untuk berkoordinasi agar pelaksanaan pekerjaan berjalan sesuai perintah dan arahan yang benar sehingga pekerjaan yang dilaksanakan berjalan dengan aman.

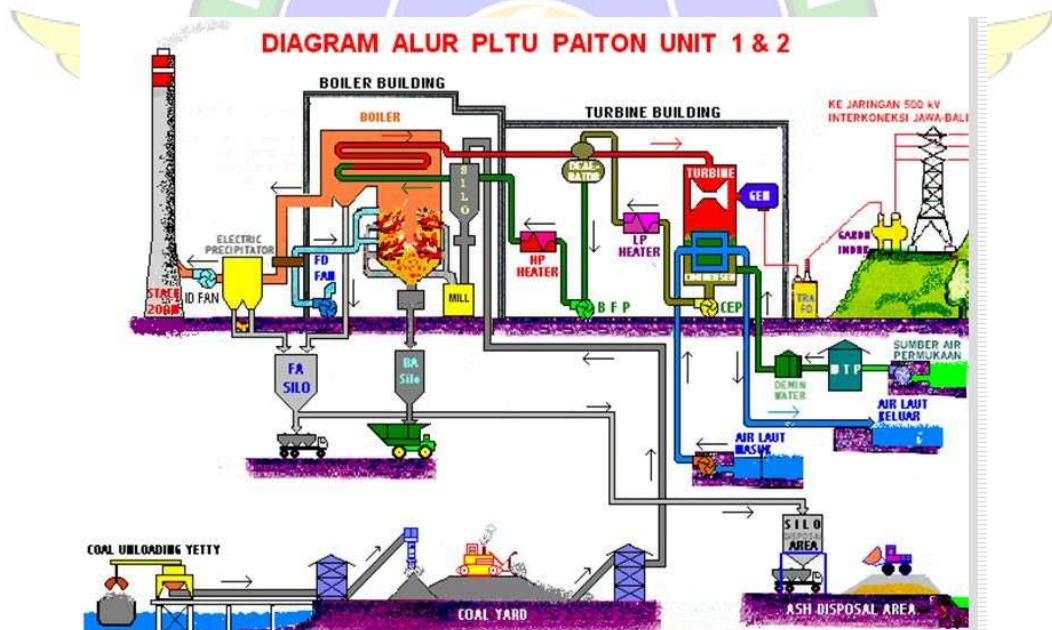


BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Prinsip Kerja PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan sarana pembangkit listrik termal yang mengonversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi listrik melalui tahap pemanasan air hingga menjadi uap, penggunaan uap untuk memutar turbin, dan transformasi tenaga mekanik dari turbin menjadi listrik oleh generator. PLTU Paiton Unit 1 & 2 merupakan sebuah unit pembangkit listrik berbahan bakar batu bara yang terletak di kompleks Paiton dan juga menerapkan metode co-firing (misalnya, biomassa berbentuk serbuk kayu). Unit ini dilengkapi dengan sistem kelistrikan, boiler, turbin, kondensor, serta sistem kontrol yang dirancang untuk operasional berskala besar dan memastikan keberlangsungan pasokan listrik (Pembangkit et al., 2021).



Gambar 3.1 Diagram Alur PLTU Paiton Unit 1 dan 2

Prinsip operasional dari PLTU Paiton mengikuti prinsip pembangkit listrik tenaga batu bara yang konvensional: batu bara dibakar dalam boiler untuk memproduksi gas panas yang memanaskan air hingga menjadi uap dengan tekanan

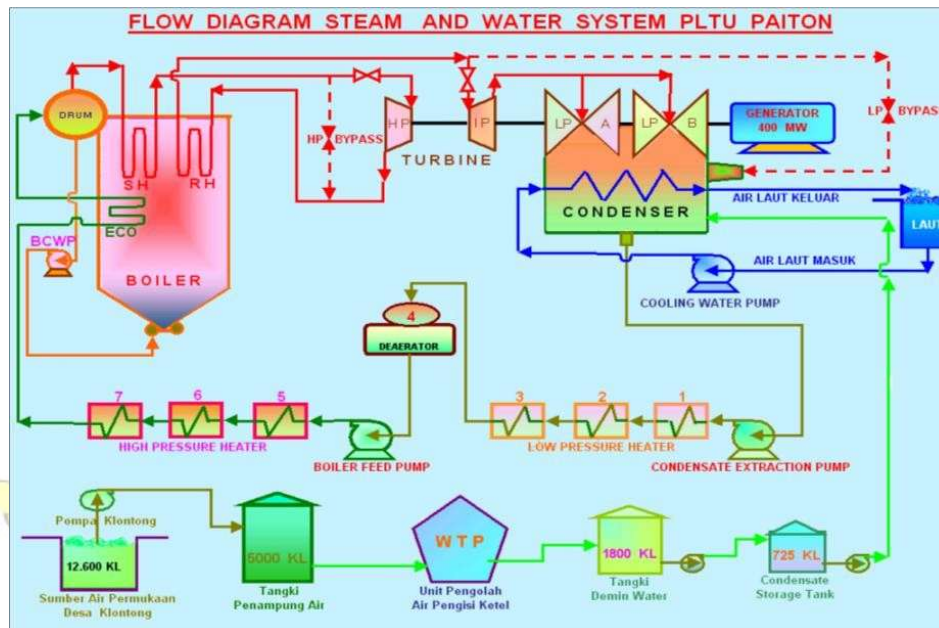
tinggi; uap ini diarahkan ke turbin (di kompleks Paiton, turbin yang digunakan memiliki konfigurasi reheating dan staging untuk mendapatkan efisiensi yang maksimal) sehingga pengembangan uap menghasilkan energi mekanik pada rotor turbin; rotor ini kemudian memutar generator untuk menciptakan listrik; sisa uap dikondensasikan kembali menjadi air dan dipompa kembali ke boiler. Berbagai komponen seperti *economizer*, *reheater*, serta sistem pengolahan air umpan diterapkan untuk meningkatkan efisiensi dan mempertahankan kehandalan operasi unit.

Secara termodinamika, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton beroperasi menggunakan Siklus Rankine, yang terdiri dari empat tahap esensial: pengisian cairan melalui pompa, pemanasan serta penguapan dalam boiler, ekspansi uap di turbin (termasuk proses reheating untuk meningkatkan efisiensi), dan proses kondensasi uap di kondensor (Zauhari et al., 2022). Ada penyesuaian praktis seperti reheater, regenerator untuk pemanas umpan, dan sistem kontrol emisi, seperti FGD untuk mengatasi SO_2 , guna meningkatkan efisiensi termal dan mematuhi peraturan lingkungan. Implementasi *co-firing* dan manajemen emisi di Paiton juga merupakan bagian dari pendekatan operasional terkini untuk mengurangi dampak lingkungan sambil tetap menjaga ketersediaan energi (Series & Science, 2021).

3.1.1 Siklus Air dan Uap.

Siklus air-uap di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) bergantung pada air sebagai media kerja yang harus memiliki karakteristik fisika (seperti densitas, titik didih, kapasitas panas) dan kualitas kimia tertentu. Unsur pengotor seperti zat padat terlarut, ion korosif (contohnya Cl^- , SO_4^{2-}), oksigen terlarut, dan bahan organik harus dijaga dengan ketat lantaran dapat menyebabkan korosi, pembentukan kerak, dan *carry-over* uap yang dapat merusak turbin dan pipa boiler. Oleh karena itu, air umpan (*feedwater*) perlu diolah (demineralisasi, *deaeration*, pengkondisian kimia) sebelum dimasukkan ke dalam boiler. Dalam siklus ini, air yang dipompa ke boiler diubah menjadi uap jenuh atau uap panas (*superheated*) yang kemudian meluas di turbin untuk menghasilkan tenaga; uap yang telah mengembang selanjutnya dikondensasi kembali menjadi air (kondensat) di kondensor, dan air kondensat yang relatif bersih diolah kembali sebagai make-up atau diregenerasi melalui sistem pemanasan kembalik (*feedwater heaters*) untuk menciptakan sirkulasi yang

tertutup. Kualitas uap (*steam quality*) dan kebersihan air di akhir siklus sangat memengaruhi keandalan serta efisiensi jangka panjang dari pembangkit. Pengelolaan kimia pada siklus air-uap (pemantauan online, pengendalian pH, oksigen, konduktivitas, serta penggunaan agen pengkondisi) dan teknologi pengolahan air modern terbukti krusial dalam mencegah kerusakan komponen dan mempertahankan performa PLTU (Marzouk, 2024).



Gambar 3.2 Diagram Siklus Uap dan Air PLTU

Berikut merupakan siklus air dan uap dari PLTU Paiton:

- Air dari sumber air Desa Kelontong dipompa menuju tangki penampungan air di PLTU. Air masih memiliki kandungan mineral sehingga harus dimurnikan.
- Air masuk ke *Water Treatment Plant* (WTP) untuk dimurnikan menjadi air demin dan disimpan di tangki air. Air kemudian dialirkan menuju kondensor,
- Air dari kondensor atau hotwell dipompa menggunakan *Condensate Extraction Pump* (CEP) menuju Deaerator melalui *Condensate Polisher Plant* (CPP) dan rangkaian *Low-Pressure Heater* (LPH). CPP berfungsi memurnikan kembali air kondensat sebelum masuk ke sistem pengisi boiler

dengan cara mengikat ion negatif dan positif menggunakan resin kation dan anion.

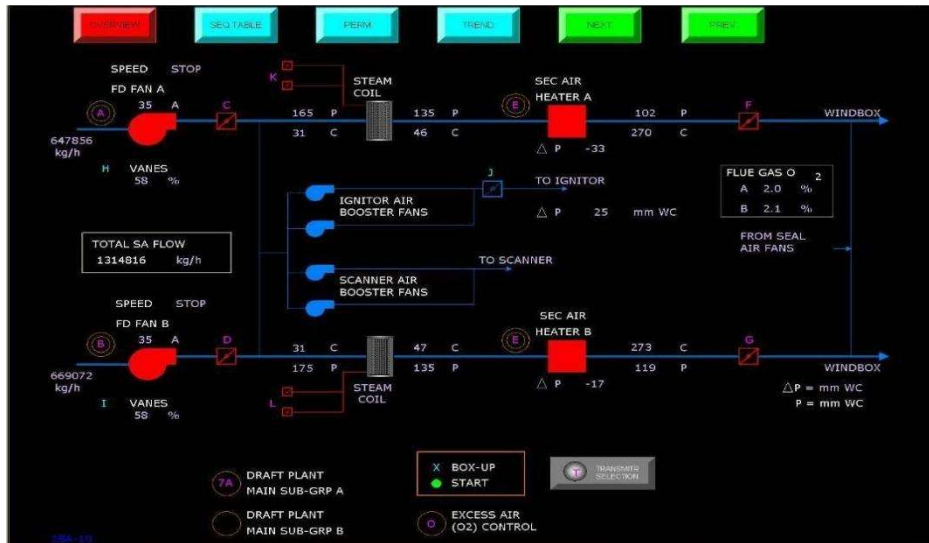
- d. Setelah melewati CPP, air kondensat dialirkan ke LPH 1, LPH 2, dan LPH 3, yang berfungsi sebagai pemanas awal bertekanan rendah. Pemanas ini menggunakan sebagian uap yang dihasilkan dari turbin tekanan rendah (*Low-Pressure Turbine*).
- e. Air yang telah dipanaskan kemudian masuk ke *Deaerator*, alat yang berfungsi menghilangkan oksigen terlarut dalam air. Proses ini dilakukan dengan menyemprotkan air dari atas dan memberikan uap dari bawah, sehingga udara terbuang ke atmosfer melalui ventilasi. Selain itu, dilakukan juga injeksi hydrazine di dalam *Deaerator*.
- f. Dari *Deaerator*, air dipompa menggunakan *Boiler Feed Pump* menuju Steam Drum melalui *High-Pressure Heater* (HPH) 5, 6, dan 7. HPH berfungsi sebagai pemanas lanjut bertekanan tinggi, dengan panas yang diperoleh dari sebagian uap pada turbin tekanan tinggi (*High-Pressure Turbine*).
- g. Setelah melalui HPH, air diarahkan ke *Economizer*, pemanas awal dalam boiler yang memanfaatkan panas dari gas buang (*Flue Gas*). Air kemudian masuk ke Steam Drum, tempat pemisahan antara air dan uap. Air yang turun dari Steam Drum akan dipompa oleh *Boiler Water Circulating Pump* (BWCP) menuju *Lower Header* dan dialirkan ke pipa-pipa *Wall Tube* untuk dipanaskan melalui proses radiasi, konduksi, dan konveksi. Siklus ini disebut siklus pendek.
- h. Di dalam *Steam Drum*, dilakukan injeksi Sodium Phosphate untuk mengatur pH air dan mencegah kerak, serta injeksi amonia (NH_3) untuk mengatur pH dan hydrazine (N_2H_4) untuk mengikat oksigen (O_2) terlarut dan mencegah korosi pada permukaan logam melalui pembentukan lapisan oksida magnetik.
- i. Sistem *Continuous Blow Down* di boiler berfungsi membuang kandungan silika jika kualitas air mencapai ambang batas tertentu.
- j. Uap basah (*Saturated Steam*) yang dihasilkan dialirkan ke *Primary Superheater* dan *Secondary Superheater* untuk dipanaskan menjadi uap

kering (*Superheated Steam*), yang kemudian digunakan untuk menggerakkan *High-Pressure Turbine*.

- k. Uap yang keluar dari *High-Pressure Turbine* dipanaskan kembali melalui Reheater untuk meningkatkan entalpi sebelum diarahkan ke *Intermediate Pressure Turbine* melalui *Control Reheat Valve*.
- l. Uap yang keluar dari IP Turbine di gunakan untuk *menggerakkan Low Pressure Turbine* (LP Turbine), yang terdiri atas LP-A dan LP-B Turbine.
- m. Uap yang keluar dari LP Turbin, masuk ke kondensor yang berada dalam kondisi vakum. Disini uap dikondensasikan menjadi air dengan menggunakan air laut sebagai media pendingin yang dipompa oleh *Circulating Water Pump* (CWP). Air hasil kondensasi ini kemudian disirkulasikan kembali secara terus menerus ke dalam sistem.

3.1.2 Siklus Udara

Siklus udara di PLTU Paiton Unit 1 & 2 dimulai dari udara ambien yang diisap dan didorong oleh rangkaian kipas pembakaran — yaitu *Forced Draft* (FD) fan, *Primary Air* (PA) fan, dan *Secondary Air* (SA) fan — melalui air *preheater* (APH) untuk dipanaskan sebelum masuk ke boiler; udara primer (PA) sebagian dialirkan ke pulverizer untuk mengangkut serbuk batubara ke *furnace*, sedangkan udara sekunder (didorong oleh FD/SA) memasok oksigen pembakaran pada berbagai titik pembakaran di *furnace*. Setelah pembakaran, gas buang melewati APH (memindahkan panas ke udara masuk), kemudian partikel padat ditangkap oleh *Electrostatic Precipitator* (ESP) atau filter, dan gas bersih ditarik oleh *Induced Draft* (ID) fan menuju cerobong untuk pelepasan ke atmosfer — keseluruhan aliran ini dirancang untuk menjaga tekanan boiler, stabilitas pembakaran, dan efisiensi termal unit



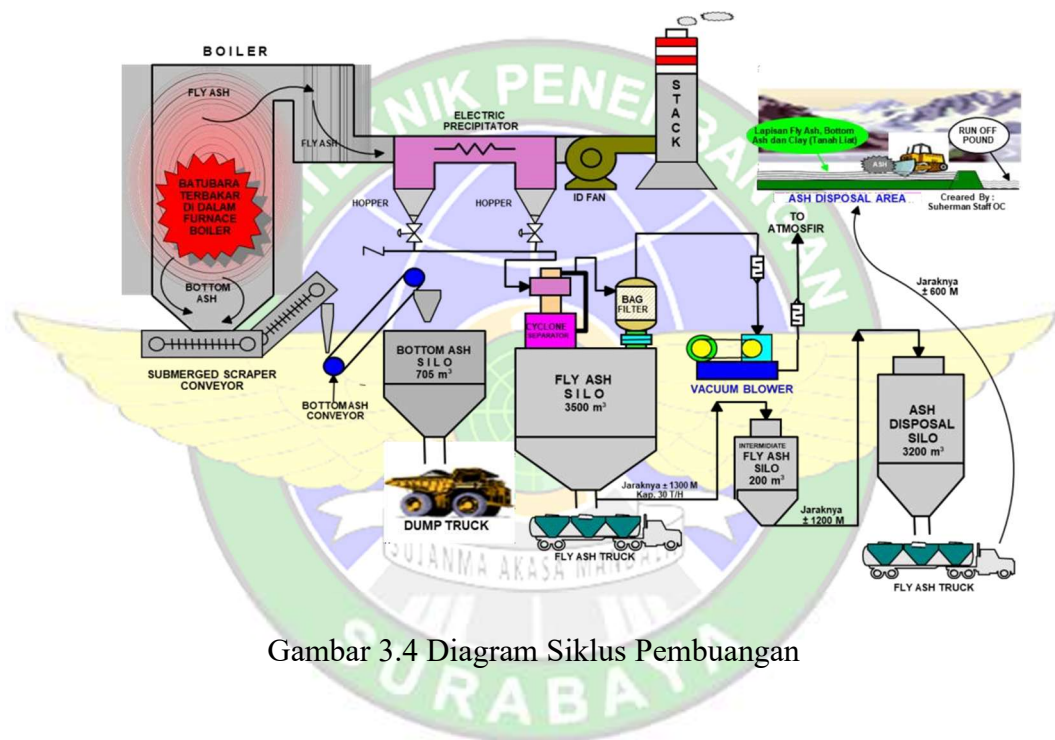
Gambar 3.3 Siklus udara Pembakaran

Secara operasional, kontrol suhu dan laju alir pada setiap jalur udara (PA/SA/FD) sangat krusial: APH bertindak sebagai penukar panas regeneratif yang meningkatkan suhu udara masuk sehingga memperbaiki efisiensi pembakaran dan mengurangi konsumsi bahan bakar, sementara kendali variabel pada kipas (mis. VFD) dan pengaturan damper menjaga tekanan furnace sedikit negatif untuk mencegah kebocoran dan mengoptimalkan transfer panas; pemantauan parameter seperti temperatur PA/SA, tekanan diferensial, dan kecepatan kipas diperlukan untuk mencegah masalah seperti *over/under-airing*, *carry-over abu*, atau penurunan efisiensi boiler. Praktik pengelolaan udara yang baik, termasuk perawatan APH dan proteksi kipas, berdampak langsung pada stabilitas operasi Paiton serta kepatuhan emisi (Java, 2024).

3.1.3 Siklus Pembuangan

Sistem pengelolaan abu pada pembangkit listrik berbahan bakar batubara adalah serangkaian perangkat dan prosedur yang dirancang untuk mengumpulkan, mengangkut, menyimpan, serta membuang residu hasil pembakaran seperti *fly ash* (partikel halus yang ditangkap oleh ESP atau filter) dan *bottom ash* (abu kasar yang berasal dari dasar boiler). Pengangkutan abu tersebut dapat dilakukan melalui metode hidrolis, pneumatik, atau mekanikal, bergantung pada karakteristik abu dan desain pembangkit, dengan tujuan untuk menghindari penumpukan abu di dalam boiler atau hopper, memastikan kelangsungan operasi, serta mendukung

penyimpanan atau penggunaan kembali abu. Dalam praktiknya, abu dikumpulkan dari lokasi-lokasi seperti ESP dan hopper boiler, lalu dipindahkan menggunakan konveyor, *submerged scraper conveyor*, selang hidrolik, atau pipa pneumatik menuju silo atau ash pond. Proses selanjutnya melibatkan pengolahan atau pengisian untuk pembuangan atau pemanfaatan ulang, sambil mengendalikan tekanan, aliran air pada sistem basah, serta melakukan pemantauan kondisi untuk menjamin keselamatan dan keandalan. Peningkatan sistem serta penerapan strategi pemeliharaan yang efektif terbukti dapat meningkatkan kinerja dan mengurangi dampak terhadap lingkungan (Makhraja et al., 2024).



Gambar 3.4 Diagram Siklus Pembuangan

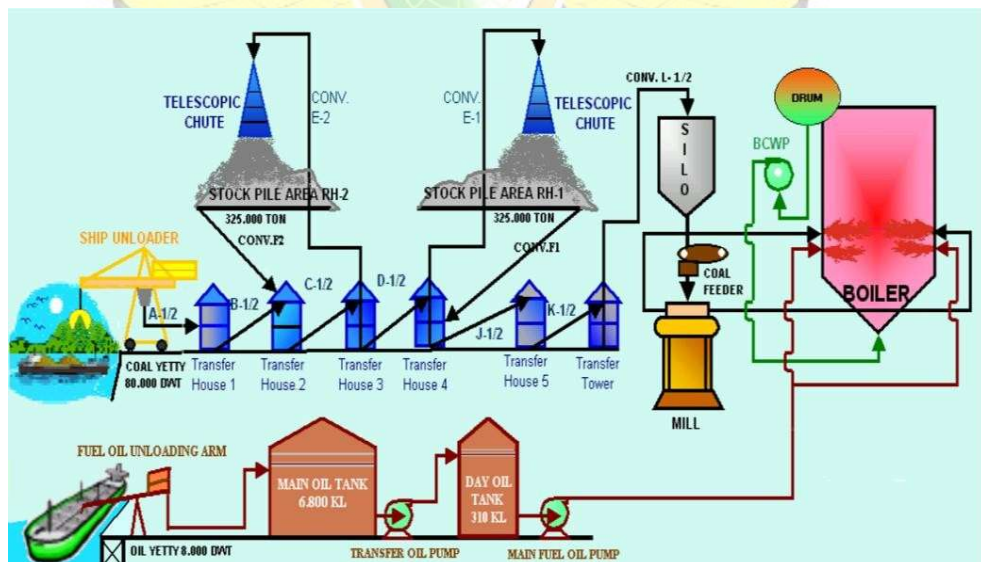
Untuk siklus pembuangan sebagai berikut:

- Pembakaran *furnace* menghasilkan 2 residu, yaitu *fly ash* dan *bottom ash*. *Fly ash* memiliki massa yang lebih ringan akan dialirkan melauai udara, sementara *bottom ash* mengendap pada bawah *furnace* karena massa yang lebih berat.
- Fly ash* akan melewati *ESP* untuk dipisahkan antar debu dan udara. Debu akan dipindahkan ke *Hopper* dan masuk ke silo, kemudian dimuat ke truk dan dibuang ke disposal area.
- Udara yang sudah dipisahkan dari debu akan ditarik oleh *ID Fans* dan dibuang melalui stack.

- d. *Bottom ash* dibawa melalui conveyor dan dibawa menuju silo. Dari silo dimuat menuju *dump truck* yang selanjutnya dibuang ke disposal area.

3.1.4 Siklus Bahan Bakar

Sistem penanganan bahan bakar (*Coal Handling System — CHS*) di PLTU Paiton Unit 1 dan 2 adalah serangkaian perangkat dan fasilitas yang bertugas untuk menerima, memindahkan, menyimpan, serta mensuplai batubara ke dalam boiler; secara umum, prosesnya dimulai dengan proses pembongkaran (ship unloader atau titik penerimaan), diikuti pemindahan menggunakan belt conveyor dan penghancur untuk mencapai ukuran yang seragam, penumpukan serta pengambilan kembali menggunakan *stacker/reclaimer* ke area penyimpanan batubara, menyimpannya di dalam coal bunker atau silo, kemudian mengatur aliran menggunakan *coal feeder* menuju *pulverizer* dan boiler—didampingi oleh sistem kontrol aliran (*set-point feeder*), pengendalian debu (*dust suppression*), serta perlindungan mekanis untuk mencegah terjadinya penyumbatan dan memastikan kelangsungan pengiriman bahan bakar; pengelolaan kualitas batubara (ukuran, kalori, kelembapan) dan monitoring operasional CHS sangat penting untuk menjaga kestabilan pembakaran serta kinerja unit (Desember et al., 2024).



Gambar 3.5 Diagram Siklus Bahan Bakar

Proses pemindahan batubara dibagi menjadi 3, yaitu:

- a. *Unloading System* pemindahan batubara dari kapal/ tongkang dengan menggunakan *Ship Unloader* menuju ke *Stock Pile (Coal Yard)*.
- b. *Loading System* pemindahan Batubara dari *Reclaim Hopper* ke *Stockpile* area menuju Silo.
- c. *Direct Unloading System* pemindahan batubara dari kapal tongkang menuju ke *Stock Pile* dan Silo. Dalam proses penimbunan batubara di gunakan alat berat Buldozer untuk meratakan batubara yang berada di *Stock Pile*. Dalam penimbunan batu bara diusahakan agar batu bara tetap dalam keadaan padat. Pemadatan batu bara dimaksudkan agar tidak ada rongga udara yang menyebabkan batu bara mudah terbakar. Sarana pemadatan batu bara di stock area menggunakan *dresser* dan *loader*.

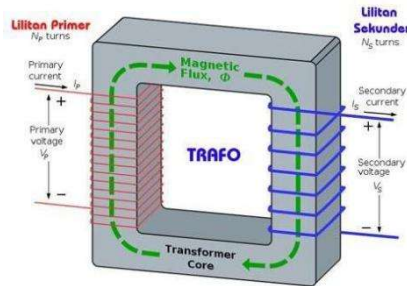
3.2 Transformator

3.2.1 Transformator Daya

Transformator daya merupakan alat listrik statis yang memainkan peran krusial dalam sistem kelistrikan. Fungsinya adalah untuk mengubah (menaikkan atau menurunkan) tingkat tegangan dan arus listrik antara dua atau lebih rangkaian listrik melalui prinsip induksi elektromagnetik, sehingga memungkinkan pengiriman energi listrik dalam jarak jauh dengan cara yang efisien dan aman. Alat ini tidak mempunyai bagian yang bergerak, melainkan terdiri dari inti magnet dan kumparan primer serta sekunder. Ketika arus bolak-balik (*AC*) mengalir melalui kumparan primer, fluks magnetik akan terbentuk di dalam inti, yang kemudian menginduksi tegangan di kumparan sekunder sehingga energi dapat dipindahkan tanpa adanya sambungan langsung. Dalam penerapan pada sistem kelistrikan, transformator daya berkontribusi terhadap stabilitas tegangan, distribusi energi, serta efisiensi jaringan; walaupun ada kerugian (peralatan inti dan tembaga), desain yang baik dan pemeliharaan yang tepat dapat menjaga tingkat efisiensi tetap tinggi serta menjamin keandalan dalam jangka waktu yang lama (Desember et al., 2023).

Secara sederhana transformator dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu lilitan primer, lilitan sekunder, dan inti besi. Lilitan primer merupakan bagian

transformator yang terhubung dengan rangkaian sumber energi (catu daya). Lilitan sekunder merupakan bagian transformator yang bertujuan untuk mengarahkan keseluruhan fluks magnet yang dihasilkan oleh lilitan primer agar masuk ke lilitan sekunder. Berikut adalah gambar sederhana dari sebuah transformator.



Gambar 3.6 Prinsip Kerja Transformator

Transformator merupakan salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik. Transformator ini berfungsi untuk mentransfer energi listrik di berbagai bagian rangkaian, mulai dari generator hingga rangkaian primer pada sistem distribusi. Transformator berperan sebagai penghubung utama dalam proses penyaluran energi listrik.

3.2.2 Jenis dan Fungsi Transformator

Berdasarkan tegangan operasinya dapat dibedakan menjadi transformator 500/18 kV disebut Generator Transformator/Main transformer (GT), transformator 150/10 kV disebut *Standby Service Transformer* (SST), transformator 18/10 kV disebut Unit *Auxilliary Transformer* (UAT) dan transformator 6300/400 V disebut PDC Transformer. Titik netral transformator ditanahkan sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan / proteksi, sebagai contoh transformator 500/18 kV dan 150/10 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 500 kV dan 150 kV sedangkan sisi netral 10 kV ditanahkan dengan tahanan rendah.

Berdasarkan penggunaannya, terdapat 3 jenis transformator daya yang digunakan pada sistem kelistrikan di PLTU Paiton, yaitu :

- Generator Transformer (GT) berfungsi untuk menyalurkan daya yang dibangkitkan generator menuju sistem jaringan.



Gambar 3.7 Generator Transformer

- b. *Station Service Transformer* (SST) berfungsi untuk menyalurkan dari sistem jaringan ke peralatan beban pembangkit.



Gambar 3.8 Station service Transformer

- c. *Unit Auxiliary Transformer* (UAT) berfungsi untuk menyalurkan tegangan yang dibangkitkan generator ke peralatan beban pembangkit.



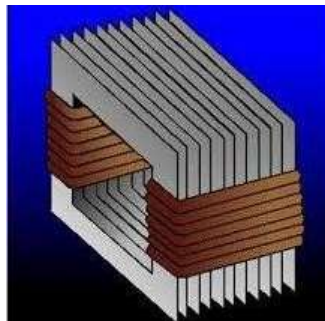
Gambar 3.9 Unit Auxiliary Transformer

3.2.3 Bagian-Bagian Transformator

Transformator terdiri atas beberapa bagian yang mempunyai fungsi masing-masing yaitu :

1. Inti Besi

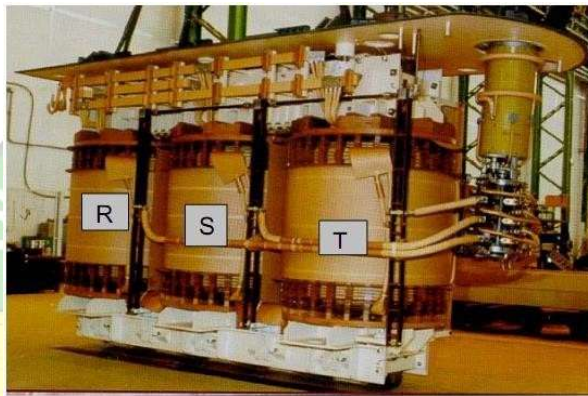
Inti transformator merupakan komponen kunci yang bertugas sebagai saluran aliran fluks magnet, yang menghubungkan medan magnet antara kumparan utama dan kumparan sekunder, agar induksi elektromagnetik dapat terjadi dengan baik. Biasanya, inti ini terbuat dari baja silikon yang dilaminasi, seperti CRGO (*Cold Rolled Grain Oriented*), untuk meminimalkan kerugian arus eddy serta histeresis, dengan tujuan meningkatkan efisiensi dan mengurangi panas serta suara yang dihasilkan oleh transformator (Magnetostriktion, 2024).



Gambar 3.10 Inti Besi Trafo

2. Kumparan Trafo

Kumparan transformator adalah gulungan kawat tembaga atau aluminium yang membelit inti untuk memindahkan energi listrik melalui induksi elektromagnetik. Isolasi antar lilitan berfungsi mencegah hubungan singkat dan menjaga kekuatan dielektrik, sementara desain dan bahan isolasi menentukan ketahanan terhadap suhu dan tegangan kerja; kerusakan umumnya dipicu degradasi isolasi atau kenaikan suhu lokal yang dapat memperpendek umur transformator, sehingga pemantauan suhu dan metode diagnosis diperlukan untuk mencegah kegagalan.

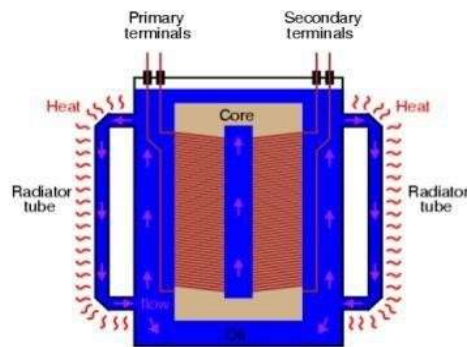


Gambar 3.11 Kumparan Trafo

3. Minyak Trafo

Minyak transformator (*mineral insulating oil*) berperan sebagai isolator listrik, *medium* untuk mendinginkan, dan peredam busur dalam transformator; kualitas minyak yang baik harus memiliki *voltage breakdown* yang tinggi, kadar air yang sangat minim, stabilitas terhadap oksidasi dan suhu yang memadai, viskositas atau titik cair yang sesuai untuk mengalir dalam rentang operasional, nilai keasaman (TAN) yang rendah, tegangan permukaan atau *interfacial tension* yang cukup, serta kadar gas terlarut yang terjaga — ketentuan teknis untuk minyak baru dan minyak daur ulang dicakup dalam IEC 60296:2020, sementara penelitian dan uji laboratorium menekankan pentingnya pengujian *breakdown voltage*, pengawasan kelembapan, dan pengujian sifat fisiko-kimia lainnya untuk memastikan keandalan isolasi dan daya tahan transformator

(Preview, 2020).



Gambar 3.12 Ilustrasi minyak di dalam Trafo

4. Bushing

Konektor bushing pada trafo berfungsi sebagai saluran yang terpisah, menghubungkan kumparan di dalam wadah ke sistem luar; selain memberi perlindungan isolasi listrik dan dukungan mekanis bagi konduktor keluaran, keadaan bushing (suhu, integritas isolasi, sambungan terminal) memberikan pengaruh langsung terhadap kinerja dan durabilitas kumparan, sebab suhu tinggi atau kerusakan isolasi pada bushing dapat merubah distribusi medan listrik, memicu *discharge* sebagian atau lonjakan yang merusak isolasi lilitan, serta sambungan yang tidak terpasang dengan baik atau panas berlebih pada bushing dapat menaikkan suhu titik panas pada kumparan yang mengakibatkan percepatan proses degradasi isolasi dan kegagalan lilitan — oleh karena itu, pengawasan suhu, pengujian isolasi, dan perawatan sambungan bushing sangat penting untuk melindungi kumparan dan mempertahankan keandalan trafo (Xia, 2024).



Gambar 3.13 Bushing Trafo

5. Tangki dan Konservator

Tangki transformator adalah sebuah wadah dari bahan baja yang menyimpan inti, gulungan, dan minyak isolasi, serta berperan sebagai pelindung mekanis sekaligus medium untuk pendinginan dan isolasi. Konservator adalah tangki tambahan yang dipasang di atas tangki utama untuk menampung ekspansi dan kontraksi volume minyak akibat perubahan suhu serta memastikan tekanan dan level minyak tetap dalam batas yang aman. Sementara itu, sistem *breather* (silika gel) yang terdapat pada konservator berfungsi untuk mencegah masuknya uap air dari luar yang dapat mencemari minyak. Keseluruhan konfigurasi ini berfungsi untuk menjaga kualitas isolasi, mengurangi kemungkinan terjadinya vakum atau tekanan berlebih, dan mempermudah pemantauan serta penggantian minyak jika diperlukan (Jin et al., 2022).



Gambar 3.14 Tangki dan Konservator trafo

6. *Tap Changer*

Pengubah lilitan pada transformator ialah alat yang secara bertahap mengubah rasio lilitan untuk mengontrol tegangan keluaran—tersedia dalam bentuk pengubah tap *off-load* (*OLTC off-load*) untuk penyesuaian saat transformator tidak berfungsi dan pengubah tap *on-load* (*OLTC on-load*) yang dapat beralih tap saat beban aktif dengan menggunakan kontak diverter atau komutator; OLTC memegang peranan penting dalam menjaga kualitas tegangan, tetapi memerlukan perhatian khusus karena fenomena seperti penghasilan busur, erosi pada kontak, dan lonjakan minyak saat perubahan tap dapat mempercepat risiko kegagalan jika tidak diawasi, sehingga penerapan praktik pemantauan kondisi modern (seperti getaran, suhu, analisis tekanan atau getaran minyak) dan desain terbaru (seperti pengubah tap solid-state atau elektronik dan pengendalian posisi tap yang optimal) banyak diteliti untuk meningkatkan keandalan serta mengurangi kebutuhan pemeliharaan (Li et al., 2024).



Gambar 3.15 Tap changer trafo

7. NGR (*Neutral Grounding Resistor*)

Neutral Grounding Resistor (NGR) adalah resistor yang dipasang antara titik netral transformator (atau generator) dan tanah untuk membatasi besar arus gangguan satu fasa ke tanah, sehingga mengurangi dampak termal dan mekanis pada peralatan serta menurunkan risiko busur dan kerusakan akibat arus hubung tanah tinggi; pemilihan nilai dan rating NGR harus berdasarkan perhitungan sistem untuk menahan energi gangguan, waktu operasi, dan koordinasi proteksi, serta dilengkapi monitoring/perlindungan untuk mendeteksi kegagalan NGR atau arus lebih, karena kegagalan NGR dapat menyebabkan blackout atau kerusakan peralatan (Devices, 2026).



Gambar 3.16 Neutral grounding resistor trafo

8. Alat Pernafasan (dehydrating brether).

Dehidrator breather (breather silikon gel) pada transformator berfungsi untuk menghalangi uap air agar tidak memasuki tangki dengan cara menyerap kelembapan dari udara yang masuk saat minyak mendingin dan tekanan menurun—itulah tugas utama dari perangkat ini—namun siklus beban transformator serta suhu udara di sekitarnya sangat berpengaruh terhadap kinerja dan masa pakai breather: fluktuasi beban menyebabkan siklus pemanasan dan penyusutan minyak (semakin besar ketika beban meningkat → minyak menjadi panas → terjadi ekspansi; saat beban menurun → terjadi pendinginan → udara lembap tertarik masuk), sehingga frekuensi dan volume "pernapasan" meningkat di kondisi beban yang tidak stabil dan mempercepat kejenuhan silica gel; di sisi lain, temperatur dan kelembapan lingkungan yang tinggi meningkatkan jumlah uap air yang masuk di setiap siklus dan menurunkan efisiensi serta waktu yang diperlukan untuk mengganti breather, sehingga penting untuk memantau kondisi breather (indikator warna silica gel, sensor kelembapan) dan menentukan ukuran/kapasitas breather yang tepat agar kualitas minyak dan masa pakai isolasi transformator dapat terjaga (Jakarta, 2023).



Gambar 3.17 Dehydrating Brether Trafo

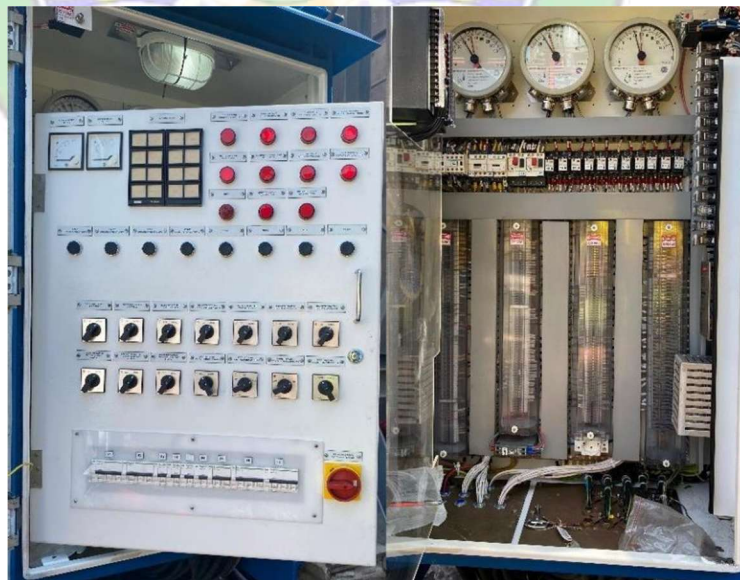
9. Indikator

Untuk mengawasi kinerja transformator selama beroperasi, diperlukan berbagai indikator yang memantau kondisi transformator secara real-time.

Indikator tersebut meliputi :

1. Indikator Suhu Minyak

Indikator suhu minyak pada transformator berfungsi untuk mengukur suhu minyak di bagian atas tangki yang menjadi salah satu patokan utama keadaan termal peralatan. Pembacaan ini sangat penting untuk mengevaluasi beban thermal, memperkirakan titik panas dalam lilitan, mengatur cara pendinginan (*ONAN/ONAF*), serta mengaktifkan alarm atau proteksi jika temperatur melebihi batas aman, karena kenaikan suhu dapat mempercepat proses penuaan isolasi dan memperpendek umur transformator. Alat ini biasanya memanfaatkan sensor RTD atau *thermistor*, atau sistem pemantauan jarak jauh yang terhubung dengan SCADA untuk pemantauan secara real-time dan keterkaitan dengan model termal/top-oil guna estimasi titik panas, sehingga mendukung pembuatan keputusan pemeliharaan yang berbasis pada kondisi nyata (Chen et al., 2023).



Gambar 3.18 Indikator Suhu Minyak

2. Indikator Level Minyak

Indikator tingkat minyak pada transformator merupakan alat, baik

mekanis maupun elektronik, yang mengawasi tinggi minyak dalam konservator atau tangki utama. Alat ini biasanya berupa gauge magnetik atau pelampung, sensor tekanan, atau sistem elektronik yang dapat dimonitor dari jarak jauh. Fungsinya mencakup identifikasi kebocoran, kebutuhan untuk menambah minyak, serta pengaktifan alarm atau proteksi jika tingkatnya berada di luar batas aman. Ketepatan dalam pengukuran tingkat minyak sangat krusial untuk menghindarkan kumparan dari paparan udara, yang dapat mengurangi kemungkinan oksidasi dan fenomena pelepasan sebagian. Alat ini juga penting untuk mempertahankan kemampuan pendinginan dan memperlancar otomatisasi pemeliharaan melalui sistem SCADA atau pemantauan secara daring (Zhu et al., 2024).



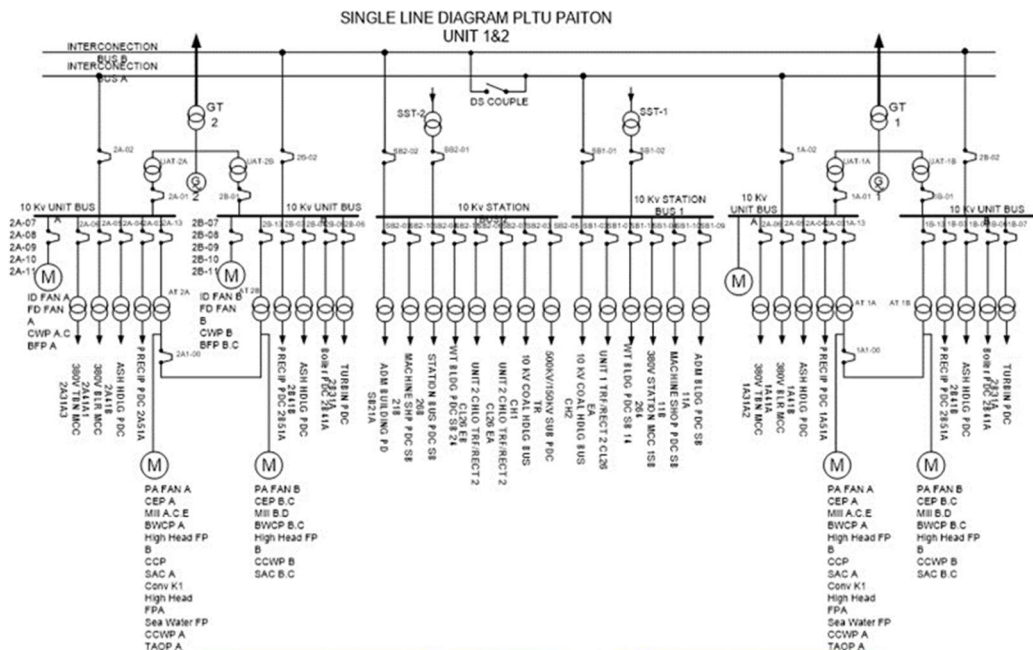
Gambar 3.19 Indikator Level Minyak

3. Indikator Kedudukan Tap

Indikator posisi tap pada transformator memberikan informasi langsung tentang lokasi *tap changer* kepada unit OLTC dan/atau ruang kontrol (melalui sinyal analog atau digital ke SCADA), sehingga memungkinkan operator untuk memantau serta mencatat perubahan rasio transformasi guna menjaga kualitas tegangan. Alat indikator ini bisa berupa mekanis (pointer angka) atau elektronik (transduser 4–20 mA / keluaran BCD) dan berfungsi penting dalam interlock, penyimpanan data historis, serta perlindungan dan kontrol otomatis. Oleh karena itu, pemasangan indikator yang terpercaya, terkalibrasi, dan terhubung dengan sistem pemantauan menjadi aspek krusial dalam spesifikasi dan pengoperasian transformator modern (Power & Power, n.d.).

3.3 Sistem Kelistrikan PLTU Paiton

PLTU Paiton unit 1 dan 2 memiliki kapasitas 2 x 400 MW yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik yang disuplai ke dalam grid Jawa Madura dan Bali serta untuk pemakaian sendiri di lingkungan unit pembangkit. Secara umum alur suplai tenaga listrik yang dibangkitkan PLTU Paiton Unit 1 dan 2 dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 3.20 Diagram Listrik PT PLN NP UP Paiton unit 1 & 2

1. Sistem Tegangan 18 kV

Sistem Tegangan 18 kV dihasilkan dari tegangan *output* generator unit 1 dan 2 yang disalurkan ke sistem tegangan 500 kV melalui generator transformer (GT, 18/500 kV, 470 MVA).

2. Sistem Tegangan 150 kV

Sistem Tegangan 150 kV diperoleh dari sumber PLN yang disalurkan melalui *Station Service Transformer* (SST 1 dan SST 2) masing-masing 150/10 kV, 60 MVA ke station bus SB 1 dan SB 2 untuk pemakaian unit pada waktu start dan juga untuk mensuplai *interconnection* bus A (dari SST 1) dan *interconnection* bus B (dari SST 2).

3. Sistem Tegangan 500kV

Tegangan 500 kV diperoleh dari tegangan *step up* dari tegangan yang dihasilkan oleh generator 18 kV ke 500 kV oleh GT Transformer yang selanjutnya akan disalurkan melalui SUTT 500 kV Krian 1 dan Krian 2 ke GITET Krian yang disalurkan melalui tie transformer (TT1 dan TT 2) masing-masing 500/150 kV, 500 MVA ke substation 500 kV.

4. Sistem Tegangan 10kV

Sistem tegangan 10 kV adalah sistem tegangan yang menyuplai beban-beban dengan level tegangan 10 kV. Beban-beban tersebut terhubung dengan bus 10 kV yaitu Unit Bus 1A, 1B, 2A, 2B, serta station Bus 1 dan 2. Unit bus disuplai oleh UAT sementara station bus disuplai oleh SST. Untuk menyuplai beban-beban 10 kV, bus-bus dihubungkan ke beban oleh switchgear 10 kV. Switchgear adalah suatu kombinasi dari peralatan-peralatan seperti *Disconnecting Switch* (DS), *Fuse* atau *Circuit Breaker* (CB) yang digunakan untuk keperluan kontrol, proteksi maupun isolasi terhadap peralatan-peralatan listrik lainnya.

5. Sistem Tegangan 3kV

Sistem tegangan 3 kV digunakan untuk menyuplai beban dengan level tegangan 3 kV. Busbar 3 kV disuplai oleh *Auxiliary Transformer* (AT) 1A, 1B, 2A, dan 2B. *Auxiliary Transformer* mengambil tegangan masukan dari busbar 10 kV yang kemudian diturunkan tegangannya menjadi 3 kV oleh *Auxiliary Transformer*. Busbar 3 kV dihubungkan ke beban oleh *Switchgear* 3 kV.

6. Sistem Tegangan 380kV

Sistem tegangan 380 V digunakan untuk menyuplai beban-beban dengan level tegangan 380 V. Bus 380 V 2 disuplai 2 oleh masing-masing trafo PDC 10 kV/380 V dan disalurkan melalui MCC– MCC untuk menyuplai peralatan bantu dengan level tegangan 380 V. *Power Distribution Control* (PDC) adalah suatu panel untuk mendistribusikan listrik ke peralatan-peralatan di unit pembangkit. Dalam housing PDC terdapat trafo yang berfungsi untuk menurunkan tegangan masukan, tegangan keluaran dari trafo ini kemudian digunakan untuk menyuplai peralatan-peralatan seperti MCC dan lain-lain.

Sedangkan *Motor Control Center* (MCC) adalah sebuah panel yang berisi peralatan – peralatan kontrol motor, biasanya berisi motor drive, PLC, motor starter metering dan lain–lain.

7. Sistem Tegangan 220 VDC

Sistem tegangan 220 VDC disuplai oleh station battery, sistem tegangan ini menyuplai peralatan–peralatan emergency, DCS dan UPS. Sebagai contoh : *Turbine Emergency Oil Pump, Generator Emergency Seal Oil Pump, DC Emergency Lighting, Distributed Control System* dan *Uninterruptible Power Supply* 25 (UPS) GUTOR. UPS adalah suatu peralatan listrik yang mampu memberikan suplai daya back- up/emergency kepada beban ketika sumber daya utama gagal. Kelebihan UPS dari peralatan listrik *emergency* lainnya adalah UPS mampu menyuplai daya kepada beban dalam waktu nyaris seketika (near instantaneous) atau tanpa interupsi ketika sumber utama gagal, sehingga peralatan terhindar dari kerusakan akibat interupsi/kedip saat pergantian suplai daya.

8. Sistem Tegangan 125 VDC

Sistem tegangan 125 VDC berasal dari station battery, yang digunakan untuk melayani 10 kV unit *switchgear*, 3 kV *switchgear*, semua kontrol panel, kontrol power untuk GT, UAT dan sebagainya.

3.4 Pemeliharaan Listrik

Pemeliharaan peralatan listrik merupakan serangkaian tindakan yang bertujuan untuk menjaga kondisi peralatan agar tetap berfungsi dengan baik, sekaligus mencegah terjadinya gangguan yang dapat menyebabkan kerusakan. Pemeliharaan ini dilakukan untuk memastikan kontinuitas penyaluran tenaga listrik serta meningkatkan keandalan sistem.

3.4.1 Jenis-Jenis Pemeliharaan

a. *Preverentive Maintenance (Time Base Maintenance)*

Preventive Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan cara memprediksi kondisi suatu peralatan listrik, apakah dan

kapankemungkinannya peralatan listrik tersebut menuju kegagalan. Dengan memprediksi kondisi tersebut dapat diketahui gejala kerusakan secara dini. Cara yang biasa dipakai adalah memonitor kondisi secara online baik pada saat peralatan beroperasi atau tidak beroperasi. Untuk ini diperlukan peralatan dan personil khusus untuk analisa. Pemeliharaan ini disebut juga pemeliharaan berdasarkan kondisi (*Condition Base Maintenance*). Dalam prakteknya *predictive maintenance* memerlukan special tools untuk memantau kondisi mesin secara online. Pada transformator bentuk dari Predictive maintenance antara lain pemeliharaan minyak transformator (*Dissolved Gas Analysis*), tes vibrasi, tes termografi, dan tes karakteristik arus motor, partial discharge online, tribology, kadar air hingga pengujian *Breakdown Voltage* (BDV).

b. *Predictive Maintenance (Conditional Maintenance)*

Predictive Maintenance adalah kegiatan pemeliharaan yang dilaksanakan untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan secara tiba-tiba dan untuk mempertahankan unjuk kerja peralatan yang optimum sesuai umur teknisnya. Kegiatan ini dilaksanakan secara berkala dengan berpedoman kepada : Instruction Manual dari pabrik, standar-standar yang ada (IEC, CIGRE, dll) dan pengalaman operasi di lapangan. Pemeliharaan ini disebut juga dengan pemeliharaan berdasarkan waktu (*Time Base Maintenance*). Secara umum kegiatan yang dilakukan saat *Preventive maintenance* tidak memerlukan special tools antara lain penggantian komponen yang aus, cleaning, dan pemeriksaan rutin. Adapun contoh *Preventive maintenance* pada sebuah transformator dilakukan dengan memonitor kondisi dan parameter transformator secara visual seperti pemeriksaan temperature minyak dan belitan, level minyak, silica gel, kebocoran minyak dan seterusnya.

c. *Corrective Maintenance*

Corrective Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan

secara terencana ketika peralatan listrik mengalami kelainan atau unjuk kerja rendah pada saat menjalankan fungsinya dengan tujuan untuk mengembalikan pada kondisi semula disertai perbaikan dan penyempurnaan instalasi. Pemeliharaan ini disebut juga *Curative Maintenance*, yang bisa berupa *Trouble Shooting* atau penggantian part/bagian yang rusak atau kurang berfungsi yang dilaksanakan dengan terencana. Adapun part yang seringkali mengalami kerusakan dan mengganggu operasi transformator seperti kerusakan pada bushing isolator, sambungan konduktor, kebocoran minyak, kerusakan motor *fan* pendingin, gangguan pada sistem kontrol pendingin dan juga beberapa kerusakan lainnya. Kerusakan yang paling dihindari pada transformator adalah kerusakan pada bagian utama transformator yaitu belitan dan inti besi.

d. *Periodic Maintenance*

Periodic Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan mendadak yang waktunya tidak tertentu dan sifatnya darurat. *Periodic maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan berdasarkan *time-based* atau waktu, dan dilaksanakan pada saat unit *shutdown*, baik pada saat major inspeksi, minor inspeksi maupun *shutdown* dikarenakan permintaan atau kondisi. *Periodic maintenance* yang biasanya dilakukan pada sebuah transformator antara lain membersihkan dan mengecek kondisi fan transformator, bushing, arrester, *electrical test*, pengukuran tahanan isolasi, pengukuran tan delta, pengukuran ratio test, pengukuran tahanan dc, HV Test, PD Offline, dan seterusnya.

3.5 Sistem Proteksi

Sistem Proteksi atau relay proteksi merupakan komponen yang berfungsi untuk mengamankan peralatan (*equipment*) sehingga dapat meminimalisir kerusakan saat terjadi gangguan (*fault*). Sistem proteksi pada dasarnya mampu mendeteksi gangguan dan mengatasinya sesegera mungkin. Contoh relay proteksi seperti relay

arus lebih, relay diferensial, relay daya balik, relay frekuensi, dll. Beberapa fungsi relay proteksi pada sistem tenaga listrik antara lain:

1. Mengurangi kerusakan peralatan-peralatan akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
2. Mempersempit daerah yang terjadi gangguan sehingga gangguan tidak melebar pada sistem yang lebih luas.
3. Mengamankan manusia yang ada pada daerah gangguan yang ditimbulkan oleh tenaga listrik.
4. Memberi sinyal alarm untuk melepas PMT dengan tujuan mengisolir gangguan atau kondisi yang tidak normal, seperti adanya beban lebih, tegangan rendah, kenaikan temperature dan lain sebagainya.
5. Meminimalisir kerusakan yang akan di timbulkan yang dapat berakibat fatal pada unit pembangkit.

3.6 Trafo Eksitasi

Trafo eksitasi merupakan komponen penting dalam sistem eksitasi generator di PLTU Paiton. Peran utamanya adalah menurunkan dan menyesuaikan tegangan dari sistem tenaga utama untuk memenuhi kebutuhan sistem eksitasi, sehingga generator dapat menghasilkan medan magnet yang stabil pada rotor. Medan magnet ini sangat diperlukan agar generator mampu menghasilkan tegangan listrik yang konstan dan dapat dikendalikan berdasarkan kebutuhan operasi unit pembangkit.



Gambar 3.21 Trafo eksitasi

Secara umum, trafo eksitasi berfungsi sebagai penghubung antara sistem tenaga (sisi AC) dengan perangkat penyearah thyristor pada sistem eksitasi, yang mengubah tegangan AC menjadi arus eksitasi DC. Keandalan trafo eksitasi memiliki dampak langsung terhadap stabilitas tegangan generator, kontrol daya reaktif, faktor daya, dan performa keseluruhan unit pembangkit. Oleh karena itu, trafo eksitasi merupakan salah satu peralatan dengan tingkat *criticality* tinggi dalam operasi pembangkit.

3.7 Spesifikasi Trafo Eksitasi



Gambar 3.22 Spesifikasi Trafo Eksitasi

Spesifikasi Teknis :

1. Tipe: *Resin-molded dry type (indoor use), Rectifier Transformer* (Toshiba).
2. *Rated power*: 3970 kVA.
3. *Rated frequency*: 50 Hz.
4. *Number of phases*: 3.
5. *AC side (primer)*: 18 000 V (18 kV).
6. *DC side (output nominal setelah rectifier)*: 670 V DC.
7. *Rated DC current*: ~3420 A.
8. *Impedance voltage*: 13.7 %.
9. *Temp class*: H, *Temp rise*: 125 K.
10. *Connection symbol*: Yd1 (*primary Y, secondary delta, phase shift Yd1*)

3.8 Fungsi Setiap Bagian Utama Trafo Eksitasi

1. Kumparan Primer (HV *Winding*)

Kumparan primer merupakan bagian yang menerima suplai tegangan dari jaringan tegangan menengah (*Medium Voltage*). Fungsinya meliputi:

- a. Menerima energi listrik input dari sistem tenaga utama secara stabil sebagai sumber untuk proses transformasi.
- b. Membangkitkan fluks magnetik dalam inti besi, yang kemudian diinduksikan ke kumparan sekunder.
- c. Dirancang menggunakan isolasi bertegangan tinggi untuk menahan tegangan nominal dan lonjakan (*surge*) selama operasi.
- d. Menggunakan kawat tembaga atau aluminium berinsulasi khusus yang dapat menahan panas akibat rugi-rugi tembaga dan arus beban eksitasi yang dinamis.

Keandalan kumparan primer sangat penting karena kerusakan pada bagian ini dapat mengakibatkan transformasi tidak terjadi serta memicu gangguan eksitasi pada generator.

2. Kumparan Sekunder (LV *Winding*)

Kumparan sekunder adalah bagian yang menghasilkan tegangan keluaran sesuai kebutuhan sistem eksitasi generator. Fungsinya:

- a. Menurunkan tegangan primer menjadi tegangan operasi eksitasi yang lebih rendah dan aman.
- b. Memberikan suplai AC kepada rangkaian penyearah (*rectifier*) yang akan diubah menjadi arus DC
- c. Stabilitas tegangan sekunder menentukan besarnya arus eksitasi yang disalurkan ke rotor generator, sehingga mempengaruhi stabilitas tegangan terminal generator.
- d. Menggunakan konstruksi kumparan yang dirancang untuk meredam harmonisa yang muncul akibat fluktuasi arus beban eksitasi.

Jika terjadi gangguan pada kumparan sekunder, sistem eksitasi dapat mengalami drop tegangan sehingga generator kehilangan kemampuan mempertahankan tegangan output.

3. Inti Besi (Core)

Inti besi berfungsi sebagai media tempat mengalirnya fluks magnetik yang ditimbulkan oleh kumparan primer. Inti ini biasanya dibuat dari material baja silikon berlaminasi untuk mengurangi rugi-rugi magnetik seperti histeresis dan arus eddy. Inti besi memiliki peran vital dalam menentukan efisiensi transformasi energi dan mempengaruhi kemampuan trafo dalam menahan beban dinamis dari sistem eksitasi. Kerusakan atau cacat pada inti besi dapat menyebabkan peningkatan panas serta menurunkan efisiensi operasi trafo secara keseluruhan.

4. Sistem Isolasi Internal

Sistem isolasi pada trafo eksitasi berfungsi melindungi kumparan primer dan sekunder dari potensi kegagalan listrik seperti *short circuit*, lonjakan tegangan, dan kebocoran arus. Bahan isolasi yang digunakan harus mampu menahan panas, tekanan listrik, dan pengaruh lingkungan seperti kelembapan serta kontaminasi debu. Kondisi isolasi diuji secara berkala menggunakan pengujian IR (*Insulation Resistance*) dan PI (*Polarization Index*) untuk memastikan bahwa material isolasi masih kering, bersih, dan tidak mengalami degradasi. Sistem isolasi yang baik berperan penting dalam memastikan operasional trafo tetap aman dan stabil.

5. Tangki dan Casing Trafo

Tangki atau casing trafo merupakan pelindung utama yang menutupi seluruh komponen internal trafo eksitasi. Bagian ini berfungsi melindungi kumparan dan inti dari kerusakan fisik, kelembapan, debu, dan pengaruh lingkungan lainnya. Selain itu, casing juga membantu proses pelepasan panas ke udara melalui mekanisme konduksi dan konveksi. Material casing yang kokoh dan tidak korosif sangat penting untuk memastikan peralatan tetap aman dan berfungsi jangka panjang.

6. Sirip Pendingin (*Cooling Fins*)

Sirip pendingin berfungsi meningkatkan luas permukaan trafo sehingga panas yang dihasilkan selama operasi dapat dilepaskan dengan lebih efisien. Sirip ini bekerja secara pasif dengan memanfaatkan aliran udara di sekitar trafo, baik secara alami maupun dengan bantuan fan.

Efektivitas pendinginan sangat bergantung pada kebersihan sirip pendingin. Jika sirip tertutup debu atau kotoran, proses pelepasan panas akan terhambat sehingga meningkatkan risiko overheating pada trafo.

7. *Fan Pendingin (Cooling Fan)*

Fan pendingin merupakan komponen aktif yang mempercepat proses pelepasan panas dari sirip pendingin melalui aliran udara paksa. Fan memiliki peran besar dalam menjaga suhu operasional trafo tetap berada dalam batas aman. Pada kasus lapangan, ditemukan bahwa salah satu *fan* mengalami kerusakan akibat penumpukan debu yang menyebabkan motor *fan* bekerja lebih berat, memicu arus berlebih (*overcurrent*), dan akhirnya membuat lilitan motor terbakar. Kerusakan fan seperti ini dapat menyebabkan pendinginan trafo tidak efektif, meningkatkan suhu operasi, dan mempercepat kerusakan isolasi internal.

8. Terminal Bushing

Terminal bushing berfungsi sebagai penghubung antara kumparan internal trafo dengan kabel eksternal menuju sistem eksitasi. Bushing dirancang untuk memastikan bahwa aliran listrik dapat keluar dari trafo tanpa terjadi kebocoran arus atau *flashover* akibat tegangan tinggi. Selain itu, bushing juga menjadi penghalang isolasi antara bagian konduktif dan casing trafo. Kondisi bushing yang kotor atau retak dapat meningkatkan risiko arus permukaan (*tracking*), sehingga perlu dibersihkan dan diperiksa secara rutin.

9. Sistem Grounding

Sistem grounding pada trafo eksitasi berfungsi sebagai jalur pembuangan arus gangguan dan menjaga *body* trafo tetap berada pada potensial aman. Grounding juga membantu mencegah terjadinya tegangan lebih pada struktur logam trafo yang dapat membahayakan operator serta merusak peralatan. Sistem grounding yang baik memastikan bahwa setiap gangguan listrik dapat dialirkan ke tanah dengan aman, sehingga memperkecil risiko kerusakan dan kecelakaan.

10. Panel Identifikasi dan Proteksi Dasar

Panel identifikasi pada trafo berisi informasi teknis seperti rating

trafo, diagram hubungan lilitan, serta data penting lainnya yang diperlukan selama proses inspeksi atau pemeliharaan. Pada beberapa desain, panel ini juga dilengkapi proteksi dasar seperti fuse atau sensor suhu untuk memberikan perlindungan awal terhadap arus lebih ataupun *overheating*. Panel ini membantu operator dalam memastikan operasi trafo mengikuti batas-batas teknis yang aman.



BAB IV

HASIL KERJA PRAKTIK

4.1 Lingkup Pelaksanaan OJT

Berdasarkan Peraturan Kepala Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Perhubungan Udara No. Sm. 106/003.A/I/PPSDMPU-2017 tentang Pedoman On The Job Training (OJT) Program Diploma Pendidikan dan Pelatihan Pembentukan di Unit Pelaksana Teknis Pusat Sumber Daya Manusia Perhubungan Udara, Lingkup Pelaksanaan On The Job Training II meliputi Transmisi distribusi dan Sistem Catu Daya.

4.2 Jadwal Pelaksanaan OJT

Pelaksanaan program On The Job Training (OJT) 1 bagi Taruna/I Program Studi Diploma III Teknik Listrik Bandar Udara Angkatan XVII Politeknik Penerbangan Surabaya dilaksanakan pada semester 5 selama kurang lebih 2 bulan, tepatnya mulai tanggal 12 Oktober 2025 sampai dengan 12 Desember 2025 di PT PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 1 & 2. Selama melaksanakan OJT, taruna mempelajari secara langsung cara pengoperasian, perawatan peralatan dan memahami bagaimana cara menyelesaikan suatu permasalahan. Selama periode pelaksanaan kegiatan kerja, penugasan dilakukan secara bergiliran antara unit Boiler dan Turbin dengan pola dua minggu pertama di Boiler, dilanjutkan dua minggu berikutnya di Turbin, dan seterusnya secara bergantian, yaitu Senin – Jumat (Pukul 07.30 s/d 16.00 WIB).

4.3 Permasalahan pada Trafo Eksitasi

PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 1 & 2 merupakan salah satu unit pembangkit listrik yang beroperasi dengan sistem eksitasi yang membutuhkan keandalan tinggi, termasuk pada peralatan trafo eksitasi sebagai komponen utama dalam penyaluran arus eksitasi menuju generator. Dalam proses pelaksanaan *On*

The Job Training (OJT), ditemukan permasalahan operasional berupa kerusakan *fan* pada trafo eksitasi yang disebabkan oleh penumpukan debu pada bagian filter dan saluran udara pendingin. Kondisi ini mengakibatkan terhambatnya proses pelepasan panas, meningkatnya temperatur peralatan, serta berpotensi menurunkan keandalan transformator eksitasi.

Meskipun aktivitas pemeliharaan rutin telah dilaksanakan, namun penumpukan debu pada area filter *fan* menyebabkan *fan* tidak berfungsi optimal sehingga terjadi gangguan pendinginan. Apabila hal ini dibiarkan, maka dapat menimbulkan risiko *overheating*, mempercepat kerusakan komponen isolasi, bahkan memicu gangguan pada sistem eksitasi generator secara keseluruhan. Berdasarkan pengamatan lapangan, kondisi tersebut menunjukkan bahwa metode pemeliharaan yang diterapkan masih perlu dievaluasi, terutama pada aspek inspeksi *fan*, pembersihan filter, serta pemantauan kondisi termal trafo eksitasi.

Oleh karena itu, dipilihlah topik “Pemeliharaan Trafo Eksitasi untuk Mencegah Terulangnya Kerusakan *Fan* Akibat Penumpukan Debu” sebagai fokus pembahasan dalam laporan ini. Pembahasan diarahkan untuk menganalisis penyebab gangguan, mengevaluasi efektivitas prosedur pemeliharaan yang saat ini diterapkan, serta merumuskan langkah perbaikan yang lebih optimal guna meningkatkan keandalan dan kontinuitas operasi sistem eksitasi pada unit pembangkit.

Sebagai solusi dari permasalahan tersebut, dilakukan penerapan pemeliharaan *preventif* melalui peningkatan kegiatan perawatan berkala, termasuk pembersihan filter *fan* secara teratur agar debu dapat tersaring sempurna dan aliran udara pendingin tetap optimal. Tindakan ini diharapkan mampu mengurangi risiko kerusakan *fan* dan mencegah *overheating* pada trafo eksitasi, sehingga keandalan operasi sistem eksitasi di PT PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 1 & 2 dapat terjaga secara berkelanjutan.

4.3.1 Riwayat Gangguan

Trafo eksitasi merupakan salah satu komponen vital dalam sistem penguatan medan generator. Selama masa OJT, terdapat sebuah masalah bahwa trafo eksitasi sempat menunjukkan indikasi penurunan performa

pendinginan, khususnya pada bagian fan yang berfungsi sebagai sistem sirkulasi udara. Operator juga mencatat kenaikan temperatur trafo pada beberapa hari sebelumnya, terutama saat beban generator meningkat.

4.3.2 Dampak Gangguan terhadap Sistem

Gangguan pada *fan* pendingin berdampak langsung terhadap temperatur kumparan trafo. Efeknya antara lain:

1. Peningkatan temperatur winding, berpotensi mempercepat proses penuaan isolasi.
2. Kenaikan arus eksitasi, karena resistansi tembaga meningkat saat panas.
3. Risiko terjadinya hotspot pada area tertentu, jika distribusi suhu tidak merata.
4. Dalam jangka panjang, kerusakan isolasi dapat menyebabkan flashover internal, trip proteksi, bahkan kerusakan permanen.

Oleh karena itu, permasalahan kecil seperti *fan* melemah dan debu menumpuk harus dianggap serius karena dapat menjadi akar gangguan besar di kemudian hari.

4.3.3 Pemeriksaan Awal dan Temuan Lapangan

Hasil pemeriksaan awal pada trafo eksitasi menunjukkan adanya kerusakan signifikan pada salah satu unit fan pendingin. Berdasarkan kondisi fisik *fan* yang telah dilepas dari instalasi (gambar terlampir), terlihat bahwa bagian internal fan mengalami perubahan warna kehitaman (gosong) yang mengindikasikan adanya pemanasan berlebih (*overheating*) pada motor fan.



Gambar 4.1 Fan Trafo eksitasi

Kerusakan ini disebabkan oleh penumpukan debu yang cukup tebal pada bagian sirip dan jalur masuk udara fan. Penumpukan debu tersebut menghambat aliran udara ke motor dan menyebabkan beban mekanis fan meningkat.

Akibatnya, motor *fan* harus bekerja lebih berat untuk mempertahankan putaran. Kondisi ini menyebabkan:

1. Terjadinya arus berlebih (overcurrent) pada motor *fan*.
2. Kenaikan temperatur kumparan motor *fan* hingga melebihi batas aman.
3. Insulasi lilitan motor mengalami degradasi, sehingga *fan* kemudian gagal beroperasi (tidak *energize*).
4. Pada akhirnya, *fan* mengalami kerusakan total dan tidak dapat berputar saat diberi suplai.

Dari tampilan casing fan pada gambar, terlihat adanya jelaga hitam dan bekas terbakar pada rongga ventilasi *fan*. Hal ini mendukung indikasi bahwa motor *fan* sempat mengalami pemanasan ekstrem sebelum akhirnya tidak berfungsi.

Fan yang tidak mampu berputar menyebabkan pendinginan trafo tidak optimal, meningkatkan risiko *overheating* pada trafo eksitasi, terutama saat unit beroperasi pada beban tinggi. Kerusakan ini juga berpotensi memicu kenaikan temperatur internal trafo yang dalam jangka panjang dapat mempercepat penuaan isolasi serta menurunkan kualitas tahanan isolasi (IR) jika tidak segera ditangani.

Kerusakan *fan* seperti ini menjadi bukti penting bahwa debu yang tidak dibersihkan secara rutin dapat menimbulkan masalah serius, baik secara mekanis maupun elektrik. Oleh karena itu, tindakan perbaikan dan pencegahan seperti pembersihan berkala dan pemeriksaan performa fan sangat diperlukan.

4.4 Tindakan Pemeriksaan dan Pemeliharaan Trafo Eksitasi

4.4.1 Pemeriksaan Visual

Pemeriksaan visual merupakan langkah awal dalam menentukan kondisi fisik

trafo. Pemeriksaan ini meliputi pengecekan:

1. kebersihan permukaan,
2. kondisi bushing,
3. kondisi ventilasi,
4. kondisi terminal dan kabel,
5. adanya tanda kebocoran atau overheating.



Gambar 4.2 Perawatan Trafo eksitasi

Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa struktur fisik trafo masih dalam keadaan baik, tidak ditemukan retakan, kebocoran minyak, atau discoloration yang mengindikasikan *overheating* berat.

4.4.2 Pembersihan Peralatan

Pembersihan dilakukan pada beberapa bagian:

1. Debu pada seluruh casing dan bushing dibersihkan menggunakan kuas lembut.
2. *Upper* dan *lower fan* dibersihkan dari serbuk lembut dan debu yang menyumbat sirip ventilasi.
3. Area terminal dibersihkan untuk mencegah arus bocor akibat kontaminasi permukaan.

Pembersihan ini penting karena debu, meskipun tampak sepele, dapat menyerap kelembapan dan menurunkan resistansi permukaan, terutama saat kondisi udara lembap.

4.4.3 Permeriksaan Kipas (*Fan*) Pendingin

Fan merupakan komponen penting untuk menjaga suhu operasional trafo tetap stabil. Pemeriksaan meliputi:

1. pengecekan putaran *fan*,
2. mengamati suara mekanis (bearing),
3. mengecek suplai daya ke motor *fan*,
4. memeriksa kondisi fisik blade

Ditemukan satu fan yang tidak berfungsi akibat penumpukan debu. Berdasarkan kondisi kerusakan fan yang cukup parah, penggantian unit *fan* merupakan langkah yang diperlukan agar sistem pendinginan trafo tetap bekerja optimal dan tidak menimbulkan *overheating*. Pemeriksaan Kipas (*Fan*) Pendingin

4.4.4 Pemeriksaan Sambungan dan Terminal

Bagian terminal diperiksa untuk memastikan tidak ada koneksi longgar yang dapat memicu panas akibat arus yang mengalir. Semua baut terminal dalam keadaan cukup kencang, namun area terminal dibersihkan karena ada debu halus yang berpotensi menyebabkan tracking jika kelembapan tinggi.

4.4.5 Pemeriksaan dan Pengujian Listrik

Setelah pembersihan visual, dilakukan pengujian isolasi menggunakan megger 5 kV. Pengujian ini bertujuan memastikan integritas isolasi kumparan HV dan LV. Hasilnya digunakan sebagai dasar evaluasi kesehatan trafo secara internal.

4.5 Aliran Udara (*Air Flow*)

Sistem pendinginan pada trafo eksitasi *resin-molded dry type* di PLN Nusantara Power UP Paiton menggunakan prinsip aliran udara vertikal (*vertical airflow*) yang bergerak dari bagian bawah *enclosure* menuju ke bagian atas. Udara dingin masuk melalui ventilasi bawah, kemudian melewati celah antar lilitan resin coil, di mana proses perpindahan panas terjadi secara langsung karena material resin tidak menggunakan minyak pendingin. Udara yang telah menyerap panas dari

coil akan naik secara alami (*natural convection*) dibantu oleh fan yang terpasang pada kompartemen tertentu untuk meningkatkan laju aliran udara. Selanjutnya udara panas dialirkan menuju ventilasi samping atau belakang *enclosure*, yang menjadi jalur pembuangan utama. Desain panel depan yang tertutup mengarahkan *airflow* agar tidak keluar ke arah teknisi, tetapi bergerak melalui ducting internal. Penumpukan debu pada filter atau jalur udara sangat memengaruhi performa sistem pendinginan ini karena debu dapat menghambat aliran udara masuk dan keluar, menyebabkan fan bekerja lebih berat, dan berpotensi menimbulkan *overheating* pada motor fan maupun trafo. Oleh karena itu, pemahaman mengenai aliran udara sangat penting dalam melakukan inspeksi dan pemeliharaan trafo eksitasi.

4.6 SOP Pengujian IR

Pelaksanaan pengujian tahanan isolasi (*Insulation Resistance Test*) pada trafo eksitasi dilakukan dengan mengikuti prosedur atau SOP yang berlaku agar hasil pengukuran akurat dan aman bagi personel. Sebelum pengujian dimulai, trafo harus dipastikan dalam kondisi benar-benar bebas tegangan, kemudian dilakukan pemasangan *Lock Out Tag Out* (LOTO) untuk mencegah terjadinya energisasi tidak sengaja. Permukaan terminal dibersihkan dari debu atau kelembapan untuk menghindari gangguan pembacaan nilai isolasi. Selanjutnya, sambungan antara sisi HV dan LV dilepas untuk memastikan tidak ada rangkaian paralel yang memengaruhi hasil pengukuran. Pengujian dilakukan menggunakan insulation tester (megger) 5 kV dengan pengukuran nilai IR selama 10 menit pada dua titik pengujian, yaitu HV–Ground, LV–Ground dan HV–LV. Nilai IR dicatat setiap menit untuk menentukan kecenderungan isolasi serta menghitung *Polarization Index* (PI). Setelah pengujian selesai, terminal harus didischarge selama beberapa menit untuk menghilangkan muatan sisa sebelum disentuh. Semua sambungan kemudian dipasang kembali seperti semula, dan hasil pengujian dicatat pada form pengukuran serta diserahkan kepada supervisor. SOP ini memastikan bahwa proses pengujian berlangsung aman, terukur, dan sesuai standar IEEE 43.

4.7 Pengujian Tahanan Isolasi (*Insulation Resistance Test*)

4.7.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian adalah:

1. mengevaluasi kondisi isolasi kumparan,
2. mengetahui adanya indikasi kelembapan,
3. mengidentifikasi potensi kerusakan awal,
4. memastikan trafo aman untuk tetap beroperasi.

Pengujian IR merupakan salah satu metode paling penting dalam pemeliharaan prediktif.

4.7.2 Peralatan dan Metode Pengujian

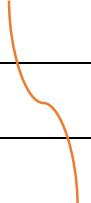
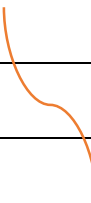
Pengujian dilakukan menggunakan insulation tester bertegangan 5000 VDC. Prosedur:

1. Pembersihan permukaan sebelum pengujian.
2. Pengujian dilakukan selama 10 menit untuk mendapatkan nilai 1 menit–10 menit
3. Mencatat nilai IR setiap menit untuk HV–Ground, LV–Ground dan HV–LV.
4. Menghitung Polarization Index (PI) = nilai menit ke-10 / menit ke-1. Pengujian dilakukan sesuai standar IEEE Std 43-2013.

4.7.3 Insulation Resistance test (IR) Transformer

Tabel berikut merupakan hasil lengkap pengukuran tahanan isolasi trafo eksitasi berdasarkan data Excel yang diperoleh dari pengujian lapangan. Data dicatat dari menit pertama hingga menit kesepuluh untuk melihat kecenderungan kenaikan nilai tahanan isolasi terhadap waktu. Kenaikan nilai IR setiap menit menunjukkan bahwa proses polarisasi berjalan dengan baik dan material isolasi dalam kondisi sehat. Nilai-nilai pada tabel ini kemudian digunakan untuk menghitung Polarization Index (PI) sebagai parameter evaluasi lanjutan.

Tabel 4.1 Pengukuran IR

Phase	Test Voltage (V)	Duration	Test Result			Note
			IR	I	C	
HV to Ground	5000	1 menit	928 Mohm			
LV to Ground	500	1 menit	2,66 Mohm			
HV to LV	5000	1 menit	657 Mohm			

4.7.4 Hasil Pengukuran PI

Tabel 4.2 Pengukuran PI

Menit Ke -	Test Result		
	HV to Ground (5000 Vdc)	HV to LV (5000 Vdc)	LV to Ground (500 Vdc)
1	928 Mohm	657 Mohm	2,66 Mohm
2	1,97 Gohm	1,238 Gohm	3,10 Mohm
3	2,95 Gohm	1,753 Gohm	3,22 Mohm
4	3,88 Gohm	2,31 Gohm	3,34 Mohm
5	4,75 Gohm	2,78 Gohm	3,50 Mohm
6	5,44 Gohm	3,20 Gohm	3,56 Mohm
7	6,04 Gohm	3,56 Gohm	3,65 Mohm
8	6,55 Gohm	3,95 Gohm	3,70 Mohm
9	7,08 Gohm	4,38 Gohm	3,77 Mohm
10	7,64 Gohm	4,72 Gohm	3,85 Mohm
PI	8.57	7.29	1.45
Acceptance	PI > 1.25	PI > 1.25	PI > 1.25

Tabel hasil pengujian Polarization Index (PI) di atas menunjukkan tren kenaikan nilai tahanan isolasi (Insulation Resistance) trafo eksitasi selama pengujian 10 menit menggunakan megger dengan tegangan 5000 VDC untuk sisi HV, serta 500 VDC untuk sisi LV. Setiap nilai IR dalam tabel dicatat setiap menit, kemudian dianalisis untuk melihat pola peningkatan resistansi isolasi, yang merupakan indikator penting kondisi kesehatan isolasi trafo.

Pada kolom HV to Ground (5000 VDC) terlihat bahwa nilai IR mengalami peningkatan signifikan mulai dari 928 MΩ pada menit pertama hingga mencapai 7,64 GΩ pada menit ke-10. Kenaikan yang konsisten ini menunjukkan bahwa material isolasi bersifat kering, tidak terkontaminasi kelembapan, dan mampu

melakukan proses polarisasi secara optimal. Dari hasil tersebut diperoleh nilai PI sebesar 8,57, yang berada jauh di atas batas minimum $PI > 1,25$, sehingga menunjukkan kondisi isolasi sangat baik.

Pada kolom HV to LV (5000 VDC), nilai IR juga menunjukkan tren kenaikan yang stabil, dari 657 M Ω pada menit pertama hingga 4,72 G Ω pada menit ke-10. Nilai PI yang diperoleh adalah 7,29, yang kembali menunjukkan bahwa isolasi antara lilitan HV dan LV berada dalam kondisi sangat baik sesuai kriteria standar IEEE 43.

Sementara pada kolom LV to Ground (500 VDC), nilai IR meningkat lebih lambat dibandingkan sisi HV, yaitu dari 2,66 M Ω menjadi 3,85 M Ω pada menit ke-10, menghasilkan nilai PI 1,45. Meski tidak sebanyak peningkatan pada sisi HV, nilai $PI > 1,25$ tetap menunjukkan bahwa isolasi sisi LV masih memenuhi standar acceptance dan tidak menunjukkan gejala kerusakan atau kelembapan berlebih.

Secara keseluruhan, tren peningkatan nilai IR pada ketiga jalur pengujian menegaskan bahwa:

1. Isolasi trafo berada dalam kondisi sangat sehat, terutama pada bagian HV.
2. Tidak terdapat indikasi degradasi termal, kontaminasi, atau kelembapan pada material isolasi.
3. Nilai PI yang tinggi pada sisi HV menunjukkan kualitas isolasi internal yang sangat baik dan stabil.
4. Sisi LV juga memenuhi standar, meskipun peningkatan resistansinya lebih kecil karena tegangan uji yang lebih rendah (500 VDC).

Dengan demikian, hasil PI pada tabel ini memastikan bahwa trafo eksitasi layak operasi, memiliki kualitas isolasi yang sangat baik, dan tidak terdapat potensi kerusakan isolasi pada saat pengujian dilakukan.

4.7.5 RDC (Resistance Direct Current)

Selain pengujian tahanan isolasi, salah satu parameter penting dalam evaluasi kesehatan kumparan transformator adalah Resistance DC (RDC). Pengukuran RDC

dilakukan untuk mengetahui keseragaman tahanan pada masing-masing fasa dan mendeteksi adanya potensi gangguan seperti short partial turn, koneksi longgar, atau penurunan kualitas konduktor. Nilai RDC yang tidak seimbang antar fasa dapat menjadi indikasi adanya kerusakan internal pada lilitan atau terjadinya pemanasan berlebih pada salah satu fasa. Meskipun pengujian RDC tidak dilakukan pada sesi ini, pemahaman nilai RDC tetap diperlukan sebagai bagian dari evaluasi menyeluruh terhadap kondisi transformator. Pemeriksaan RDC secara berkala sangat membantu dalam memastikan bahwa kumparan masih memiliki resistansi yang seragam dan tidak mengalami degradasi termal maupun mekanis

4.7.6 Analisis Data Pengukuran

Dari hasil pengujian, terlihat tren peningkatan resistansi isolasi pada kedua pengujian. Nilai awal yang relatif rendah pada menit pertama sangat wajar karena permukaan isolasi adaptasi pada tegangan uji. Nilai yang terus naik menunjukkan:

1. tidak ada retakan isolasi,
2. tidak ada kelembapan internal,
3. tidak ada kontaminasi minyak atau karbon.

Nilai IR > 2 GΩ pada menit ke-5 dan > 3 GΩ pada menit ke-10 membuktikan kondisi trafo masih sangat baik.

4.7.7 Evaluasi Berdasarkan Standar IEEE

Tabel 4.3 Standar IEEE

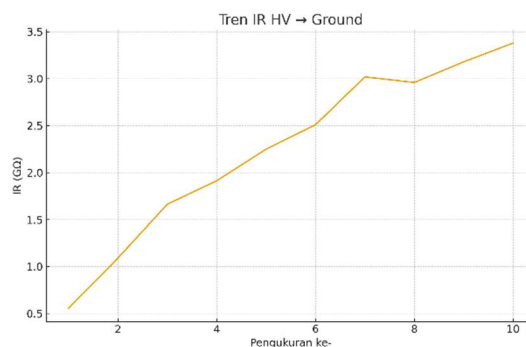
Kategori Kondisi Isolasi	Nilai IR (GΩ)	Nilai PI	Interpretasi
Sangat Baik	> 2.0	> 4.0	Isolasi kering, bersih, tanpa indikasi kerusakan
Baik	1.0 – 2.0	2.0 – 4.0	Isolasi dalam kondisi baik dan aman untuk

			operasi
Cukup	0.5 – 1.0	1.25 – 2.0	Perlu pemantauan, kemungkinan terdapat kelembapan
Buruk	< 0.5	1.0 – 1.25	Isolasi lembap, berpotensi terjadi degradasi
Tidak Layak Operasi	< 0.1	< 1.0	Risiko kerusakan tinggi, tidak boleh dioperasikan

Tabel standar IEEE 43-2013 digunakan sebagai acuan untuk mengevaluasi kualitas isolasi transformator berdasarkan nilai tahanan isolasi (IR) dan Polarization Index (PI). Nilai IR menunjukkan tingkat kekeringan dan kebersihan isolasi, sedangkan PI menunjukkan stabilitas proses polarisasi material isolasi. Berdasarkan tabel tersebut, nilai IR dan PI pada trafo eksitasi Paiton berada pada kategori ‘Sangat Baik’, karena nilai PI tercatat di atas 6 untuk kedua pengujian. Dengan demikian, kondisi isolasi internal trafo dapat dinyatakan sangat sehat dan layak beroperasi tanpa adanya risiko degradasi dalam waktu dekat.

4.7.8 Grafik Tren Tahanan Isolasi

1. Grafik Tren IR HV → Ground



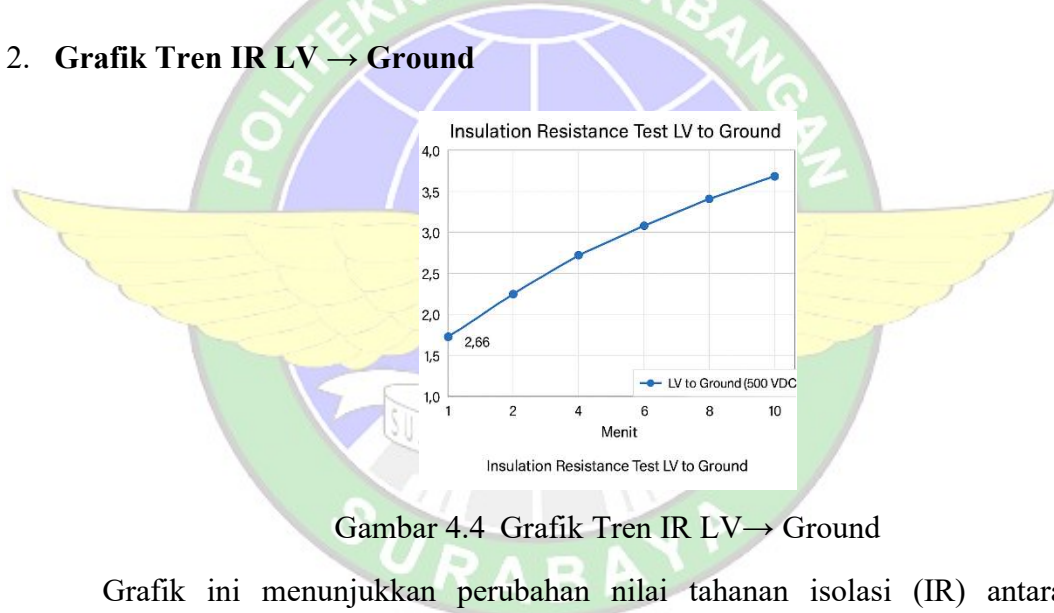
Gambar 4.3 Grafik Tren IR HV → Ground

Grafik ini menunjukkan perubahan nilai tahanan isolasi (IR) antara kumparan HV (*High Voltage*) terhadap ground selama 10 tahap pengukuran. Terlihat bahwa nilai IR mengalami kenaikan yang stabil dari 0.554 G Ω pada pengukuran awal menjadi 3.380 G Ω pada pengukuran ke-10.

Kenaikan ini mengindikasikan bahwa isolasi kumparan HV dalam kondisi kering, bersih, dan tidak terkontaminasi kelembapan. Tren peningkatan yang kontinu juga menggambarkan bahwa material isolasi merespons tegangan uji dengan baik, tanpa adanya indikasi kerusakan internal seperti retakan atau karbonisasi.

Secara keseluruhan, grafik ini memperkuat kesimpulan bahwa kondisi isolasi HV terhadap ground berada pada kategori sangat baik.

2. Grafik Tren IR LV $\rightarrow$ Ground



Gambar 4.4 Grafik Tren IR LV $\rightarrow$ Ground

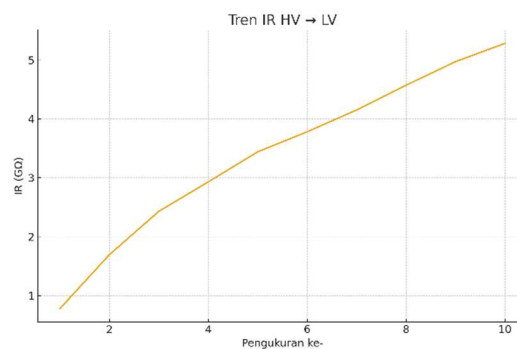
Grafik ini menunjukkan perubahan nilai tahanan isolasi (IR) antara kumparan LV (Low Voltage) terhadap ground selama 10 tahap pengukuran. Terlihat bahwa nilai IR mengalami kenaikan bertahap dari 2.66 M Ω pada pengukuran awal menjadi 3.85 M Ω pada pengukuran ke-10. Meskipun nilai kenaikannya tidak sebesar sisi HV karena tegangan uji yang lebih rendah, tren peningkatan yang konsisten tetap menunjukkan respons isolasi yang baik.

Kenaikan ini mengindikasikan bahwa isolasi kumparan LV berada dalam kondisi kering, stabil, dan tidak terkontaminasi kelembapan. Pola peningkatan yang berkelanjutan menggambarkan bahwa material isolasi merespons tegangan uji dengan normal, tanpa adanya indikasi gangguan seperti degradasi termal,

kontaminasi permukaan, atau potensi kerusakan internal lainnya.

Secara keseluruhan, grafik ini memperkuat kesimpulan bahwa kondisi isolasi LV terhadap ground berada dalam kategori baik dan layak operasi, sesuai dengan nilai Polarization Index (PI) sebesar 1.45 yang berada di atas batas minimum standar.

3. Grafik Tren IR HV → LV



Gambar 4.5 Grafik Tren IR HV → LV

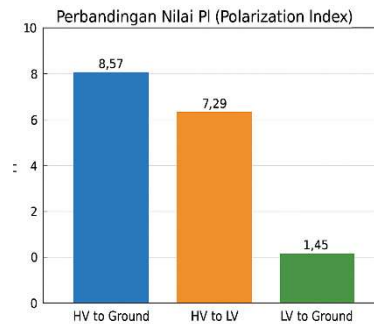
Grafik ini menampilkan tren tahanan isolasi antara kumparan HV (*High Voltage*) terhadap kumparan LV (*Low Voltage*). Nilai IR meningkat secara signifikan dari 0.780 GΩ pada awal pengukuran hingga 5.280 GΩ pada akhir pengukuran.

Pola kenaikan yang lebih besar dibandingkan HV–Ground menunjukkan bahwa isolasi antar kumparan berada dalam kondisi lebih optimal, dengan struktur isolasi yang sangat baik dan minim kontaminasi.

Nilai IR di atas 5 GΩ di menit ke-10 merupakan indikator bahwa isolasi kumparan benar-benar sehat, tidak menunjukkan adanya tanda-tanda pelemahan, kebocoran arus, atau penurunan kualitas material.

Dengan demikian, grafik ini mempertegas bahwa isolasi antara HV dan LV berada pada tingkat keandalan yang sangat tinggi.

4. Grafik Perbandingan Nilai PI (*Polarization Index*)



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Nilai PI

Grafik perbandingan nilai Polarization Index (PI) menunjukkan bahwa sisi HV to Ground memiliki nilai PI tertinggi yaitu 8,57, diikuti oleh HV to LV sebesar 7,29. Kedua nilai tersebut berada jauh di atas batas minimum standar $PI > 1,25$, sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi isolasi pada bagian HV berada dalam kategori sangat baik.

Sementara itu, nilai PI pada jalur LV to Ground sebesar 1,45, yang meskipun jauh lebih rendah dibandingkan sisi HV, tetap memenuhi standar minimum dan menunjukkan bahwa isolasi masih layak operasi. Perbedaan ini wajar karena pengujian LV dilakukan pada tegangan lebih rendah dan material isolasi LV memiliki karakteristik berbeda dibandingkan isolasi HV.

4.8 Pengujian Thyristor pada Sistem Eksitasi

Pengujian thyristor dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat penyearah pada sistem eksitasi masih bekerja dengan baik dan tidak mengalami kerusakan seperti short-circuit, leakage, maupun penurunan kemampuan switching. Thyristor merupakan komponen kunci dalam proses penyearahan AC ke DC, sehingga kestabilan eksitasi rotor sangat bergantung pada kondisi perangkat ini. Pengujian dilakukan dengan mengukur parameter-parameter tertentu yang dicatat dalam tabel berikut berdasarkan data hasil pengujian lapangan.

4.8.1 Tabel Hasil Pengujian Thyristor

Tabel 4.4 Pengujian Thyristor

NO	Thyristor Tray	Beban		Thyristor			R1 (Ω)	C1 (nF)
		Teg Beban (V)	Arus Beban (A)	Teg Gate (V)	Arus Gate (mA)	R Gate (Ω)		
1	UX-1(F)			1.288	77.1	16.6	29.8	0.666
	UX-1(R)			1.204	66.4	20.4	29.6	0.675
2	UX-2(F)			1.209	63.82	19.8	29.6	0.578
	UX-2(R)			1.227	74.8	16.4	30	0.631
3	UX-3(F)			1.097	66.8	15.5	29.8	0.663
	UX-3(R)			1.232	77.1	16.4	30.5	0.631
4	UX-4(F)			1.241	67.6	16.2	30.2	0.672
	UX-4(R)			1.118	69.16	16.4	30.6	0.625
5	UX-5(F)			1.236	68.7	17.6	29.9	0.589
	UX-5(R)			1.222	68.6	16.8	30.1	0.633
6	UX-6(F)			1.176	59.8	14.3	30.3	0.650
	UX-6(R)			1.140	75.5	16.0	30.3	0.646
7	VY-1(F)			1.112	58.58	19.9	30.3	0.697
	VY-1(R)			1.247	66.3	18.8	30.1	0.658
8	VY-2(F)			1.345	65.75	20.2	30.3	0.636
	VY-2(R)			1.111	66.7	16.2	30.2	0.695
9	VY-3(F)			1.213	59.52	15.9	30.5	0.645
	VY-3(R)			1.151	74.3	17.0	30.3	0.651
10	VY-4(F)			1.180	63.35	17.3	29.7	0.677
	VY-4(R)			1.230	68.4	18.2	29.9	0.642
11	VY-5(F)			1.027	57.79	18.7	30.6	0.612
	VY-5(R)			0.203	74.1	16.5	30.6	0.606
12	VY-6(F)			1.225	72.8	15.0	30.5	0.698
	VY-6(R)			1.201	82.4	16.1	30.4	0.675
13	WZ-1(F)			1.078	55.4	20.5	30.2	0.517
	WZ-1(R)			1.224	78.5	16.3	30.3	0.608
14	WZ-2(F)			1.112	58.65	20.0	30.3	0.697
	WZ-2(R)			1.213	76.5	14.8	30.4	0.665
15	WZ-3(F)			1.054	57.25	13.4	30.3	0.602
	WZ-3(R)			1.116	69	15.0	30.3	0.581
16	WZ-4(F)			1.246	78.5	15.1	30.7	0.641
	WZ-4(R)			1.264	73.6	16.1	30.5	0.650
17	WZ-5(F)			1.125	61.84	15.8	30,,2	0.649
	WZ-5(R)			1.200	78.5	14.4	30.3	0.639
18	WZ-6(F)			1.235	75.8	15.7	30.2	0.615
	WZ-6(R)			1.285	83.2	15.2	29.9	0.607

4.8.2 Penjelasan Tabel

Setiap kolom pada tabel menunjukkan parameter operasional thyristor seperti nilai tegangan drop, arus forward, resistansi, serta kondisi switching. Nilai-nilai tersebut digunakan untuk mengetahui apakah thyristor masih berfungsi normal atau mengalami degradasi. Thyristor dengan nilai tegangan drop tinggi atau resistansi tidak normal dapat menjadi indikasi kerusakan gate atau penurunan kemampuan konduksi.

4.8.3 Analisis

Berdasarkan tabel pengujian, kondisi masing-masing thyristor dapat dievaluasi apakah masih memenuhi standar atau perlu dilakukan penggantian. Konsistensi antar device juga menjadi parameter penting karena perbedaan signifikan dapat menyebabkan ketidakseimbangan output eksitasi. Dari hasil pengujian, dapat ditentukan apakah sistem penyearah masih layak operasi atau memerlukan tindakan pemeliharaan lanjutan.

4.9 Pembahasan Kondisi Trafo Eksitasi Setelah Pengujian

4.9.1 Interpretasi Kondisi Isolasi

Dengan nilai IR dan PI yang sangat baik, dapat disimpulkan bahwa trafo dalam kondisi:

1. isolasi kering,
2. tidak terkontaminasi,
3. tidak terpengaruh kelembapan,
4. tidak mengalami degradasi termal.

4.9.2 Perbandingan dengan Data Historis

Walaupun tidak tersedia data historis lengkap, hasil ini sejalan dengan ekspektasi trafo yang masih dalam kondisi normal. Bila dibandingkan dengan standar operasional, nilai ini jauh di atas batas minimum.

4.9.3 Indikasi Potensi Kerusakan

Satu-satunya hal yang perlu perhatian adalah nilai menit pertama HV–Ground (0.554 GΩ) yang rendah. Namun hal ini dianggap normal karena nilai awal selalu dipengaruhi:

1. kondisi permukaan,
2. efek charging isolasi,
3. sisa debu tipis.

4.9.4 Keterkaitan Temuan Visual dengan Hasil Pengujian

Meski fan telah terindikasi tidak berfungsi dan debu menumpuk, isolasi internal belum terdampak. Namun jika kondisi fan tidak segera ditangani, *overheating* di masa depan bisa mengubah hasil IR secara signifikan.

4.10 Tindakan Perbaikan dan Rekomendasi

4.10.1 Tindakan Korektif

- a. pembersihan debu menyeluruh
- b. pemeriksaan fan dan mengidentifikasi unit yang harus diganti,
- c. pengetesan ulang sambungan dan terminal.

4.10.2 Tindakan *Preventif*

Disarankan:

1. penggantian fan dalam waktu dekat,
2. pembersihan tiap 3 bulan,
3. pengujian IR minimal setiap tahun.

4.10.3 *Maintenance* Harian, Mingguan, Bulanan

- a. Harian
 1. Mengecek suhu trafo

2. Mengecek suara & getaran fan
 3. Mengecek *airflow fan* (pastikan angin keluar normal)
 4. Membersihkan debu ringan di area sekitar trafo
- b. Mingguan
1. Membersihkan filter
 2. Mengecek kencangan terminal
 3. Mengecek arus fan saat beroperasi
 4. Mengecek bushing dari tracking ringan
- c. Bulanan
1. Pengukuran arus fan dan membandingkan dengan nilai standar
 2. Mengecek kebocoran pada bushing & terminal
 3. Mengecek kondisi panel eksitasi (debu, ventilasi, exhaust)
 4. Review tren suhu harian trafo

4.10.4 Pemantauan Berkala

Pemantauan temperatur harian dan pengecekan airflow fan setiap shift.

4.10.5 Usulan Perbaikan SOP

Menambahkan SOP pembersihan area eksitasi untuk mencegah debu menumpuk.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

5.1.1 Kesimpulan Permasalahan

Dari hasil analisis permasalahan yang telah diuraikan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Terjadinya kerusakan fan pada trafo eksitasi disebabkan oleh penumpukan debu pada filter yang menghambat aliran udara sehingga proses pendinginan tidak bekerja secara optimal.
2. Sistem pendinginan yang tidak optimal menyebabkan kenaikan temperatur trafo eksitasi, yang berpotensi menurunkan keandalan serta mempercepat degradasi isolasi.
3. Kondisi lingkungan PLTU yang memiliki tingkat debu tinggi mempercepat proses penyumbatan filter sehingga frekuensi pemeliharaan harus ditingkatkan.
4. *Fan* memiliki umur pakai tertentu, sehingga komponen yang sudah melewati masa operasionalnya menjadi rentan mengalami kegagalan, terutama saat beban pendinginan tinggi.
5. Pemeliharaan yang kurang teratur pada sistem pendinginan, khususnya pada *fan* dan filter, menjadi salah satu faktor utama penyebab terulangnya gangguan *fan* trafo eksitasi.
6. Evaluasi metode pemeliharaan perlu dilakukan untuk memastikan inspeksi *fan*, pembersihan filter, dan monitor suhu dapat mencegah gangguan serupa di kemudian hari.

5.1.2 Kesimpulan Pelaksanaan *On The Job Training*

1. Kegiatan *On The Job Training* sangat membantu dalam meningkatkan wawasan serta keterampilan teknis taruna melalui pengalaman langsung di lingkungan kerja PLTU Paiton Unit 1 & 2.
2. Taruna memperoleh pemahaman nyata tentang proses identifikasi, analisis, dan penyelesaian permasalahan peralatan listrik, khususnya terkait kerusakan fan pada trafo eksitasi.

3. Melalui OJT, taruna mampu mengaplikasikan teori yang telah dipelajari di kampus ke dalam praktik lapangan sehingga menambah kompetensi teknis secara efektif dan efisien.
4. Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan selama OJT memberikan pengalaman langsung mengenai pentingnya *preventive maintenance*, seperti pembersihan filter fan dan monitoring suhu trafo.
5. Pelaksanaan OJT juga meningkatkan kemampuan komunikasi, kerja sama tim, dan kedisiplinan taruna ketika berinteraksi dengan teknisi, supervisor, dan personel di unit pembangkit.
6. Dengan pengalaman OJT, taruna memperoleh bekal pengetahuan yang bermanfaat untuk mempersiapkan diri memasuki dunia kerja, khususnya dalam bidang ketenagalistrikan dan pemeliharaan peralatan pembangkit.

5.2 Saran

5.2.1 Saran Permasalahan

Setelah menyelesaikan analisa permasalahan pada BAB IV, maka saya memberikan saran sebagai berikut:

1. Untuk mencegah terulangnya kerusakan *fan* pada trafo eksitasi, teknisi harus melakukan pembersihan filter *fan* secara berkala agar debu tidak menumpuk dan aliran udara pendingin tetap optimal.
2. Perlu dilakukan inspeksi rutin terhadap kondisi *fan*, baik dari segi mekanis, kelistrikan, maupun getaran, guna mendeteksi dini tanda kerusakan sebelum *fan* mengalami kegagalan total.
3. Monitoring temperatur trafo eksitasi harus ditingkatkan, terutama pada saat unit beroperasi dengan beban tinggi, untuk menghindari risiko *overheating* akibat pendinginan yang kurang optimal.
4. Lingkungan sekitar trafo perlu dievaluasi, dan apabila tingkat debu cukup tinggi maka dapat dipertimbangkan pemasangan filter tambahan atau modifikasi sistem ventilasi agar penyumbatan tidak cepat terjadi.
5. Penggantian *fan* yang telah melewati umur pakai atau menunjukkan penurunan performa harus dilakukan lebih cepat agar sistem pendinginan tetap bekerja secara efektif.

5.2.2 Saran Terhadap Pelaksanaan *On The Job Training*

Setelah melaksanakan *On The Job Training* (OJT), saya memberikan saran terhadap pelaksanaan OJT sebagai berikut:

1. Dalam pelaksanaan OJT, taruna diharapkan lebih aktif bertanya mengenai materi yang belum dipahami, serta tetap menjaga koordinasi dengan teknisi lapangan dalam setiap kegiatan kerja.
2. Taruna perlu memahami dengan baik Standar Operasional Prosedur (SOP) dan instruksi kerja agar pekerjaan dapat dilakukan secara aman, baik untuk personel maupun peralatan.
3. Pelaksanaan perawatan peralatan listrik secara rutin harus selalu dilakukan, karena kegiatan ini dapat memperpanjang umur peralatan dan mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan mendadak.
4. Penting bagi taruna untuk meningkatkan kemampuan observasi di lapangan, terutama dalam mendeteksi tanda-tanda gangguan peralatan sejak dini seperti getaran fan, suara abnormal, ataupun kenaikan temperatur.
5. Diharapkan kegiatan OJT ke depannya dapat memberikan lebih banyak kesempatan bagi taruna untuk terlibat langsung dalam proses troubleshooting agar pengalaman teknis yang diperoleh lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, H., Meng, L., Xi, Y., Xu, C., Wang, Y., Xin, M., Chen, G., & Chen, Y. (2023). *Power transformer oil temperature prediction based on empirical mode short-term memory*. <https://doi.org/10.1177/17483026231176196>
- Desember, J., Freeport, P., Di, I., Mesindo, P., Permata, E., & Muparidy, A. (2023). *Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah Pengujian Pada Transformator 3 Fasa 300 Kva Setelah Perbaikan Dengan Rewinding Milik Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah*. 14(2), 207–216.
- Desember, J., Nugraha, A., & Pahiyanti, N. G. (2024). *Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah Sistem Kendali dan Proteksi Coal Feeder pada Unit 1-4 PLN Indonesia Power UBP Suralaya* *Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah*. 15(2), 119–130.
- Devices, G. (2026). *Pc57.32*. 5, 6–7.
- Jakarta, D. K. I. (2023). *Penggunaan Pernafasan Pintar (Smart Breather) Pada Transformator Dibandingkan Dengan Pernafasan Konvensional*. 12(2), 54–61.
- Java, E. (2024). *COAL-FIRED POWER PLANTS FOR EMISSION REDUCTION AND*. 784–802.
- Jin, L., Kim, D., & Abu-siada, A. (2022). *Oil-Immersed Power Transformer Condition Monitoring Methodologies : A Review*.
- Li, Z., Li, S., Kang, Y., Li, Z., & Li, H. (2024). Erosion Characteristics of Oil-immersed On-load Tap Changer Contacts Under Varying Contact Speeds and Pressures. *Chinese Journal of Electrical Engineering*, 10(1), 21–34. <https://doi.org/10.23919/CJEE.2023.000044>
- Magnetostriction, S. S. (2024). *A Review of Power Transformer Vibration and Noise Caused by*.
- Makhraja, A., Tsai, T., Lee, J., & Hsu, W. (2024). *Ash conveying system upgrade from hydraulic to pneumatic system in a 550MW coal-fired power plant in*

Taiwan. 01002, 1–9.

Marzouk, O. A. (2024). *Subcritical and supercritical Rankine steam cycles , under elevated temperatures up to 900 ° C and absolute pressures up to 400 bara.* 16(1), 1–18. <https://doi.org/10.1177/16878132231221065>

Pembangkit, E., Esdm, W., Penyediaan, E., & Listrik, T. (2021). *Overview of PJB Group.*

Power, T. H. E., & Power, B. (n.d.). *Operating instructions.*

Preview, T. S. (2020). *INTERNATIONAL STANDARD.*

Series, I. O. P. C., & Science, M. (2021). *Efforts to Reduce SO 2 Emission in Paiton Coal-Fired Power Plant.* <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1096/1/012125>

Xia, Y. U. (2024). *Dynamic Thermal Performance of Transformer Bushings.*

Zauhari, A., Koswara, E., & Rachmat, A. (2022). *ANALYSIS OF STEAM POWER PLANT RANKINE CYCLE EFFICIENCY ANALYSIS AT PT. PG RAJAWALI II JATITUJUH UNIT.* 2(1), 33–39.

Zhu, Y., Huang, X., Bing, K., Liu, D., He, J., & Shi, H. (2024). *Research on the online monitoring technique for transformer oil level based on ultrasonic sensors MONITORING TECHNOLOGY BASED ON.* May, 349–360. <https://doi.org/10.1049/smt2.12203>

LAMPIRAN

