



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN ARUS BEBAN PADA
TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PENYULANG MENDUT
GARDU INDUK BANYUWANGI**

LAPORAN KERJA PRAKTEK

RAIHAN NAGIB

2006574654

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

DEPOK

JANUARI 2023



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN ARUS BEBAN PADA
TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PENYULANG MENDUT
GARDU INDUK BANYUWANGI**

LAPORAN KERJA PRAKTEK

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik

RAIHAN NAGIB

2006574654

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

DEPOK

JANUARI 2023

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Laporan Kerja Praktik ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Raihan Nagib

NPM : 2006574654

Tanda Tangan : 

Tanggal : 13 April 2023

LEMBAR PENGESAHAN

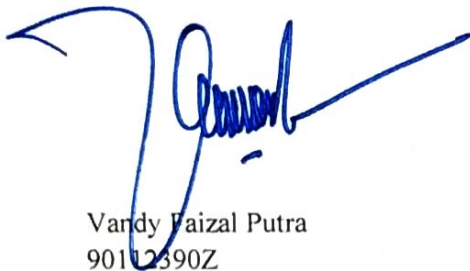
LAPORAN KERJA PRAKTIK

**PT PLN (PERSERO) UNIT PELAKSANA PELAYANAN PELANGGAN (UP3)
BANYUWANGI
DIVISI JARINGAN**

**Analisis Ketidakseimbangan Arus Beban pada Transformator Distribusi di
Penyulang Mendut Gardu Induk Banyuwangi**

02 Januari 2023 – 03 Februari 2023

Mengetahui,
Pembimbing Utama



Vardy Faizal Putra
90112390Z
Manajer Divisi Jaringan

Menyetujui,
Pembimbing Harian



Mohammad Arief Budi Perkasa
921410353ZY
Supervisor Pemeliharaan

Mengetahui,
Pembimbing Utama



Agus Susanto
7093034P
Manajer PLN UP3 Banyuwangi

Mengetahui,
Koordinator Kerja Praktik
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Dr. Ruki Harwahyu, ST, MT, MSc.
NUP : 100120910231409891

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu 'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan kerja praktik (KP) yang dilaksanakan di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi yang dilaksanakan pada tanggal 02 Januari 2023 – 03 Februari 2023. Pelaksanaan kegiatan kerja praktik ini dilakukan oleh penulis dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro di Universitas Indonesia.

Kerja Praktik (KP) merupakan salah satu mata kuliah wajib yang ada di jurusan Teknik Elektro Universitas Indonesia. Pada mata kuliah ini, mahasiswa akan melakukan kegiatan magang kerja di perusahaan yang terkait dengan bidang Teknik Elektro. Dengan menjalankan kerja praktik, mahasiswa diharapkan dapat menerapkan pengetahuan teknis yang telah diperoleh selama kuliah, maupun pengetahuan baru yang diberikan oleh pembimbing kerja praktik. Tidak hanya itu, mahasiswa diharapkan dapat menunjukkan profesionalisme dalam bekerja, seperti disiplin, tanggung jawab, dan lain sebagainya.

Penulis menyadari bahwa tanpa dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak, tentu akan sulit bagi penulis untuk menyelesaikan kegiatan kerja praktik, termasuk di dalamnya laporan kerja praktik ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang turut berkontribusi atas kegiatan kerja praktik ini, yang di antaranya adalah sebagai berikut.

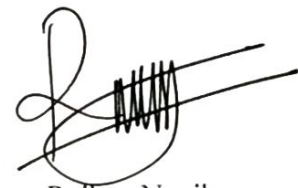
1. Keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan, baik itu moral ataupun moril, sehingga penulis dapat menyelesaikan rangkaian kegiatan kerja praktik beserta laporannya dengan tepat waktu.

2. Bapak Dr. Ruki Harwahyu, S.T., M.T., M.Sc. selaku koordinator Kerja Praktik di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
3. Bapak Ir. Agus R. Utomo., M.T. selaku pembimbing akademis penulis.
4. Bapak Agus Susanto selaku Manajer PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan kegiatan kerja praktik di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi.
5. Bapak Vandy Faizal Putra selaku Asisten Manajer Divisi Jaringan PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan kegiatan kerja praktik di divisi jaringan.
6. Bapak Mohammad Arief Budi Perkasa selaku Team Leader Pemeliharaan Divisi Jaringan PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi yang telah membimbing penulis dalam pelaksanaan kegiatan kerja praktik dan proses penulisan laporan kerja praktik ini.
7. Bapak I Gusti Ngurah Putra selaku Tim Leader Operasi Divisi Jaringan PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi yang telah membimbing penulis dalam pelaksanaan kegiatan kerja praktik dan proses penulisan laporan kerja praktik ini.
8. Semua pihak yang bekerja di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi, di Divisi Jaringan utamanya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah bermurah hati menerima penulis untuk melaksanakan kegiatan kerja praktik di divisi jaringan.
9. Rekan-rekan penulis lainnya yang telah memberikan doa dan dukungan, baik itu moral ataupun moral, kepada penulis dalam rangkaian kegiatan kerja praktik, maupun proses penyusunan laporannya.

Penulis menyadari bahwa laporan Kerja Praktik ini masih sangat jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun kepada pembaca sehingga hal tersebut bisa menjadi bahan

evaluasi untuk meningkatkan kualitas dari laporan kerja praktik ini. Semoga laporan kerja prakti ini bisa memberikan manfaat bagi penulis maupun pembaca.

Depok, 23 Maret 2023



Raihan Nagib

ABSTRAK

NAMA : RAIHAN NAGIB
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
JUDUL : ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN ARUS
BEBAN PADA TRANSFORMATOR
DISTRIBUSI DI PENYULANG MENDUT
GARDU INDUK BANYUWANGI

Ketidakseimbangan arus beban merupakan suatu fenomena dimana besar arus yang mengalir pada setiap fasa nilainya tidak sama atau ketiga vektor arus beban tidak membentuk sudut 120° satu sama lain. Ketidakseimbangan arus beban merupakan sesuatu yang harus dihindari/diminimisasi karena dapat menyebabkan kerugian. Hal ini disebabkan karena keadaan tidak seimbang pada arus beban akan menyebabkan munculnya sebuah besaran, yaitu arus netral (I_N) yang besarnya tergantung pada besarnya faktor ketidakseimbangan. Semakin besar arus netral yang mengalir pada penghantar netral, akan semakin banyak pula kerugian yang mungkin dapat dialami. Kerugian yang dapat dialami akibat mengalirnya arus netral pada penghantar netral bisa berupa *overheating* pada peralatan, hingga susut daya. Untuk meminimalisasi hal tersebut, perlu dilakukan analisis ketidakseimbangan arus beban pada transformator distribusi. Dengan analisis ketidakseimbangan arus beban, dapat direncanakan upaya perbaikan dengan melakukan penyeimbangan arus beban pada transformator distribusi sehingga kerugian yang dialami oleh penyedia energi listrik (PT PLN (Persero)) dapat ditekan.

Kata Kunci : arus, ketidakseimbangan, transformator, kerugian, perbaikan.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan	3
1.2.1. Umum	3
1.2.2. Khusus.....	3
1.3. Waktu dan Tempat Pelaksanaan Kerja Praktek	4
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Sistematika Penulisan	5
BAB 2 PROFIL PERUSAHAAN.....	7
2.1. Profil dan Sejarah Perusahaan.....	7
2.1.1. Visi dan Misi Perusahaan.....	8
2.1.2. Moto.....	9
2.1.3. Tata Nilai Perusahaan	9
2.1.4. Anak Perusahaan PLN	9
2.1.5. Logo Perusahaan	10
2.2. Kegiatan/Bidang Usaha Perusahaan	11
2.3. Lokasi Perusahaan	12
2.4. Struktur Organisasi Perusahaan	13
2.4.1. Struktur Organisasi PT PLN (Persero) Kantor Pusat	13
2.4.2. Struktur Organisasi PT PLN (Persero) UP3 Banyuwangi	13
2.4.3. Profil Divisi Jaringan	13
BAB 3 DASAR TEORI.....	15
3.1. Sistem Tenaga Listrik	15

3.1.1.	Sistem Pembangkitan.....	16
3.1.2.	Sistem Transmisi	20
3.1.3.	Sistem Distribusi	31
3.1.4.	Beban Listrik	41
3.2.	Gardu Induk dan Transformator	43
3.2.1.	Gardu Induk.....	43
3.2.2.	Transformator Distribusi.....	46
3.3.	Ketidakseimbangan Arus Beban	51
3.3.1.	Analisis Ketidakseimbangan Arus Beban pada Transformator Distribusi	53
3.3.2.	Analisis Rugi Daya Akibat Arus Netral.....	54
BAB 4	KEGIATAN DAN PEMBAHASAN.....	55
4.1.	Log Kegiatan Harian Pelaksanaan Kerja Praktik.....	55
4.1.1.	Gardu Induk Banyuwangi	59
4.2.	Penyulang Mendut	61
4.3.	Klasifikasi Gardu Distribusi	61
4.4.	Data Gardu Distribusi Penyulang Mendut	62
4.5.	Persentase Ketidakseimbangan Arus Beban.....	65
4.5.1.	Perhitungan Persentase Beban.....	66
4.5.2.	Perhitungan Persentase Ketidakseimbangan Arus Beban.....	67
4.5.3.	Data Keseluruhan Persentase Ketidakseimbangan Arus Beban.	68
4.6.	Rugi-Rugi Daya.....	71
4.6.1.	Perhitungan Daya Aktif Transformator Distribusi	71
4.6.2.	Perhitungan Rugi Daya Akibat Arus Netral.....	71
4.6.3.	Perhitungan Persentase Rugi Daya Akibat Arus Netral	73
4.6.4.	Data Keseluruhan Persentase Rugi Daya Akibat Arus Netral ...	73
4.7.	Penyeimbangan Arus Beban Transformator Distribusi	75
4.7.1.	Analisis Pengukuran Arus Beban sebelum Perbaikan	76
4.7.2.	Penyusunan Rencana Perbaikan Ketidakseimbangan Arus Beban 77	
4.7.3.	Pelaksanaan Penyeimbangan Beban Transformator.....	79
4.7.4.	Pengukuran Pembebanan Setelah Perbaikan dan Evaluasi	81
BAB 5	KESIMPULAN	82
5.1.	Kesimpulan.....	82
5.2.	Saran.....	82
5.2.1.	Bagi Perusahaan	83
5.2.2.	Bagi Universitas	83
5.2.3.	Bagi Mahasiswa.....	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Logo PT PLN (Persero).....	10
Gambar 2-2 Kantor Pusat PLN (Persero)	12
Gambar 2-3 Lokasi PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi pada Google Map	12
Gambar 2-4 Struktur Organisasi PT PLN (Persero) Kantor Pusat	13
Gambar 2-5 Struktur Organisasi PT PLN (Persero) UP3 Banyuwangi.....	13
Gambar 2-6 Struktur Organisasi Bagian Jaringan.....	14
Gambar 3-1 Skema Sistem Tenaga Listrik	16
Gambar 3-2 Generator AC 3 Fasa	17
Gambar 3-3 PLTU Paiton	18
Gambar 3-4 Proses Konversi Energi Listrik	19
Gambar 3-5 Saluran Udara.....	22
Gambar 3-6 Saluran Bawah Tanah.....	22
Gambar 3-7 Saluran Bawah Laut	23
Gambar 3-8 Saluran Udara Tegangan Tinggi	24
Gambar 3-9 Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi	24
Gambar 3- 10 Saluran Udara Tegangan Ultra Tinggi	25
Gambar 3-11 Saluran Transmisi Arus Searah (DC).....	26
Gambar 3-12 Pemutus Tenaga (PMT).....	26
Gambar 3-13 Pemisah (PMS)	27

Gambar 3-14 <i>Current Transformer</i>	27
Gambar 3-15 <i>Potential Transformer</i>	28
Gambar 3-16 <i>Lightning Arrester</i>	28
Gambar 3-17 <i>Line Trap</i>	29
Gambar 3-18 Transformator Daya	29
Gambar 3-19 <i>Relay Bocholz</i>	29
Gambar 3-20 <i>Neutral Ground Resistor (NRG)</i>	30
Gambar 3-21 Penghantar	30
Gambar 3-22 Isolator Gantung untuk Saluran Transmisi	31
Gambar 3-23 Menara Transmisi.....	31
Gambar 3-24 Saluran Udara Tegangan Menengah	32
Gambar 3-25 Konfigurasi Jaringan Sistem Radial Terbuka	36
Gambar 3-26 Konfigurasi Jaringan Sistem Radial Tertutup.....	36
Gambar 3-27 Konfigurasi Jaringan Sistem Kluster.....	37
Gambar 3-28 Konfigurasi Jaringan Sistem Spindel	37
Gambar 3-29 Transformator Distribusi	38
Gambar 3-30 Tiang Listrik.....	38
Gambar 3-31 Fuse Cut-Off	39
Gambar 3-32 <i>Load Break Switch (LBS)</i>	39
Gambar 3- 33 <i>Load Break Switch Motorized (LBSM)</i>	40
Gambar 3-34 <i>Recloser</i>	40
Gambar 3-35 Isolator Pin.....	41

Gambar 3-36 <i>Lightning Arrester</i>	41
Gambar 3-37 Grafik Hubungan Arus dan Tegangan Beban Resistif	42
Gambar 3-38 Grafik Arus dan Tegangan Beban Resistif	43
Gambar 3-39 Grafik Hubungan Arus dan Tegangan Beban Induktif	43
Gambar 3-40 Gardu Induk Tipe Pemasangan Luar	44
Gambar 3-41 Gardu Induk Tipe Pemasangan Dalam	45
Gambar 3-42 Gardu Induk dengan Isolasi Udara	45
Gambar 3-43 Gardu Induk dengan Isolasi Gas SF ₆	46
Gambar 3-44 Transformator Distribusi (Tiga Fasa)	47
Gambar 3-45 Komponen-Komponen pada Transformator	48
Gambar 3-46 Prinsip Kerja Transformator	49
Gambar 3-47 Power Flow Diagram dari Transformator	51
Gambar 3-48 Vektor Diagram Arus Beban yang Seimbang	51
Gambar 3-49 Contoh Kasus Vektor Diagram Arus Beban tidak Seimbang	52
 Gambar 4-1 TRANSFORMATOR 2 SHANDONG	 60
Gambar 4-2 <i>Single Line Diagram</i> Penyulang Mendut	61
Gambar 4-3 Spesifikasi Salah Satu Transformator Distribusi	63
Gambar 4-4 Vektor Diagram Arus Beban Transformator Distribusi JA542	66
Gambar 4-5 Blok Diagram Langkah Perbaikan Ketidakseimbangan Arus Beban	76
Gambar 4- 6 Tang Meter	77

Gambar 4-7 Dokumentasi Pengukuran Arus Beban pada Transformator Distribusi	77
Gambar 4-8 Line Tap Connector (type press) 6-25 / 35 – 70 mm	79
Gambar 4-9 Heatshrink.....	79
Gambar 4-10 Helm Safety	80
Gambar 4-11 Rompi Safety	80
Gambar 4-12 Sepatu Safety 20 kV	80
Gambar 4-13 Sarung Tangan Safety 5 kV	81
Gambar 4-14 Dokumentasi Penyeimbangan Beban Transformator Distribusi.....	81

DAFTAR TABEL

Tabel 4-1 Log Kegiatan Harian Pelaksanaan Kerja Praktik	59
Tabel 4-2 Data Gardu Induk Banyuwangi	60
Tabel 4-3 Standar Beban Transformator.....	62
Tabel 4-4 Tabel Data Gardu Distribusi Penyulang Mendut	65
Tabel 4-5 Data Persentase Ketidakseimbangan Arus Beban Transformator Distribusi dan Hasil Klasifikasinya	70
Tabel 4-6 Data Persentase Rugi Daya pada Transformator Distribusi Akibat Arus Netral	75
Tabel 4-7 Data Arus Beban pada Fasa R, S, dan T Transformator Distribusi JA542	78
Tabel 4-8 Rencana Pemindahan Beban pada Transformator Distribusi JA542....	78
Tabel 4-9 Peralatan yang Diperlukan untuk Melakukan Penyeimbangan Arus Beban	79

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu bentuk energi yang sangat dibutuhkan dalam memenuhi kebutuhan hidup manusia pada saat ini. Perkembangan teknologi yang pesat telah menghasilkan banyak produk-produk yang membutuhkan listrik sebagai sumber energi utamanya. Pada saat ini, energi listrik telah menjadi kebutuhan utama bagi manusia untuk menunjang kegiatan mereka di berbagai bidang, mulai dari kegiatan rumah tangga, sosial, hingga industri.

Seiring bertambahnya jumlah penduduk, kebutuhan masyarakat akan energi listrik kian meningkat. PT Perusahaan Listrik Negara LN (Persero) atau biasa disingkat menjadi PT PLN (Persero) merupakan sebuah badan usaha milik negara Indonesia yang bergerak di bidang kelistrikan, meliputi pembangkitan, transmisi, dan distribusi energi listrik kepada masyarakat. Melalui proses-proses tertentu, energi listrik dapat dihasilkan sehingga bisa disuplai kepada masyarakat untuk memenuhi kebutuhan mereka akan energi listrik.

Pada sistem pembangkitan, akan dihasilkan energi listrik dengan mengubah energi primer, yang berasal dari energi terbarukan maupun nonterbarukan, menjadi energi listrik. Dalam prosesnya, digunakan generator AC 3 fasa yang berperan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Sebelum ditransmisikan menuju pelanggan, nilai tegangan listrik keluaran dari sistem pembangkit akan ditingkatkan untuk mengurangi rugi-rugi dengan menggunakan transformator daya. Pada akhirnya, tegangan akan kembali diturunkan di sistem distribusi dengan menggunakan transformator gardu induk atau transformator distribusi untuk disesuaikan dengan kebutuhan pelanggan.

Pada prosesnya untuk menyuplai energi listrik kepada masyarakat, akan terdapat rugi-rugi energi listrik yang tidak terhindarkan. Untuk memperkecil rugi-rugi energi listrik yang dapat merugikan PT PLN (Persero), tentu diperlukan suatu sistem tenaga listrik yang andal. Sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi yang berkualitas akan membuat rugi-rugi energi listrik dapat ditekan.

Pada sistem distribusi khususnya, terdapat beberapa bagian penting, mulai dari gardu induk (GI), jaringan tegangan menengah (TM)/distribusi primer, gardu distribusi (GD),

hingga jaringan tegangan rendah (TR)/distribusi sekunder. Pada gardu induk, terdapat suatu transformator yang berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi atau ekstra tinggi (150 kV/500 kV) dari sistem transmisi menjadi tegangan menengah (20 kV) untuk sistem distribusi. Adapun pada gardu distribusi, terdapat juga suatu transformator yang berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah (20 kV) menjadi tegangan rendah (380 V atau 220 V) yang siap digunakan oleh pelanggan (rumah tangga utamanya).

Penyulang atau disebut juga dengan istilah *feeder* merupakan bagian dari sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan/mendistribusikan energi listrik dengan tegangan 20 kV dari gardu induk menuju gardu distribusi hingga sampai kepada konsumen dengan tegangan 380 V atau 220 V. Gardu induk terdiri dari beberapa transformator daya, dan masing-masing transformator daya memiliki beberapa penyulang.

Suatu penyulang akan terdiri dari banyak gardu distribusi dan setiap gardu distribusi akan memiliki transformator distribusi. Seperti yang telah disinggung sebelumnya, transformator distribusi ini berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Dalam hal ini, terdapat suatu masalah pada transformator distribusi yang dapat menyebabkan rendahnya efisiensi transformator. Rendahnya efisiensi transformator akan menyebabkan tingginya nilai *losses* (rugi-rugi) yang dapat menyebabkan kerugian bagi PT PLN (Persero) dan pelanggan. Permasalahan yang dimaksud adalah ketidakseimbangan arus beban.

Ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi dapat disebabkan karena tidak meratanya beban di setiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T). Hal ini dapat menyebabkan mengalirnya arus di saluran netral (N) yang besarnya tergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi. Arus yang mengalir pada saluran netral transformator distribusi akan menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi) daya disepanjang saluran tersebut.

Pada awalnya, pembagian beban listrik di setiap fasa dapat terbilang cukup merata. Akan tetapi, pertumbuhan jumlah pelanggan yang tidak sama di setiap fasanya pada nantinya dapat menyebabkan faktor ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi semakin meningkat. Oleh karena itu, pada laporan ini penulis akan melakukan perhitungan dan analisis ketidakseimbangan arus beban pada setiap gardu distribusi yang ada di Penyulang Mendut Gardu Induk Banyuwangi.

1.2. Tujuan

1.2.1. Umum

1. Untuk memenuhi persyaratan akademis sarjana S1 Teknik Elektro, yang telah ditetapkan oleh Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
2. Untuk menyelesaikan mata kuliah Kerja Praktik (KP) sebagai salah satu mata kuliah wajib di jurusan Teknik Elektro, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
3. Untuk menambah ilmu pengetahuan yang akan diperoleh selama kerja praktik dengan modal ilmu pengetahuan dasar yang diperoleh selama masa perkuliahan.
4. Untuk menerapkan pengetahuan teknis yang telah diperoleh selama kuliah sebelumnya dan materi baru yang diberikan oleh pembimbing kerja praktik.
5. Untuk mempelajari etika dalam lingkungan bekerja yang sesungguhnya, berupa profesionalisme dalam bekerja, seperti kemampuan untuk bekerja sama dalam tim, perilaku disiplin, tanggung jawab, inisiatif dan minat, kepemimpinan, sikap/tingkah laku terpuji, serta potensi untuk berkembang.
6. Untuk ikut serta dalam tim dalam menyelesaikan masalah pekerjaan.

1.2.2. Khusus

1. Untuk memahami proses energi listrik dapat digunakan oleh pelanggan untuk kebutuhan sehari-hari.
2. Untuk mempelajari Sistem Tenaga Listrik, utamanya di bagian sistem distribusi.
3. Untuk mempelajari mengenai rugi-rugi (*losses*) yang terjadi dalam proses energi listrik dialirkan kepada pelanggan.
4. Untuk memahami mekanisme-mekanisme yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik.
5. Untuk memahami ketidakseimbangan arus beban pada transformator distribusi yang ada di gardu distribusi.

6. Untuk memahami cara perhitungan faktor ketidakseimbangan pada transformator distribusi yang ada di gardu distribusi.
7. Untuk memahami solusi yang dapat dilakukan untuk memperkecil ketidakseimbangan arus beban pada transformator distribusi yang ada di gardu distribusi.

1.3. Waktu dan Tempat Pelaksanaan Kerja Praktek

Kegiatan kerja praktik ini dilakukan pada tanggal 02 Januari 2023 hingga 05 Februari 2023 di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi yang berlokasi di Jl. Nusantara No. 1, Kp. Melayu, Kec. Banyuwangi, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur, 68412.

1.4. Batasan Masalah

Pada laporan kegiatan kerja praktik ini, dibuat beberapa batasan masalah untuk membatasi fokus analisis yang bisa dilakukan oleh penulis. Di antara beberapa batasan masalah yang dibuat oleh penulis yakni sebagai berikut.

1. Sistem tenaga listrik yang dipelajari dibatasi pada sistem distribusi utamanya.
2. Terdapat dua buah gardu induk yang ada di Banyuwangi, yakni Gardu Induk Banyuwangi dan Gardu Induk Genteng. Dalam hal ini, mahasiswa khususnya akan mempelajari dan melakukan analisis terhadap salah satu penyulang yang ada di Gardu Induk Banyuwangi.
3. Pada Gardu Induk Banyuwangi, terdapat empat buah transformator Gardu Induk, di antaranya adalah TRAFO 1 XIA 30 MVA, TRAFO 2 SHANDONG 60 MVA, TRAFO 3 TELK 30 MVA, dan TRAFO 4 PAUWELS 60 MVA. Dalam hal ini, mahasiswa akan mempelajari dan melakukan analisis terhadap salah satu penyulang yang ada di TRAFO 2 SHANDONG 60 MVA.
4. Pada TRAFO 2 SHANDONG 60 MVA, terdapat empat buah penyulang, di antaranya adalah penyulang Wongsorejo, Ijen, Suritani, dan Mendut. Dalam hal ini, mahasiswa akan mempelajari dan melakukan analisis terhadap penyulang Mendut.
5. Analisis dibatasi pada ketidakseimbangan arus beban pada setiap transformator distribusi yang ada di setiap gardu distribusi di penyulang Mendut.

1.5. Sistematika Penulisan

Laporan kerja praktik ini terdiri atas lima buah bab yang di antaranya adalah sebagai berikut.

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini, dibahas mengenai latar belakang, tujuan (umum dan khusus), waktu dan tempat pelaksanaan kerja praktik, batasan masalah, dan sistematika penulisan dari laporan kerja praktik.

BAB 2 PROFIL PERUSAHAAN

Pada bab ini, dibahas mengenai profil dan sejarah perusahaan, kegiatan/bidang usaha dari perusahaan, lokasi perusahaan, struktur organisasi, dan profil dari divisi mahasiswa ditempatkan.

BAB 3 DASAR TEORI

Pada bab ini, dibahas secara detail dan mendalam mengenai dasar teori yang berkaitan dengan kegiatan dan laporan kerja praktik yang dibutuhkan untuk keperluan analisis dan pembahasan.

BAB 4 KEGIATAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, dibahas tentang rincian kegiatan yang dilakukan mahasiswa selama melaksanakan kerja praktik, analisis data, pengolahan data, dan solusi yang diperlukan untuk mengatasi masalah yang diangkat.

BAB 5 PENUTUP

Pada bab ini, dibahas tentang kesimpulan dari seluruh isi laporan kerja praktik, serta saran bagi instansi, universitas, dan mahasiswa sebagai bahan evaluasi dari kegiatan kerja praktik yang dilakukan oleh mahasiswa agar bisa lebih baik kedepannya.

BAB 2

PROFIL PERUSAHAAN

2.1. Profil dan Sejarah Perusahaan

PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) atau biasa disingkat menjadi PLN merupakan sebuah badan usaha milik negara (BUMN) yang bergerak di bidang pembangkitan, transmisi, hingga distribusi tenaga listrik. Dalam hal ini, PLN merupakan bagian dari perusahaan perseroan di bawah kementerian BUMN. Dalam proses pelayanannya dalam mendistribusikan tenaga listrik kepada masyarakat Indonesia, PT PLN (Persero) membagi-bagi fungsi unit induknya ke dalam beberapa unit induk, yakni pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Tidak hanya itu, terdapat juga unit induk pusat atau pusat-pusat lainnya sebagai penunjang berlangsungnya proses distribusi tenaga listrik kepada masyarakat Indonesia. Dikarenakan luasnya cakupan wilayah kerja PLN, maka PT PLN (Persero) memiliki unit-unit yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia, dimana masing-masing unit mempunyai fungsinya tersendiri sesuai dengan unit induknya.

Sejarah PT PLN (Persero) berawal di akhir abad ke-19, dimana pabrik gula dan pabrik ketenagalistrikan di Indonesia mulai ditingkatkan saat beberapa perusahaan asal Belanda yang bergerak di bidang pabrik gula dan teh mulai mendirikan pembangkit tenaga listrik untuk keperluannya sendiri. Pada tahun 1942-1945, saat Indonesia dijajah oleh Jepang, tepatnya setelah Belanda menyerah kepada pasukan tentara Jepang di awal Perang Dunia II, proses pengelolaan perusahaan-perusahaan Belanda tersebut dilakukan oleh Jepang [1].

Proses peralihan kekuasaan kembali terjadi pada Agustus 1945, di akhir Perang Dunia II, tepatnya saat Jepang menyerah kepada Sekutu. Kesempatan emas ini dimanfaatkan oleh para pemuda dan buruh listrik, melalui delegasi Buruh/Pegawai Listrik dan Gas yang Bersama-sama dengan Pemimpin KNI Pusat, untuk bernisiatif menghadap kepada Presiden Soekarno untuk menyampaikan perihal penyerahan perusahaan-perusahaan tersebut kepada Pemerintah Republik Indonesia. Pada tanggal 27 Oktober 1945, Presiden Soekarno mendirikan Jawatan Listrik dan Gas yang berada di bawah Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga dengan kapasitas pembangkit tenaga listrik sebesar 157,5 MW [1].

Pada tanggal 1 Januari 1961, Jawatan Listrik dan Gas diubah Namanya menjadi BPU-PLN (Badan Pemimpin Umum Perusahaan Listrik Negara) yang bergerak di bidang

listrik, gas, dan kokas. Akan tetapi, pada tanggal 1 Januari 1965, perusahaan ini dibubarkan. Di saat yang bersamaan, dua perusahaan negara, yaitu Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai pengelola tenaga listrik milik negara dan Perusahaan gas Negara (PGN) sebagai pengelola gas diresmikan [1].

Pada tahun 1972, sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 18, Perusahaan Listrik Negara (PLN) ditetapkan statusnya sebagai Perusahaan Umum Listrik Negara dan sebagai Pemegang Kuasa Usaha Ketenagalistrikan (PKUK) dengan tugasnya untuk menyediakan tenaga listrik bagi kepentingan umum [1].

Pada tahun 1994, seiring dengan kebijakan Pemerintah yang memberikan kesempatan kepada sektor swasta untuk bergerak dalam bisnis penyediaan listrik, sesuai dengan PP No. 23/1994, PLN kembali beralih statusnya dari Perusahaan Umum menjadi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara atau disingkat menjadi PT PLN (Persero) berdasarkan akta 169 tanggal 30 Juli 1994 dari Sutjipto, Notaris. Tidak hanya itu, PLN ditetapkan sebagai PKUK dalam menyediakan energi listrik bagi kepentingan umum hingga sekarang [1].

Sepanjang 75 tahun perjalanan, PT PLN (Persero) telah berhasil menjadi salah satu perusahaan dengan aset terbesar di Indonesia, yakni sebesar Rp1.589 triliun (*LK PT PLN (Persero) 2020 Audited*).

2.1.1. Visi dan Misi Perusahaan

2.1.1.1. Visi

PT PLN (Persero) memiliki visi untuk “Menjadi Perusahaan Listrik Terkemuka se-Asia Tenggara dan #1 Pilihan Pelanggan untuk Solusi Energi [1].

2.1.1.2. Misi

PT PLN (Persero) memiliki misi yang di antaranya adalah sebagai berikut.

- Menjalankan bisnis kelistrikan dan bidang lain yang terkait, berorientasi pada kepuasan pelanggan, anggota perusahaan dan pemegang saham [1].

- Menjadikan tenaga listrik sebagai media untuk meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat.
- Mengupayakan agar tenaga listrik menjadi pendorong kegiatan ekonomi [1].
- Menjalankan kegiatan usaha yang berwawasan lingkungan [1].

2.1.2. Moto

PT PLN (Persero) memiliki moto yaitu “Listrik untuk Kehidupan yang Lebih Baik” [1].

2.1.3. Tata Nilai Perusahaan

Tata nilai dari PT PLN (Persero) yaitu AKHLAK. AKHLAK merupakan akronim dari.

1. AMANAH : memegang teguh kepercayaan yang diberikan [1].
2. KOMPETEN : terus belajar dan mengembangkan kapabilitas [1].
3. HARMONIS : saling peduli dan menghargai perbedaan [1].
4. LOYAL : berdedikasi dan mengutamakan kepentingan bangsa dan negara [1].
5. ADAPTIF : terus berinovasi dan antusias dalam menggerakkan ataupun menghadapi perubahan [1].
6. KOLABORATIF : membangun kerja sama yang sinergis [1].

2.1.4. Anak Perusahaan PLN

PT PLN (Persero) memiliki beberapa anak perusahaan yang di antaranya adalah sebagai berikut.

1. Power Indonesia Power (IP)
2. PT Pembangkitan Jawa Bali (PT PJB)
3. PT Pelayanan Listrik Nasional Batam (PT PLN Batam)
4. PT Indonesia Comnets Plus (PT ICON+)
5. PT PLN Tarakan
6. PT PLN Batubara
7. PT PLN Gas & Geothermal

8. PT Prima Layanan Nasional Enjiniring (PLN-E)
9. Majapahit Holding BV
10. PT Haleyora Power
11. PT Pelayaran Bahtera Adhiguna
12. PT Energy Management Indonesia (PT EMI)
13. PT Mandau Cipta Tenaga Nusantara (PT MCTN)

2.1.5. Logo Perusahaan

Bentuk, warna, dan makna dari logo PT PLN (Persero) yang digunakan sesuai dengan yang tercantum pada Lampiran Surat Keputusan Direksi Perusahaan Umum Listrik Negara No. : 031/DIR/76 Tanggal : 1 Juni 1976, tentang Pembakuan Lambang Perusahaan Umum Listrik Negara.



Gambar 2-1 Logo PT PLN (Persero)

2.1.5.1. Bidang Persegi

Bidang persegi berwarna kuning, tanpa garis pinggir, yang merupakan bidang dasar bagi elemen-elemen yang lainnya melambangkan bahwa PT PLN (Persero) merupakan suatu wadah atau organisasi yang terorganisir dengan sempurna. Warna kuning menggambarkan pencerahan, seperti yang diharapkan oleh PT PLN (Persero) dimana energi listrik yang diproduksi oleh mereka mampu menciptakan pencerahan bagi kehidupan masyarakat Indonesia. Tidak hanya itu, warna kuning juga menggambarkan semangat menyala-nyala yang dimiliki oleh setiap insan yang berkarya di PT PLN (Persero) [2].

2.1.5.2. Petir atau Kilat

Petir atau kilat, berwarna merah dengan bagian atas tebal dan bawah runcing, serta memotong tiga buah gelombang, melambangkan tenaga listrik yang terkandung di dalamnya sebagai produk jasa utama yang dihasilkan oleh PT PLN (Persero). Selain itu, petir atau kilat juga menggambarkan kerja cepat dan tepat para insan di PT PLN (Persero) dalam memberikan solusi yang terbaik bagi pelanggannya. Warna merah pada lambang ini merepresentasikan kedewasaan dari PT PLN (Persero) selaku perusahaan listrik pertama di Indonesia dan dinamisme gerak laju PT PLN (Persero) beserta insan perusahaan, serta keberanian dalam menghadapi perkembangan zaman [2].

2.1.5.3. Tiga Gelombang

Tiga gelombang berwarna biru, berbentuk sinusoidal (2,5 periode) dengan ujung gelombang menghadap ke bawah, tersusun sejajar dalam arah mendatar dan terletak di tengah-tengah persegi kuning memiliki arti sebagai gaya rambat energi listrik yang dialirkan oleh tiga bidang usaha utama yang digeluti oleh PT PLN (Persero), yakni pembangkitan, penyaluran, dan distribusi yang seiring dengan kerja keras pada insan di PT PLN (Persero) guna memberikan layanan terbaik pada pelanggannya. Warna biru pada simbol ini melambangkan kesetiaan dan pengabdian pada tugas untuk menuju dan mencapai kemakmuran dan kesejahteraan rakyat Indonesia, serta keandalan yang dimiliki oleh insan di PT PLN (Persero) dalam memberikan layanan terbaik bagi para pelanggannya [2].

2.2. Kegiatan/Bidang Usaha Perusahaan

PT PLN (Persero) merupakan badan usaha milik negara (BUMN) yang bergerak di bidang energi listrik, termasuk di dalamnya proses pembangkitan, transmisi, dan hingga distribusi energi listrik. PT PLN (Persero) memiliki 11 anak perusahaan yang mendukung kinerja dan pelayanan perusahaan. Adapun anak perusahaan yang dari PT PLN (Persero) ini bergerak di bidang pembangkitan, penyediaan tenaga listrik, telekomunikasi, keuangan, dan pelayanan pemeliharaan. Adapun untuk PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi merupakan perusahaan yang berperan dalam proses distribusi

energi listrik kepada pelanggan (system distribusi tegangan menengah dan tegangan rendah).

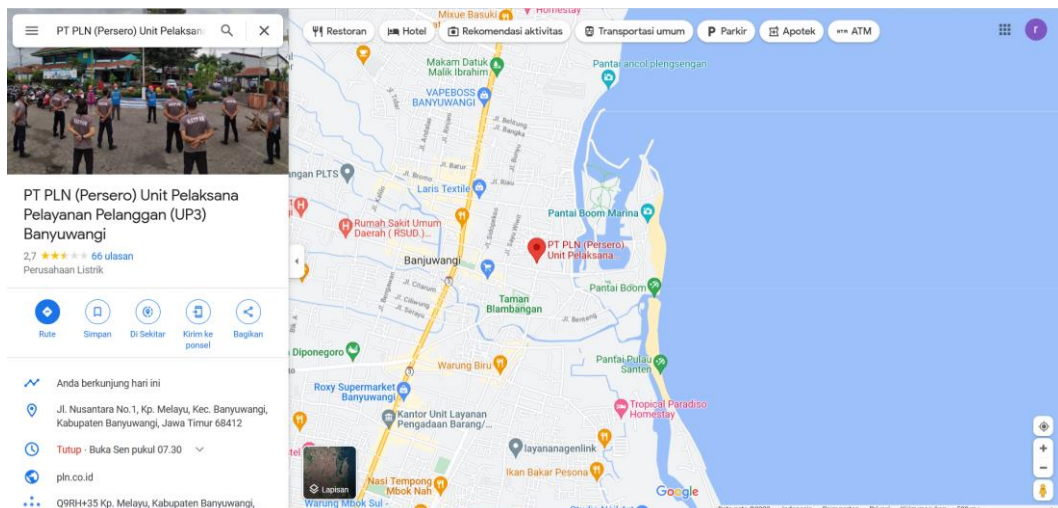
2.3. Lokasi Perusahaan

Kantor pusat dari PT PLN (Persero) beralamatkan di jalan Trunojoyo Blok M–I No. 135, RT6/RW2, Melawai, Kebayoran Baru, Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta, 12160.



Gambar 2-2 Kantor Pusat PLN (Persero)

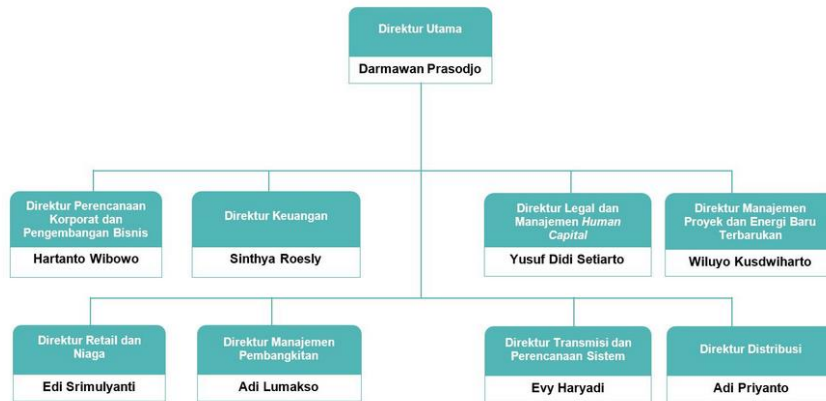
Adapun untuk PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi sendiri berlamatkan di jalan Nusantara No. 1, Kp. Melayu, Kec. Banyuwangi, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur, 68412.



Gambar 2-3 Lokasi PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi pada Google Map

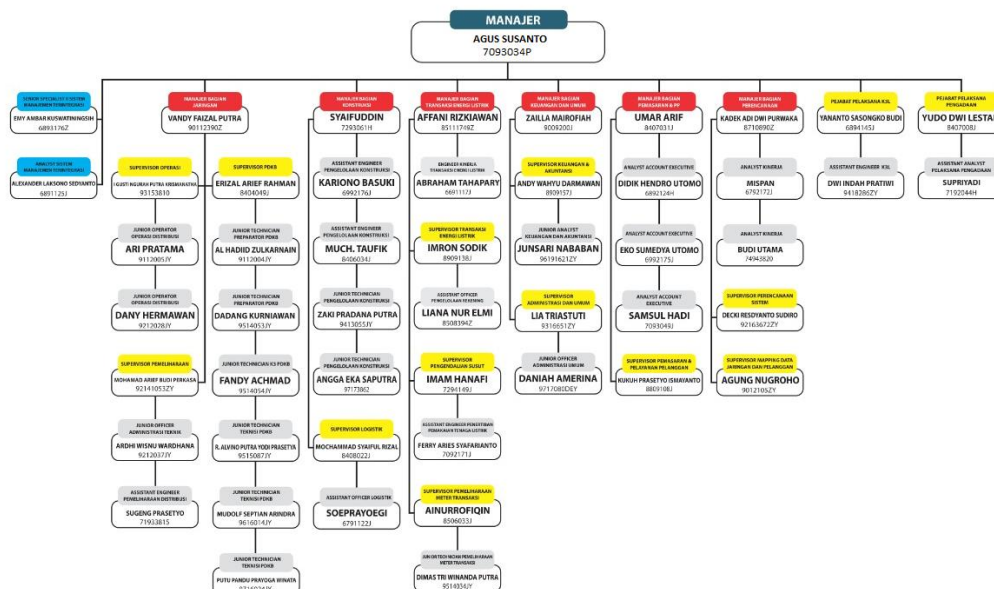
2.4. Struktur Organisasi Perusahaan

2.4.1. Struktur Organisasi PT PLN (Persero) Kantor Pusat



Gambar 2-4 Struktur Organisasi PT PLN (Persero) Kantor Pusat

2.4.2. Struktur Organisasi PT PLN (Persero) UP3 Banyuwangi



Gambar 2-5 Struktur Organisasi PT PLN (Persero) UP3 Banyuwangi

2.4.3. Profil Divisi Jaringan

Divisi Jaringan merupakan salah satu bagian yang ada pada PT PLN (Perseo) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi yang menjadi tempat mahasiswa melaksanakan kerja praktik. Divisi jaringan bertanggung jawab atas

rencana dan pelaksanaan operasi, pemeliharaan jaringan distribusi, dan pekerjaan dalam keadaan bertegangan (PDKB) untuk menjamin mutu dan keandalan dari jaringan distribusi. Dengan adanya divisi jaringan, diharapkan dimiliki sistem pendistribusian energi listrik yang andal sehingga masyarakat bisa memperoleh energi listrik secara kontinu.

Divisi jaringan dikepalai oleh seorang manajer jaringan. Berikut ini merupakan beberapa tugas pokok dari manajer jaringan.

- Menyusun Program Rencana Kerja (PRK) untuk kegiatan operasi dan pemeliharaan jaringan distribusi.
- Melakukan monitoring dan evaluasi pelaksanaan operasi dan pemeliharaan jaringan distribusi, PDKB.
- Melakukan monitoring dan evaluasi pelaksanaan anggaran operasi dan pemeliharaan jaringan distribusi.
- Melakukan analisis dan evaluasi kinerja operasi dan pemeliharaan jaringan distribusi termasuk PDKB.
- Melakukan monitoring dan evaluasi kinerja proteksi distribusi dan pelayanan teknik.



Gambar 2-6 Struktur Organisasi Bagian Jaringan

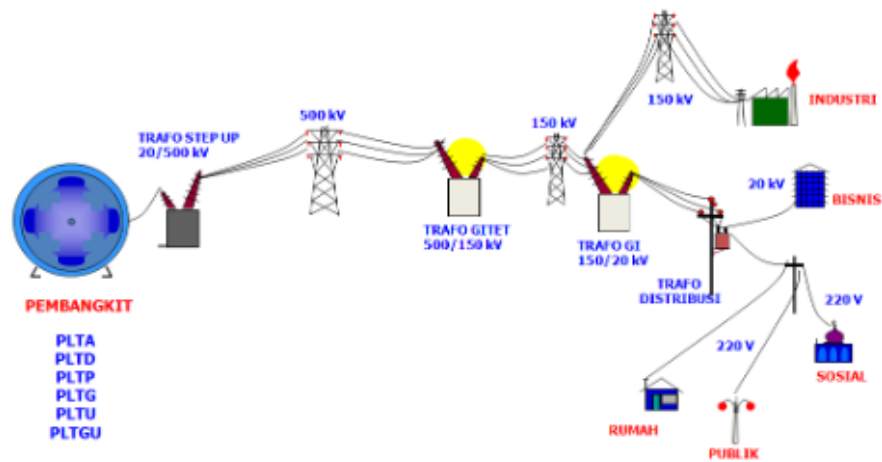
BAB 3

DASAR TEORI

3.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik didefinisikan sebagai suatu sistem jaringan yang terdiri dari berbagai macam komponen listrik yang digunakan untuk memasok (membangkitkan), mengirimkan, dan mendistribusikan tenaga listrik sehingga bisa digunakan oleh konsumen. Suplai tenaga listrik dapat diperoleh melalui proses pembangkitan tenaga listrik yang dilakukan di pusat pembangkitan tenaga listrik, proses pengiriman dapat dilakukan melalui sistem transmisi tenaga listrik, serta proses distribusi dan konsumsi tenaga listrik dilakukan melalui proses penggunaan energi listrik oleh rumah (seperti menyalakan lampu, kulkas, dan peralatan lainnya yang butuh listrik dalam pengoperasiannya), maupun industri seperti pengoperasian motor besar.

Pada Sistem Tenaga Listrik, pusat pembangkitan tenaga listrik biasanya terletak di suatu lokasi yang jauh dari tempat konsumsinya. Energi listrik dihasilkan di pusat pembangkitan tenaga listrik dengan mengubah sumber energi lain menjadi energi listrik. Sumber-sumber energi lain yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik ini dapat meliputi bahan kimia, panas, hidrolik, mekanik, panas bumi, nuklir, matahari, angin, air, dan lain-lain. Energi listrik yang dihasilkan dari proses konversi energi ini kemudian akan ditingkatkan tegangannya (dengan menggunakan transformator daya) menjadi tegangan tinggi atau ekstra tinggi untuk memperkecil rugi-rugi daya sebelum disalurkan ke saluran transmisi tenaga listrik dalam jarak yang jauh. Selanjutnya, energi listrik bertegangan tinggi ini akan diturunkan nilai tegangannya menjadi tegangan menengah oleh transformator di gardu induk. Dalam tahap ini, energi listrik akan disalurkan melalui jaringan distribusi primer pada level tegangan menengah sebelum kembali diturunkan tegangannya oleh transformator di gardu distribusi menjadi tegangan rendah dan akhirnya disalurkan melalui jaringan distribusi sekunder kepada konsumen (ataupun langsung disalurkan kepada konsumen pada jaringan distribusi primer jika memang diperlukan).



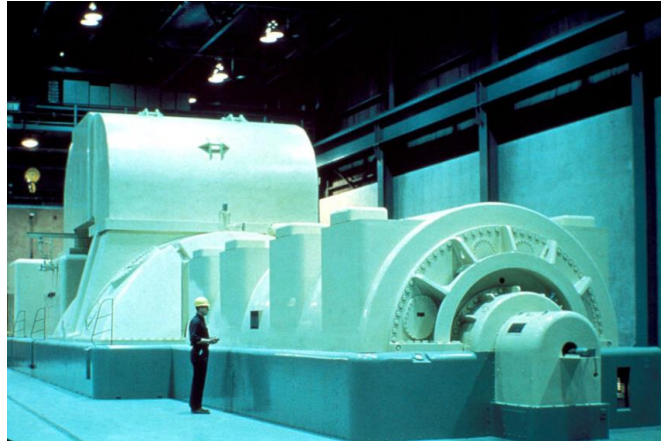
Gambar 3-1 Skema Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik memiliki 3 buah bagian utama yang tidak dapat dipisahkan dan akan terus berkoordinasi sehingga dapat memenuhi tujuan dari operasi suatu sistem tenaga listrik. Di antara ketiga bagian utama dari Sistem Tenaga Listrik yakni, sistem pembangkitan, transmisi, dan distribusi.

3.1.1. Sistem Pembangkitan

Sistem pembangkitan merupakan sistem yang berperan dalam menghasilkan energi listrik dengan mengubah energi primer, yang berasal dari energi terbarukan maupun nonterbarukan, menjadi energi listrik. Pada sistem pembangkitan, biasanya digunakan generator AC 3 fasa yang biasa disebut juga dengan generator sinkron ataupun alternator.

Generator merupakan salah satu jenis mesin listrik yang terdiri dari dua bagian utama, yakni rotor dan stator. Generator sinkron berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik dimana frekuensi elektrisnya sinkron dengan putaran rotornya. Pada prinsip kerjanya generator sinkron, medan pertama dihasilkan oleh perputaran yang digerakkan secara sinkron dan diberi penguatan oleh arus DC. Medan lainnya merupakan penguatan medan yang dihasilkan oleh stator 3 fasa.



Gambar 3-2 Generator AC 3 Fasa

Pada prosesnya untuk menghasilkan energi listrik, rotor yang ada di generator akan diputar dengan menggunakan sumber tenaga mekanis yang disebut dengan *prime mover*. *Prime mover* ini dapat berupa turbin hidrolik, turbin uap yang mendapatkan energi dari pembakaran batubara, gas, nuklir, minyak, ataupun yang lainnya. Dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik, pada akhirnya energi listrik dapat dihasilkan oleh generator.

3.1.1.1. Jensi-Jenis Sistem Pembangkit Tenaga Listrik

Berdasarkan jenis energi primer yang digunakan, sistem pembangkit tenaga listrik digolongkan menjadi dua jenis, yakni sebagai berikut.

- Sistem pembangkit tenaga listrik dengan energi primer terbarukan. Energi terbarukan merupakan energi yang berumur dari proses alam yang berkelanjutan sehingga bisa dimanfaatkan secara terus-menerus tanpa khawatir akan kemungkinan habisnya sumber energi tersebut. Contoh sistem pembangkit tenaga listrik dengan energi primer terbarukan di antaranya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir, dan lain-lain.
- Sistem pembangkit tenaga listrik dengan energi primer tidak terbarukan. Energi tidak terbarukan merupakan energi yang diperoleh dari sumber daya alam dimana lama proses pembentukan sumber

daya alam tersebut sangat lama, bisa sampai jutaan tahun. Contoh sistem pembangkit tenaga listrik dengan energi primer tidak terbarukan di antaranya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), dan lain-lain.

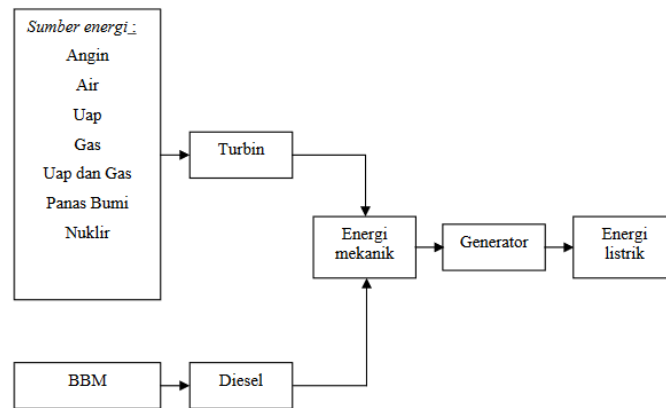
Berdasarkan prosesnya, sistem pembangkit tenaga listrik digolongkan menjadi dua jenis, yakni sebagai berikut.

- Sistem pembangkit tenaga listrik termis. Sesuai namanya, pada sistem pembangkit tenaga listrik termis, energi panas akan diubah menjadi energi listrik. Contoh sistem pembangkit tenaga listrik termis di antaranya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), dan lain-lain.
- Sistem pembangkit tenaga listrik nontermis. Pada sistem pembangkit tenaga listrik nontermis, energi listrik tidak diperoleh dari energi panas, melainkan tergantung dari penggerak mulanya, Contoh sistem pembangkit tenaga listrik nontermis di antaranya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), dan lain-lain.



Gambar 3-3 PLTU Paiton

Pada proses pembangkitannya, masing-masing jenis pembangkit tenaga listrik mempunyai prinsip kerja yang berbeda-beda sesuai dengan penggerak mulanya (*prime mover*). Satu hal yang sama pada semua jenis pembangkit tenaga listrik yaitu fungsinya untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Caranya yaitu dengan mengubah potensi energi mekanik yang berasal dari air, uap, gas, panas bumi, nuklir, kombinasinya, ataupun yang lainnya. Fluida berupa uap, gas, ataupun air ini akan digunakan untuk memutar turbin yang porosnya dikopel dengan generator sehingga sistem ini bisa menghasilkan energi listrik. Adapun khusus untuk Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), prinsip kerjanya sedikit berbeda dimana digunakan diesel atau motor dengan bahan bakar solar untuk menghasilkan energi mekanik.



Gambar 3-4 Proses Konversi Energi Listrik

3.1.1.2. Pertimbangan Pembangunan Pembangkit Tenaga Listrik

Dalam pembangunan sistem pembangkit tenaga listrik, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan yang di antaranya adalah sebagai berikut.

1. Mengkalkulasi dan memperkirakan tersedianya sumber daya penggerak sehingga pada nantinya sistem pembangkit tenaga listrik dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama dan bisa mendukung kontinuitas operasional dari pembangkit tersebut.
2. Pertimbangan pemakaian energi listrik dari sistem pembangkit tenaga listrik, apakah digunakan untuk melayani beban puncak,

beban kecil, sedang, besar, beban yang bersifat fluktuatif, ataupun lain sebagainya.

3. Biaya pembangunan yang ekonomis dan memakan waktu yang sesingkat mungkin. Biaya operasional yang ditanggung pun tidak boleh terlalu mahal agar nilai keuntungan dapat dimaksimalkan.
4. Tersedianya sarana dan prasarana yang baik untuk sistem pembangkit dan transmisinya karena ini merupakan satu kesatuan untuk melayani beban.
5. Kemudahan dalam pengoperasian, keandalan yang tinggi, mudah dalam pemeliharaan, serta *life time* dari sistem pembangkit tenaga listrik haruslah panjang.
6. Pertimbangan adanya kemungkinan bertambahnya beban karena hal ini sangat berkaitan dengan adanya kemungkinan perluasan wilayah pembangkit.
7. Analisis mengenai dampak sistem pembangkit tenaga listrik terhadap lingkungan (AMDAL). Perhitungan mengenai dampak yang mungkin akan diterima oleh lingkungan pada saat pembangunan dan pengoperasian sistem pembangkit tenaga listrik haruslah dipertimbangkan.
8. Pertimbangan sosial, teknis, dan lain sebagainya dalam proses pembangunan dan pengoperasian sistem pembangkit tenaga listrik, seperti biaya investasi, dampak pembangunan dan pengoperasian sistem pembangkit terhadap masyarakat, dan lain-lain.

3.1.2. Sistem Transmisi

Sistem transmisi merupakan sistem yang berperan dalam penyaluran energi listrik dari pembangkit menuju gardu induk. Untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit menuju gardu induk, diperlukan saluran transmisi. Saluran transmisi ini berupa sejumlah konduktor yang dipasang secara membentang sepanjang jarak antara pusat pembangkit sampai gardu induk.

Dalam prosesnya, sebelum energi listrik ditransmisikan, hal pertama yang perlu dilakukan yaitu dengan menaikkan level tegangan yang disuplai oleh generator

AC 3 fasa menjadi 70 kV, 150 kV, ataupun 500 kV (tegangan tinggi atau ekstra tinggi).

Pada dasarnya, tegangan yang dikeluarkan oleh generator AC 3 fasa tidaklah terlalu tinggi, hanya berkisar di antara 6,6 kV hingga 24 kV (tergantung dengan spesifikasi dan kapasitas dari generator AC 3 fasa pembangkit yang digunakan). Hal ini disebabkan karena semakin tinggi level tegangan dari generator AC 3 fasa, maka jumlah lilitan dari generator tersebut juga harus semakin banyak. Dengan jumlah lilitan yang banyak, maka ukuran dari generator akan semakin besar dan berat. Oleh sebab itu, tegangan keluaran dari generator akan ditingkatkan dengan menggunakan transformator daya (*stepup transformer*).

Mekanisme menaikkan level tegangan keluaran dari generator AC 3 fasa ini dilakukan untuk mengurangi nilai rugi daya yang akan terjadi pada saluran transmisi yang jaraknya dapat terbilang sangat jauh. Hal ini disebabkan karena nilai rugi daya berbanding lurus dengan kuadrat dari arus listrik. Jika tegangan dari energi listrik yang ditransmisikan tinggi nilainya, maka untuk ukuran suplai daya yang sama, nilai arus dari energi listrik itu akan menjadi kecil. Nilai arus yang kecil ini tentu akan membuat nilai rugi daya menjadi lebih kecil. Tidak hanya itu, nilai arus listrik yang kecil membuat luas penampang dari konduktor yang dibutuhkan untuk mentransmisikan energi listrik menjadi semakin kecil pula sehingga biaya yang perlu dikeluarkan untuk saluran penghantar akan semakin kecil juga.

Untuk menyalurkan energi listrik dengan level tegangan yang tinggi, diperlukan peralatan yang mempunyai tingkat isolasi yang tinggi pula. Tidak hanya itu, untuk kepentingan keamanan dan keselamatan lingkungan, diperlukan juga tower penyangga saluran penghantar yang lebih tinggi pula.

3.1.2.1. Jenis-Jenis Saluran Transmisi

Berdasarkan penempatan konduktornya, saluran transmisi dapat digolongkan menjadi tiga jenis, yakni sebagai berikut.

- Saluran udara. Saluran udara merupakan jenis saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kawat-kawat konduktor telanjang (tanpa isolasi) yang digantung pada dengan ketinggian tertentu pada menara (*tower*) dengan menggunakan isolasi gantung. Saluran udara

merupakan jenis saluran transmisi yang paling banyak digunakan karena dinilai paling ekonomis. Akan tetapi, saluran udara relatif rawan terhadap gangguan cuaca, baik itu petir maupun angin kencang. Tidak hanya itu, pada proses pembangunannya juga terkadang berbenturan dengan masalah sosial masyarakat yang khawatir terkena radiasi tegangan ekstra tinggi.



Gambar 3-5 Saluran Udara

- Saluran bawah tanah. Saluran bawah tanah merupakan jenis saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kawat konduktor terisolasi yang terpendam di bawah tanah dengan kedalaman tertentu. Saluran jenis ini biasanya digunakan di perkotaan karena dianggap tidak mengganggu daerah perkotaan dan juga tidak mudah terjadi gangguan akibat kondisi cuaca atau sebagainya. Akan tetapi, biaya yang diperlukan untuk pembuatan kabel berisolasi untuk saluran jenis ini dapat terbilang cukup tinggi. Tidak hanya itu, proses pemasangan dan perbaikan jika terjadi gangguan pada saluran jenis ini dapat terbilang cukup rumit.



Gambar 3-6 Saluran Bawah Tanah

- **Saluran Bawah Laut.** Saluran bawah laut merupakan jenis saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kawat konduktor terisolasi yang diletakkan di dasar laut. Saluran transmisi jenis ini jarang digunakan karena biaya pemasangannya tinggi, serta harga kabel laut yang dapat terbilang mahal. Harga kabel laut yang tinggi disebabkan karena diperlukan isolasi yang kuat untuk agar kabel dapat menahan gangguan mekanis maupun kimiawi yang ada di dalam laut. Biasanya, saluran bawah laut digunakan jika penggunaan saluran jenis lain sulit/tidak memungkinkan untuk direalisasikan.



Gambar 3-7 Saluran Bawah Laut

Berdasarkan level tegangan kerjanya, saluran transmisi dapat digolongkan juga menjadi tiga jenis, yakni saluran transmisi tegangan tinggi, saluran transmisi tegangan ekstra tinggi, dan saluran transmisi tegangan ultra tinggi. Adapun berikut ini akan dijelaskan ketiga jenis saluran udara berdasarkan level tegangan kerjanya, yakni sebagai berikut.

- **Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT).** Level tegangan saluran transmisi jenis ini berkisar antara 50 kV hingga 245 kV. Biaya pembangunan SUTT relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan SUTET/SUTUT karena level tegangannya yang lebih rendah sehingga isolator dan menara yang digunakan juga lebih pendek. SUTT cocok digunakan apabila daya yang dikirimkan tidak terlalu besar, serta jarak transmisinya tidak terlalu jauh.



Gambar 3-8 Saluran Udara Tegangan Tinggi

- Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET). Level tegangan saluran transmisi jenis ini berkisar antara 275 kV sampai 700 kV. Karena mempunyai level tegangan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan SUTT, isolator yang diperlukan untuk SUTET juga harus lebih panjang, serta menaranya harus lebih tinggi agar tetap aman bagi lingkungan sekitar. SUTET lebih cocok digunakan untuk mengirimkan daya dengan kapasitas yang lebih besar.



Gambar 3-9 Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi

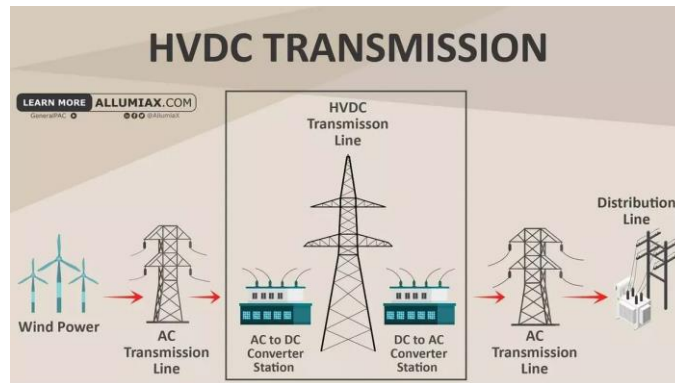
- Saluran Udara Tegangan Ultra Tinggi (SUTUT). Level tegangan saluran transmisi jenis ini yaitu 750 kV atau lebih. SUTUT lebih cocok digunakan jika daya yang dikirimkan sangat tinggi dan jarak pengirimannya sangat jauh (lebih jauh jika dibandingkan dengan jarak pengiriman yang bagus untuk SUTET). SUTUT dikembangkan dan digunakan untuk menyalurkan daya dengan kapasitas yang sangat tinggi di wilayah Amerika dan China yang jaraknya terbilang sangat jauh.



Gambar 3- 10 Saluran Udara Tegangan Ultra Tinggi

Berdasarkan jenis arus listrik yang disalurkan, saluran transmisi dapat digolongkan kembali menjadi dua jenis, yakni sebagai berikut.

- Saluran transmisi arus bolak-balik (AC). Saluran transmisi jenis ini menyalurkan energi listrik dengan tegangan dan arus bolak-balik. Saluran transmisi AC umum digunakan karena lebih ekonomis. Hal ini disebabkan karena
- Saluran transmisi arus searah (DC). Saluran transmisi jenis ini menyalurkan energi listrik dengan tegangan dan arus searah. Saluran transmisi arus searah memiliki peralatan yang lebih rumit, dimana pada output transformator penaik tegangan di pembangkit diperlukan penyearah, yaitu peralatan yang dapat mengubah listrik AC menjadi DC. Selanjutnya, di gardu induk juga diperlukan inverter untuk mengubah listrik DC menjadi AC agar dapat bekerja pada transformator penurun tegangan. Kedua peralatan ini yang menyebabkan saluran transmisi DC lebih rumit dan biaya pembangunannya lebih mahal. Akan tetapi, kelebihan saluran transmisi DC yaitu lebih ekonomis jika daya yang dikirim lebih besar dan jaraknya lebih jauh, karena nilai rugi daya dan drop tegangannya relatif lebih kecil.



Gambar 3-11 Saluran Transmisi Arus Searah (DC)

Berdasarkan panjang saluran, saluran transmisi dapat digolongkan kembali menjadi tiga jenis, yakni sebagai berikut.

- Saluran pendek dengan panjang saluran kurang dari 80 km.
- Saluran menengah dengan panjang saluran mulai dari 80 km hingga 250 km.
- Saluran panjang dengan panjang saluran lebih dari 250 km.

3.1.2.2. Komponen-Komponen pada Sistem Transmisi

Terdapat beberapa komponen yang ada pada sistem transmisi, di antaranya adalah sebagai berikut.

- Pemutus Tenaga (PMT). PMT berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan arus/daya listrik sesuai dengan ratingnya. PMT dapat dioperasikan melalui kontrol panel ataupun lokasi PMT itu sendiri.



Gambar 3-12 Pemutus Tenaga (PMT)

- Pemisah (PMS). PMS berperan sebagai alat yang bisa digunakan digunakan untuk memisahkan peralatan lain atau instalasi lain yang bertegangan. Adapun mekanisme pembukaan atau penutupan dari PMS ini hanya dapat dilakukan pada kondisi tanpa beban.



Gambar 3-13 Pemisah (PMS)

- *Current Transformer (CT)*. CT berfungsi untuk menurunkan nilai dari arus listrik. Tidak hanya itu, CT juga berguna untuk mengisolasi bagian yang bertegangan tinggi sehingga besaran-besaran yang di ukur berada pada sisi sekunder (tegangan rendah). CT terdiri dari sisi primer dan sisi sekunder. Sisi primer merupakan bagian input dan sisi sekunder merupakan bagian output dimana arus dengan nilai yang lebih rendah akan dikeluarkan di sisi ini.



Gambar 3-14 *Current Transformer*

- *Potential Transformer (PT)* atau Transformator Tegangan. PT merupakan alat yang berfungsi untuk menurunkan nilai dari tegangan listrik. Sama seperti CT, PT juga berguna untuk mengisolasi bagian yang bertegangan tinggi sehingga besaran yang diukur akan berada

pada sisi sekunder (tegangan rendah), serta sebagai sistem proteksi *distance relay* dan *open delta* untuk *directional ground relay*.



Gambar 3-15 *Potential Transformer*

- *Lightning Arrester (LA)*. LA berfungsi sebagai alat proteksi bagi peralatan listrik yang ada pada sistem transmisi terhadap sambaran petir ataupun surja hubung (*switch surge*).



Gambar 3-16 *Lightning Arrester*

- *Line trap*. *Line trap* merupakan peralatan yang memiliki fungsi penting pada komunikasi PLC. Dalam hal ini, *line trap* berfungsi untuk mencegah arus dengan frekuensi tinggi yang datang dari stasiun yang lainnya ataupun pancaran stasiun sendiri sehingga tidak merusak peralatan listrik yang ada pada gardu induk. *Line trap* pada nantinya akan dipasang di atas *Capasitive Voltage Transformer (CVT)* yang berfungsi sebagai penerus sinyal pembawa frekuensi tinggi kepada konduktor dengan tegangan tinggi.



Gambar 3-17 *Line Trap*

- Transformator daya. Transformator daya merupakan alat yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah, ataupun sebaliknya. Transformator daya memiliki kemampuan untuk menaikkan tegangan (*step up*) ataupun menurunkan tegangan (*step down*).



Gambar 3-18 Transformator Daya

- Sistem proteksi. Sistem proteksi berguna untuk menghindari kerusakan yang mungkin dapat dialami oleh peralatan-peralatan listrik pada saat terjadi gangguan. Pada sistem transmisi, sistem proteksi transmisi terdiri dari *relay bucholz*, *relay temperature*, *relay mekanis*, *relay elektrik*, *terminal box*, sistem pendinginan, dan lain-lain.



Gambar 3-19 *Relay Bochohz*

- *Neutral Ground Resistor (NGR)*. NGR merupakan suatu alat yang dipasang pada sisi sekunder dari transformator dimana fungsinya yaitu untuk menghambat atau memperkecil arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada sisi sekunder transformator.



Gambar 3-20 *Neutral Ground Resistor (NRG)*

- *Penghantar*. Penghantar merupakan alat yang berfungsi untuk menghantarkan energi listrik pada saluran transmisi. Penghantar dapat terbuat dari berbagai macam bahan seperti yang telah disebutkan pada bab sebelumnya, mulai dari tembaga, aluminium, hingga baja.



Gambar 3-21 *Penghantar*

- *Isolator saluran transmisi* pada umumnya dibuat dari bahan porselin yang mempunyai kekuatan isolasi dan mekanis yang tinggi. Fungsi dari isolator pada saluran transmisi yaitu untuk mengisolasi tegangan antara kawat penghantar dengan menara penopang sehingga semakin tinggi tegangan saluran, diperlukan juga isolator yang semakin

panjang. Tidak hanya itu, isolator juga berguna untuk menggantung kawat penghantar pada menara penopang.



Gambar 3-22 Isolator Gantung untuk Saluran Transmisi

- Menara transmisi. Tiang transmisi berguna untuk menopang penghantar energi listrik serta peralatan lainnya sehingga energi listrik dapat ditransmisikan dari pembangkit menuju gardu induk. Berdasarkan bentuk dan sifat konstruksinya, Menara transmisi dapat dibagi menjadi beberapa jenis, di antaranya adalah Menara persegi, menara jenis korset, Menara *gantry*, Menara rotasi, Menara MC, dan Menara bertali.



Gambar 3-23 Menara Transmisi

3.1.3. Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan sistem yang berperan dalam menyalurkan daya listrik dari jaringan transmisi menuju pusat-pusat beban atau konsumen dengan level

tegangan menengah ataupun rendah. Dalam hal ini, sistem distribusi berupa jaringan penghantar yang berguna untuk menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke konsumen.

Sistem distribusi merupakan subsistem dalam sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan pelanggan. Hal ini menyebabkan kualitas dari suatu sistem distribusi akan sangat bergantung pada kenyamanan pelanggan.



Gambar 3-24 Saluran Udara Tegangan Menengah

3.1.3.1. Jenis-Jenis Sistem Distribusi

Berdasarkan besarnya tegangan listrik, sistem distribusi dapat dibagi menjadi dua jenis, yakni sebagai berikut.

- Jaringan distribusi primer. Sistem jaringan distribusi primer atau disebut juga dengan istilah jaringan distribusi tegangan menengah (JDTM) merupakan jenis jaringan distribusi yang menghubungkan antara dua gardu distribusi atau gardu induk dengan gardu distribusi. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer yaitu 20 kV.
- Jaringan distribusi sekunder. Sistem jaringan distribusi sekunder atau disebut juga dengan istilah jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR) merupakan jenis jaringan distribusi yang menghubungkan gardu distribusi dengan pusat beban. Besarnya standar tegangan untuk jaringan distribusi sekunder yaitu 220 V, 380 V, 440 V, ataupun 550 V.

Berdasarkan tegangan pengenalnya, sistem distribusi dapat dibagi juga menjadi dua jenis, yakni sebagai berikut.

- Jaringan Tegangan Menengah (JTM). Sistem distribusi jenis ini menghubungkan transformator daya di gardu induk dengan transformator distribusi di gardu distribusi. Sistem distribusi jenis ini tergolong ke dalam Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) atau Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Besar standar tegangan sistem distribusi jenis ini yaitu 20 kV.
- Jaringan Teganagn Rendah (JTR). Sistem distribusi jenis ini menghubungkan gardu distribusi dengan pusat beban. Sistem distribusi jenis ini tergolong ke dalam Saluran Kabel Tegangan Rendah yang salurannya bisa berupa SKTM/SUTM. Besar standar tegangan sistem distribusi jenis ini yaitu 380 V.

Berdasarkan jenis arus listrik yang disalurkan, sistem distribusi dapat dibagi kembali menjadi dua jenis, yakni sebagai berikut.

- Jaringan distribusi AC. Pada sistem distribusi jenis ini, digunakan arus listrik bolak-balik (AC). Sistem distribusi jenis ini paling banyak digunakan karena dianggap lebih ekonomis. Kelebihan dari sistem distribusi jenis ini di antaranya adalah nilai tegangan dapat diubah (naik atau turun) dengan mudah, dapat mengatasi kesulitan dalam menyalurkan tenaga listrik untuk jarak jauh, dan dapat langsung digunakan untuk memparalelkan beberapa pusat pembangkit tenaga listrik. Sedangkan kekurangannya adalah untuk tegangan yang tinggi sering terjadi fenomena *charging current*, memerlukan stabilitas tegangan untuk kondisi dan sifat beban yang berubah-ubah, memerlukan tingkat isolasi yang tinggi untuk tegangan tinggi, serta terjadi efek kulit (*skin effect*) pada induktansi dan kapasitansi untuk tegangan tinggi.
- Jaringan distribusi DC. Pada sistem distribusi jenis ini, digunakan arus listrik searah (DC). Adapun pada prosesnya diperlukan penyearah (mengubah arus AC menjadi DC) dan inverter (mengubah arus DC menjadi AC). Kelebihan dari sistem distribusi jenis ini adalah isolasinya lebih sederhana,

tingkat efisiensi lebih tinggi (karena faktor dayanya 1), tidak ada masalah stabilisasi dan perubahan frekuensi untuk penyaluran jarak jauh, tidak ada masalah *charging current* untuk tingkat tegangan yang tinggi, serta dianggap lebih ekonomis juga jarak salurannya lebih tinggi dari 1000 km untuk saluran udara dan lebih tinggi dari 50 km untuk saluran bawah tanah. Sedangkan kekurangannya adalah rangkaian lebih rumit karena diperlukan komponen tambahan inverter dan penyerarah sehingga terdapat biaya tambahan, serta pada saat beban naik dan jarak penyaluran semakin panjang, maka jatuh tegangan semakin tinggi.

Bersasarkan sistem penyalurannya, jaringan distribusi dapat dibedakan kembali menjadi dua jenis, yakni sebagai berikut.

- Saluran udara. Sistem distribusi jenis ini menggunakan kawat penghantar yang ditopang pada tiang listrik. Kelebihan sistem distribusi jenis ini yaitu lebih fleksibel dan leluasa dalam upaya perluasan beban, lebih mudah dalam proses pemasangannya, gangguan *short circuit* lebih mudah dideteksi dan diatasi, serta dapat digunakan untuk penyaluran tenaga listrik pada tegangan di atas 66 kV. Sedangkan kekurangan dari sistem distribusi jenis ini adalah mudah terpengaruh dengan cuaca yang buruk dan gangguan eksternal lainnya seperti burung ataupun pohon tumbang, terdapat masalah efek kulit, induktansi, dan kapasitansi yang terjadi sehingga dapat mengakibatkan tegangan drop menjadi lebih tinggi, biaya pemeliharaan lebih tinggi akibat adanya biaya pengecatan dan penggantian material listrik yang rusak, serta untuk wilayah yang penuh dengan bangunan tinggi tentu sulit untuk menempatkan saluran.
- Saluran bawah tanah. Sistem distribusi jenis ini menggunakan kawat penghantar yang ditanam di dalam tanah. Kelebihan dari sistem distribusi jenis ini yaitu tidak akan terpengaruh oleh cuaca buruk, tidak mengganggu pandangan, mempunyai

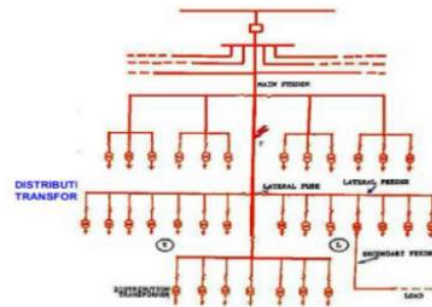
batas umur penggunaan yang lama, biaya pemeliharaan lebih murah, tegangan drop lebih kecil karena masalah induktansi bisa diabaikan. Sedangkan kekurangan dari sistem distribusi jenis ini yaitu biaya investasi yang perlu dikeluarkan lebih tinggi, gangguan *short circuit* menjadi susah dideteksi dan diatasi, diperlukan pertimbangan-pertimbangan teknis yang lebih mendalam pada proses perencanaan, bencana banjir, desakan akar pohon, dan ketidakstabilan tanah merupakan masalah yang berarti.

3.1.3.2. Jenis-Jenis Konfigurasi Jaringan Distribusi Primer

Terdapat beberapa jenis konfigurasi jaringan pada distribusi primer, di antaranya adalah sebagai berikut.

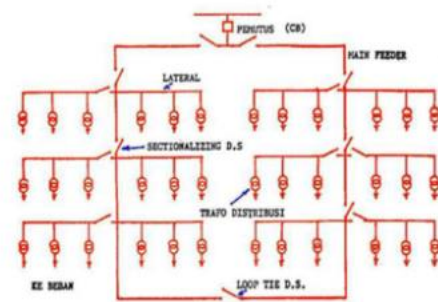
- Konfigurasi sistem radial. Konfigurasi jenis ini memiliki bentuk yang paling sederhana dimana energi listrik disalurkan secara radial melalui gardu induk menuju percabangan-percabangan yang berujung pada titik-titik beban. Sistem radial terdiri atas penyulang (*feeder*) yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Konfigurasi jenis ini banyak digunakan karena memiliki konfigurasi yang sederhana dan biaya investasi yang relatif murah. Sistem radial ini cocok digunakan di daerah dengan konsumsi daya yang relatif kecil. Terdapat dua jenis konfigurasi sistem radial, di antaranya adalah sebagai berikut.
 - Sistem radial terbuka. Sistem radial jenis ini menyalurkan energi listrik hanya dengan menggunakan satu saluran saja. Jaringan model ini ketika mendapati sebuah gangguan akan memerlukan penghentian saluran tenaga listrik dengan waktu yang cukup lama sebelum gangguan tersebut dapat diperbaiki kembali. Selain itu, semakin panjang jarak saluran dari gardu induk ke konsumen, maka rugi-rugi tegangan akan semakin besar sehingga kapasitas pekayaan sistem radial terbuka sangat terbatas. Tidak

hanya itu, sistem radial terbuka juga tidak memiliki backup daya jika terjadi gangguan.



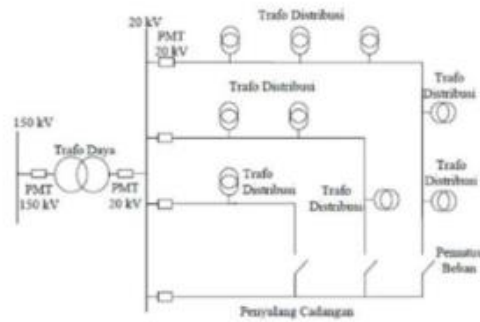
Gambar 3-25 Konfigurasi Jaringan Sistem Radial Terbuka

- Sistem radial tertutup. Sistem radial jenis ini memiliki dua saluran penyulang alternatif menuju beban sehingga cocok digunakan di kawasan yang membutuhkan tingkat keandalan yang tinggi. Kelebihan sistem radial tertutup yaitu memiliki jaringan *backup* saat terjadi gangguan serta dapat menghasilkan kualitas daya yang lebih baik jika dibandingkan dengan sistem radial terbuka.



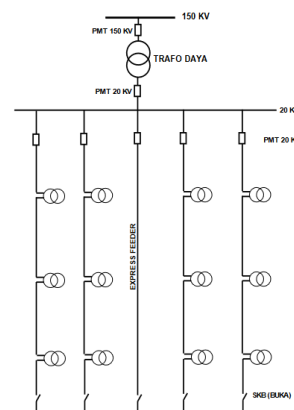
Gambar 3-26 Konfigurasi Jaringan Sistem Radial Tertutup

- Konfigurasi sistem kluster. Konfigurasi jenis ini memiliki penyulang cadangan (*express feeder*) yang dapat menggantikan peran dari penyulang utama saat terjadi gangguan. Namun, dalam kondisi normal penyulang tersebut akan bersifat *open* atau tidak bekerja karena tidak terhubung dengan beban.



Gambar 3-27 Konfigurasi Jaringan Sistem Kluster

- Konfigurasi sistem spindle. Konfigurasi jenis ini menggunakan saluran kabel bawah tanah yang penerapannya cocok pada kota-kota besar. Konfigurasi sistem spindle biasanya terdiri atas maksimal 6 buah penyalang dalam keadaan dibebani (*working feeder*) dan satu buah penyalang dalam keadaan kerja tanpa beban (*express feeder*). Pada dasarnya konfigurasi spindle mirip dengan konfigurasi kluster, hanya saja pada konfigurasi ini penyalang cadangan terhubung dengan penyalang utama melalui gardu hubung.



Gambar 3-28 Konfigurasi Jaringan Sistem Spindel

3.1.3.3. Komponen Sistem Distribusi

Pada dasarnya, sistem distribusi terdiri dari beberapa buah komponen, yang di antaranya adalah sebagai berikut.

- Transformator distribusi. Transformator distribusi merupakan bagian penting pada jaringan distribusi yang berfungsi untuk menurunkan

tegangan menengah menjadi tegangan rendah sesuai dengan kebutuhan pelanggan. Adapun kapasitas dari transformator distribusi akan disesuaikan dengan jumlah pelanggan yang terhubung dengan transformator tersebut.



Gambar 3-29 Transformator Distribusi

- Gardu hubung. Gardu hubung merupakan gardu yang berperan sebagai sarana manuver pengendali beban listrik jika terjadi gangguan aliran listrik ataupun program pemeliharaan dengan maksud untuk mempertahankan kontinuitas penerimaan energi listrik oleh pelanggan.
- Tiang listrik. Tiang listrik merupakan komponen dari saluran udara tegangan menengah/tegangan rendah yang mempunyai fungsi utama untuk menyangga konduktor listrik. Berdasarkan bahan yang digunakannya, terdapat beberapa jenis tiang listrik, seperti tiang beton, tiang baja, dan lain-lain.



Gambar 3-30 Tiang Listrik

- Fuse cut-off. Fuse cut-off berperan sebagai pengaman dalam sistem jaringan listrik dimana ketika terdapat arus ataupun tegangan lebih (sesuai dengan batasan yang diatur), melebihi batas lebur dari fuse cut-off, maka akan dilakukan mekanisme pemutusan jaringan dengan cara meleburkan fuse link.



Gambar 3-31 Fuse Cut-Off

- LBS (*Load Break Switch*). LBS merupakan peralatan *switching* yang dapat dioperasikan untuk memuka/menutup jaringan listrik pada kondisi bertegangan dan berbeban sesuai dengan nilai arus pengenalnya. LBS dapat dikendalikan secara manual ataupun elektronis (*LBS motorized*). LBS berfungsi untuk membuka atau menutup aliran listrik pada jaringan listrik dalam keadaan berbeban ataupun tidak, termasuk untuk memutus aliran listrik pada saat terjadi gangguan hubung singkat.



Gambar 3-32 *Load Break Switch* (LBS)



Gambar 3- 33 *Load Break Switch Motorized (LBSM)*

- *Recloser*. *Recloser* merupakan peralatan *switching* yang dapat mendeteksi gangguan arus lebih yang terjadi karena hubung singkat antara fasa dengan fasa ataupun fasa dengan tanah. *Recloser* dapat dioperasikan pada kondisi tanpa beban, kondisi arus pengenalan, atauoun saat terjadi arus gangguan hubung singkat. *Recloser* memiliki fungsi unik dimana peralatan ini dapat bekerja untuk memutus arus gangguan dan menutup balik rangkaian secara otomatis selama selang waktu tertentu.



Gambar 3-34 *Recloser*

- *Isolator*. *Isolator* berfungsi untuk mengisolasi tegangan ahtara kawat penghantar dengan tiang listrik pada jaringan distribusi karena digunakannya kawat penghantar tanpa isolasi. Tidak hanya itu, secara mekanis, isolator juga berfungsi untuk menopang kawat penghantar pada tiang, serta mengisolasi tegangan antara *switch* ataupun peralatan lainnya dengan tiang. Terdapat beberapa jenis isolator yang dapat digunakan pada jaringan distribusi, seperti isolator pin, isolator belenggu, isolator cakram, dan lain-lain.



Gambar 3-35 Isolator Pin

- *Arrester*. *Arrester* merupakan suatu alat yang berfungsi untuk melindungi peralatan yang ada di jaringan listrik dari sambaran petir. Salah satu ujung dari *arrester* pada nantinya akan dihubungkan dengan kawat tegangan menengah, sedangkan ujung yang lainnya akan dihubungkan dengan tanah. Pada saat keadaan normal, *arrester* akan bekerja sebagai isolator. Adapun pada saat terdapat sambaran petir, *arrester* akan berubah sifatnya menjadi suatu konduktor yang baik sehingga tegangan lebih akibat petir dapat dinetralkan ke tanah. Setelah tegangan transien ini berhasil ditekan, maka sistem akan kembali ke mode operasi normal. Terdapat beberapa jenis *arrester*, di antaranya adalah *rod arrester*, *expulsion arrester*, *valve arrester*, dan lain-lain.



Gambar 3-36 *Lightning Arrester*

3.1.4. Beban Listrik

Hal penting lainnya yang tidak kalah pentingnya dengan sistem pembangkit, transmisi, dan distribusi adalah beban. Beban listrik atau bisa disebut juga dengan konsumen merupakan setiap orang ataupun badan usaha/lembaga lainnya yang

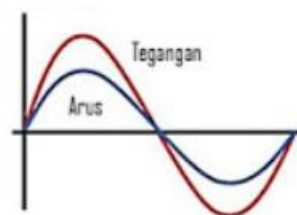
menggunakan energi listrik yang disediakan oleh Sistem Tenaga Listrik (PT PLN (Persero)) berdasarkan perjanjian jual beli energi listrik yang dilakukan oleh kedua belah pihak. Beban pada sistem tenaga listrik bisa diklasifikasikan menjadi beberapa sektor yang di antaranya adalah sebagai berikut.

- Sektor industrial. Pada industri sekala kecil, beban puncak terjadi pada siang hari. Sebaliknya, pada industri skala besar, beban puncak terjadi pada malam hari.
- Sektor perumahan. Pada sektor perumahan, beban puncak terjadi pada siang dan malam hari.
- Sektor komersial. Pada sektor komersial, beban puncak terjadi pada siang dan malam hari. Contoh pelanggan yang tergolong ke dalam sektor komersial di antaranya adalah perkantoran, restoran, universitas, hotel, dan lain-lain.
- Sektor fasilitas umum. Pada sektor fasilitas umum, beban puncak terjadi pada siang dan malam hari. Contoh pelanggan yang tergolong ke dalam sektor fasilitas umum di antaranya adalah terminal, bandara, stasiun kereta api, dan lain-lain.

3.1.4.1. Jenis-Jenis Beban Listrik

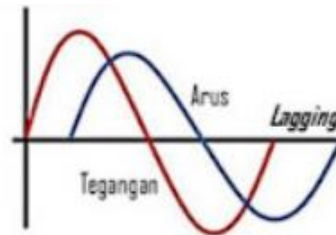
Berdasarkan jenis arus listrik yang digunakan, beban pada sistem tenaga listrik dibagi menjadi dua jenis, di antaranya adalah sebagai berikut.

- Beban resistif. Beban resistif berupa peralatan listrik yang di dalamnya terdapat komponen yang bekerja dengan sistem resistansi. Sifat yang dimiliki oleh beban resistif di antaranya adalah hanya dapat menyerap daya aktif, memiliki tegangan dan arus sefasa, serta tidak mengakibatkan perubahan pada faktor daya sehingga faktor dayanya selalu bernilai tetap. Contoh beban resistif yaitu resistor murni seperti lampu pijar, pemanas, setrika, dan lain-lain.



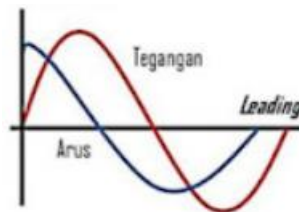
Gambar 3-37 Grafik Hubungan Arus dan Tegangan Beban Resistif

- **Beban induktif.** Beban induktif berupa peralatan listrik yang beroperasi dengan prinsip kerja induksi. Sifat yang dimiliki oleh beban induktif di antaranya adalah mempunyai faktor daya antara 0 – 1 (*lagging*), mampu menyerap daya aktif dan daya reaktif, serta terdapat daya harmonik yang dihasilkan. Contoh beban induktif yaitu motor induksi, transformator, dan kipas angin.



Gambar 3-38 Grafik Arus dan Tegangan Beban Resistif

- **Beban kapasitif.** Beban kapasitif berupa peralatan listrik yang bekerja dengan beban kapasitif. Sifat yang dimiliki oleh beban kapasitif di antaranya adalah mempunyai faktor daya antara 0 – 1 (*leading*), serta mampu menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Contoh beban kapasitif yaitu rangkaian yang mengandung kapasitor di dalamnya.



Gambar 3-39 Grafik Hubungan Arus dan Tegangan Beban Induktif

3.2. Gardu Induk dan Transformator

3.2.1. Gardu Induk

Gardu induk merupakan bagian yang menghubungkan antara sistem transmisi dengan sistem distribusi. Gardi induk terdiri dari sejumlah peralatan pemutus ataupun penghubung aliran arus listrik, serta transformator penurun tegangan yang dipasang di antara dua komponen sistem tenaga listrik lainnya. Gardu induk memiliki fungsi utama untuk memutus/menghubungkan aliran dari energi

listrik dan menyesuaikan level tegangannya sesuai dengan sistem yang dihubungkan dengannya. Tidak hanya itu, gardu induk juga berperan sebagai tempat pengukuran, pengawasan, operasi, serta pengaturan pengamanan sistem tenaga listrik.

3.2.1.1. Jenis-Jenis Gardu Induk

Berdasarkan level tegangan operasinya, gardu induk dapat dibagi menjadi dua jenis, di antaranya adalah sebagai berikut.

- Gardu induk tegangan tinggi. Gardu induk jenis ini berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi dari saluran transmisi menjadi tegangan menengah untuk memberikan suplai energi listrik pada jaringan distribusi.
- Gardu induk tegangan ekstra tinggi. Gardu induk jenis ini berfungsi untuk menurunkan tegangan dari saluran transmisi dengan tegangan ekstra tinggi menjadi tegangan tinggi untuk memberikan suplai energi listrik pada saluran transmisi tegangan tinggi.

Berdasarkan penempatannya, gardu induk dapat dibagi kembali menjadi dua jenis, di antaranya adalah sebagai berikut.

- Gardu induk tipe pemasangan luar. Gardu induk jenis ini meletakkan sebagian besar peralatannya (*switchgear*, *isolator*, dan lain sebagainya) di ruang terbuka. Sedangkan untuk peralatan yang rawan terhadap gangguan hujan, seperti peralatan kontrol dan pengukuran akan diletakkan di dalam ruangan. Gardu induk jenis ini memerlukan tanah yang luas, tetapi biaya konstruksinya lebih murah dan pendinginannya juga lebih mudah. Tidak heran gardu induk jenis ini paling banyak digunakan.



Gambar 3-40 Gardu Induk Tipe Pemasangan Luar

- Gardu induk tipe pemasangan dalam. Gardu induk jenis ini meletakkan semua peralatannya (*switchgear*, *isolator*, dan lain sebagainya) di ruang tertutup. Gardu induk jenis ini tidak memerlukan lahan yang terlalu luas sehingga cocok digunakan di pusat kota dimana harga lahan cukup mahal. Kelebihan dari gardu induk jenis ini yaitu lebih aman terhadap gangguan cuaca.



Gambar 3-41 Gardu Induk Tipe Pemasangan Dalam

Berdasarkan isolasi busbarnya, gardu induk kembali dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, di antaranya adalah sebagai berikut.

- Gardu induk yang menggunakan isolasi udara. Gardu induk jenis ini menggunakan isolasi udara (diletakkan di ruang bebas) antara bagian bertegangan satu dengan bagian bertegangan yang lainnya. Gardu induk yang menggunakan isolasi udara banyak digunakan karena biaya pembangunannya lebih murah, walaupun lahan yang diperlukan relative lebih luas.



Gambar 3-42 Gardu Induk dengan Isolasi Udara

- Gardu induk yang menggunakan isolasi gas SF₆. Gardu induk jenis ini menggunakan gas SF₆ yang berperan sebagai isolator antara bagian

bertegangan satu dengan bagian bertegangan yang lainnya, ataupun antara bagian bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan. Pada gardu induk jenis ini, sebagian besar peralatannya dimasukkan ke dalam sebuah tabung dan diletakkan di dalam ruangan. Gardu induk dengan isolasi gas SF₆ untuk mengatasi minimnya lahan jika dibangun gardu induk konvensional dengan isolasi udara sehingga biasanya digunakan di tengah perkotaan.



Gambar 3-43 Gardu Induk dengan Isolasi Gas SF₆

3.2.2. Transformator Distribusi

Transformator merupakan alat yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan. Pada sistem distribusi, setiap gardu distribusi akan memiliki transformator untuk menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah yang siap digunakan oleh pelanggan. Transformator ini disebut dengan transformator distribusi.

Di Indonesia, digunakan sistem kelistrikan tiga fasa, Yang dimaksud dengan sistem kelistrikan tiga fasa yaitu jaringan listrik yang menggunakan tiga kawat fasa (R, S, T) dan satu buah kawat netral (N) atau disebut juga dengan kawat *ground*. Sistem kelistrikan tiga fasa digunakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yang besar dalam suplai daya listrik. Hal ini disebabkan karena sistem kelistrikan tiga fasa memiliki beberapa keuntungan jika dibandingkan dengan sistem kelistrikan satu fasa, mulai dari lebih efisien karena bisa menghasilkan daya yang lebih besar, lebih stabil karena kegagalan satu fasa tidak akan mempengaruhi fasa yang lain, hingga lebih andal karena risiko gangguan atau kegagalan sistem secara menyeluruh akan lebih rendah.

Pada sistem tenaga listrik, transformator memiliki peranan yang vital. Transformator akan selalu digunakan, baik itu di sistem pembangkitan, sistem transmisi, hingga sistem distribusi. Dikarenakan digunakan sistem kelistrikan tiga fasa, maka jenis transformator yang digunakan pada sistem tenaga listrik di Indonesia juga merupakan transformator tiga fasa.



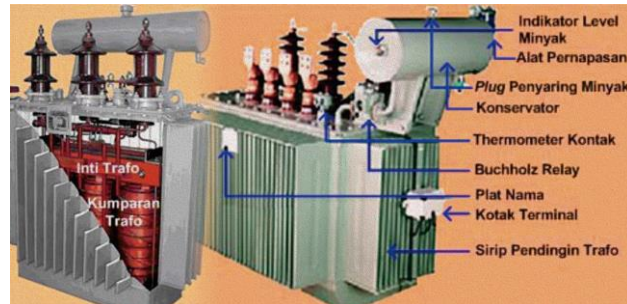
Gambar 3-44 Transformator Distribusi (Tiga Fasa)

3.2.2.1. Komponen pada Transformator

Transformator memiliki beberapa komponen yang di antaranya adalah sebagai berikut.

- *Core*, merupakan besi feromagnetik yang akan dililit dengan *winding*/kumparan.
- *Winding*, merupakan kumparan yang ada pada transformator.
- Minyak transsformator, berfungsi sebagai isolator untuk memastikan tidak adanya *short circuit* pada transformator. Gangguan *short circuit* yang terjadi pada transformator dapat menyebabkan transformator meledak akibat tegangan yang sangat tinggi. Selain itu, minyak transformator juga berfungsi sebagai pendingin transformator.
- *Bushing*, berfungsi sebagai penghubung kabel luar dan kabel dalam pada transformator.
- Tangki konservator, berfungsi untuk menyimpan minyak transformator cadangan yang berguna saat minyak transformator habis karena meguap.
- Pendingin, berfungsi untuk mendistribusikan panas.

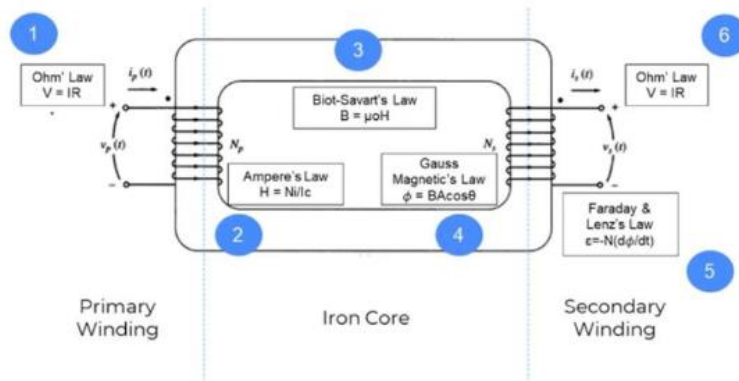
- *Tap changer*, berfungsi untuk mengubah tegangan output. Caranya yaitu dengan mengubah lilitan yang ada pada sisi output.
- Indikator, contohnya adalah thermometer kontak dan indikator level minyak.
- *Safety measure*, contohnya adalah *buchholz relay*.



Gambar 3-45 Komponen-Komponen pada Transformator

3.2.2.2. Prinsip Kerja Transformator

Secara sederhana, prinsip kerja dari transformator yaitu dimulai dengan kumparan primer yang dihubungkan dengan tegangan bolak-balik, maka sesuai dengan hukum Ohm, pada kumparan tersebut akan mengalir arus listrik bolak-balik. Arus listrik bolak-balik ini akan menghasilkan intensitas medan magnet di setiap titik sesuai dengan hukum ampere. Intensitas medan magnet yang masuk ke dalam suatu *core* dapat diserap oleh suatu konstanta permeabilitas. Sesuai dengan hukum Biot Savart, intensitas medan magnet akan menghasilkan densitas medan magnet. Densitas medan magnet ini pada nantinya akan menghasilkan fluks jika melewati suatu bidang, sesuai dengan hukum Gauss. Fluks magnet yang terjadi pada kumparan primer akan mengalir melalui inti besi sehingga bisa sampai ke kumparan sekunder. Perubahan nilai fluks pada nantinya akan menghasilkan ggl induksi sesuai dengan hukum Faraday berdasarkan faktor N (jumlah lilitan). Jika kumparan sekunder dirangkai dengan beban, maka pada rangkaian sekunder pada nantinya akan mengalir arus listrik bolak-balik ke beban yang nilai arusnya sesuai dengan jumlah lilitan pada kumparan sekunder.



Gambar 3-46 Prinsip Kerja Transformator

3.2.2.3. Sifat-Sifat pada Transformator

Sifat yang dimiliki oleh transformator meliputi dua hal, yakni regulasi dan efisiensi. Regulasi tegangan transformator berkaitan dengan perbedaan tegangan sekunder dari transformator saat beban penuh atau pada saat tanpa beban. Sedangkan efisiensi berkaitan dengan perbandingan antara daya output transformator dengan daya inputnya.

Terdapat istilah transformator ideal dimana transformator dapat bekerja tanpa memiliki rugi daya ataupun turun tegangan. Pada transformator ideal, berlaku beberapa hal, yakni sebagai berikut.

1. Daya output dari transformator akan sama dengan daya inputnya.
2. Perbandingan tegangan sekunder dengan tegangan primer akan sama dengan perbandingan antara jumlah lilitan di sisi primer dengan jumlah lilitan di sisi sekunder.
3. Perbandingan arus sekunder dengan arus primer akan sama dengan perbandingan antara tegangan primer dengan tegangan sekunder.

Secara matematis, transformator ideal dapat digambarkan dengan persamaan berikut.

$$P_{out} = P_{in}$$

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{v_p(t)}{v_s(t)} = \frac{i_s(t)}{i_p(t)}$$

Pada praktiknya, transformator ideal semacam ini tidak mungkin ada. Hal ini disebabkan karena pada proses kerjanya, pasti akan ada rugi-rugi daya ataupun drop tegangan yang terjadi pada transformator.

Perbedaan nilai tegangan pada lilitan sekunder saat transformator berbeban penuh dengan saat tanpa beban disebut dengan regulasi tegangan. Regulasi tegangan dari transformator dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\text{Regulasi tegangan} = \frac{V_{\text{output tanpa beban}} - V_{\text{output beban penuh}}}{V_{\text{output penuh}}} \times 100\%$$

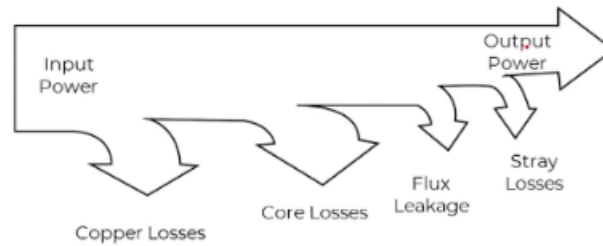
Perbandingan antara daya output pada transformator dengan daya inputnya disebut dengan efisiensi. Semakin tinggi efisiensi dari transformator, maka kualitas transformator dapat terbilang semakin baik. Efisiensi dari transformator dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{input}}} \times 100\%$$

Rugi-rugi yang dapat terjadi pada transformator di antaranya adalah sebagai berikut.

- *Copper losses*, merupakan rugi yang diakibatkan oleh resistansi dari kumparan.
- *Core losses*. Terdapat dua jenis *core losses*, yaitu *hysteresis losses* dan *eddy current losses*. *Hysteresis losses* merupakan rugi-rugi akibat dibutuhkan energi lebih untuk magnetisasi dan demagnetisasi dari atom-atom *core*-nya. Rugi ini tidak linear dan kompleks. Sedangkan *eddy current losses* merupakan rugi-rugi akibat dari adanya perbedaan potensial dari *core* itu sendiri hingga menyebabkan adanya arus yang berputar-putar. Rugi ini terjadi karena inti besi saat difabrikasi memiliki banyak kekurangan seperti perbedaan konduktivitas pada lempengannya sehingga terjadi perbedaan tegangan antara sisinya. Hal ini akan menyebabkan mengalirnya arus yang berputar-putar pada sisi tersebut.

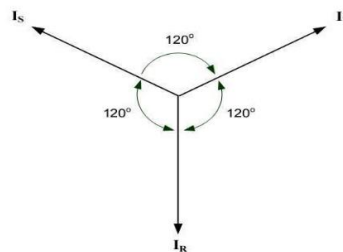
- *Flux leakage*, merupakan intensitas medan magnet yang tidak berhasil diserap oleh *core*. *Flux leakage* ini akan menghasilkan induktansi diri pada lilitan primer dan sekunder sehingga akan berpengaruh terhadap nilai daya yang disuplai dari sisi primer ke sisi sekunder dari transformator.
- *Stray losses*, merupakan daya hilang yang tidak bisa dihitung, misalnya karena mesin yang rusak, tua, berkarat, dan lain-lain.



Gambar 3-47 Power Flow Diagram dari Transformator

3.3. Ketidakseimbangan Arus Beban

Arus beban yang seimbang merupakan suatu kondisi dimana besar arus yang mengalir pada setiap fasa sama/simetris. Arus beban yang seimbang terjadi ketika ketiga vektor arus (mewakili arus yang mengalir pada masing-masing fasa) memiliki besar yang sama, serta ketiga vektor tersebut membentuk sudut 120° satu sama lain.



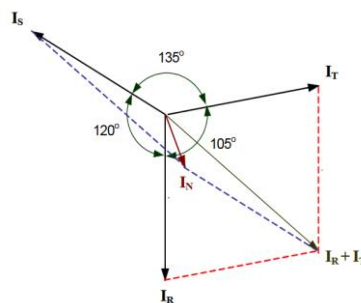
Gambar 3-48 Vektor Diagram Arus Beban yang Seimbang

Pada vektor diagram arus beban yang seimbang, dapat diketahui jika hasil dari penjumlahan ketiga vektor arus (I_R, I_S, I_T) yaitu sama dengan nol. Hal ini akan menyebabkan arus netral (I_N) bernilai nol.

$$I_N = I_R + I_S + I_T = 0$$

Yang dimaksud dengan arus beban yang tidak seimbang adalah suatu kondisi dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kedua syarat keadaan seimbang, seperti yang telah disebutkan sebelumnya, yaitu magnitudo dan besar sudut fasa yang sama. Hal ini menyebabkan terdapat tiga kemungkinan kondisi dimana arus beban tidak seimbang, di antaranya yaitu sebagai berikut.

- Ketiga vektor arus beban sama besar, tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor arus beban tidak sama besar, tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar sekaligus tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 3-49 Contoh Kasus Vektor Diagram Arus Beban tidak Seimbang

Seperti yang ditunjukkan pada gambar, penjumlahan dari ketiga vektor arus (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga menyebabkan muncul sebuah besaran, yaitu arus netral (I_N) yang besarnya tergantung pada besarnya faktor ketidakseimbangan.

$$I_N = I_R + I_S + I_T \neq 0$$

Ketidakseimbangan arus beban dapat disebabkan oleh berbagai faktor, mulai dari ketidakseimbangan beban, gangguan hubung singkat, konduktor putus, kerusakan pada peralatan listrik, impedansi yang tidak seimbang pada peralatan listrik, hingga faktor lingkungan, seperti suhu dan kelembapan lingkungan yang berbeda pada masing-masing fasa. Ketidakseimbangan arus beban dapat menyebabkan munculnya arus netral yang mengalir pada kawat netral. Adapun kawat netral ini biasanya akan dihubungkan ke sistem tanah melalui sebuah resistor netral.

Arus netral merupakan sesuatu yang harus diminimalisasi pada sistem tiga fasa empat kawat. Hal ini disebabkan karena arus netral memiliki dampak yang merugikan, mulai dari *overloading* pada konduktor netral, *overheating* pada peralatan, hingga susut daya.

3.3.1. Analisis Ketidakseimbangan Arus Beban pada Transformator Distribusi

Analisis ketidakseimbangan arus beban pada transformator distribusi dapat dimulai dengan mencari koefisien a, b, dan c sebagai koefisien ketidakseimbangan arus beban. Sebelum mencari koefisien a, b, dan c, perlu diketahui terlebih dahulu arus beban rata-rata. Berikut adalah rumusnya.

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

Berikut ini adalah rumus untuk mencari koefisien a, b, dan c.

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}}$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}}$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}}$$

Setelah diketahui koefisien a, b, dan c, maka persentase ketidakseimbangan arus beban pada transformator distribusi dapat diketahui dengan menggunakan rumus berikut.

$$\%unbalance = \frac{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|}{3} \times 100\%$$

Melalui persentase ketidakseimbangan arus beban yang diperoleh, transformator distribusi dapat diklasifikasikan menjadi baik, cukup, kurang, dan buruk.

Persentase ketidakseimbangan arus beban yang tinggi dapat menyebabkan tingginya arus netral yang mengalir pada konduktor netral. Arus netral yang tinggi dapat menyebabkan rugi daya yang tentunya tidak diinginkan.

3.3.2. Analisis Rugi Daya Akibat Arus Netral

Arus netral yang mengalir pada konduktor netral dapat menyebabkan timbulnya *losses* akibat arus netral. Berikut ini adalah rumus yang dapat digunakan untuk mencari rugi daya yang terjadi akibat arus netral.

$$P_N = I_N^2 R_N$$

P_N : Rugi akibat arus netral pada transformator distribusi

I_N : Arus yang mengalir pada penghantar netral transformator distribusi

R_N : Resistansi penghantar netral transformator distribusi

Setelah diketahui nilai rugi daya akibat arus netral, maka dapat dicari persentase *losses* akibat mengalirnya arus netral pada konduktor netral transformator distribusi. Berikut adalah rumusnya.

$$\%P_{loss} = \frac{P_N}{P} \times 100\%$$

Dalam hal ini, untuk mengetahui persentase *losses* akibat mengalirnya arus netral pada konduktor netral, perlu dicari terlebih dahulu nilai daya aktif yang disuplai oleh suatu transformator distribusi. Berikut ini adalah rumusnya.

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

V : Tegangan saluran

I : Arus saluran

$\cos \varphi$: faktor daya

Pada praktiknya, jika persentase *losses* dirasa terlalu tinggi, tentu penyeimbangan arus beban perlu segera dilakukan untuk mengurangi kerugian yang dialami oleh penyuplai energi listrik, yakni PT PLN (Persero). Adapun prioritas penyeimbangan arus beban dapat dilakukan pada transformator distribusi dengan nilai persentase *losses* yang paling tinggi.

BAB 4

KEGIATAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Log Kegiatan Harian Pelaksanaan Kerja Praktik

Kegiatan kerja praktik mahasiswa dilaksanakan selama lima minggu, mulai dari tanggal 02 Januari 2023 hingga 03 Februari 2023. Berikut ini merupakan log kegiatan harian mahasiswa selama kerja praktik.

No	Tanggal	Kegiatan
1	02/01/2023	<ul style="list-style-type: none">• Perkenalan dengan pekerja bagian jaringan di PT PLN (Persero) UP3 Banyuwangi• Belajar materi pengenalan distribusi bab “LBS dan Recloser” dan “Transformator Distribusi” dari SPLN.• Pengenalan TTR (<i>Transformer Turn Ratio</i>) sebagai alat untuk mengukur rasio belitan dari transformator.• Belajar materi “Rekondisi Transformator” dari PLN
2	03/01/2023	<ul style="list-style-type: none">• Melakukan proses instalasi <i>software</i> ETAP yang berfungsi untuk pemodelan dan simulasi jaringan listrik.• Menuju lokasi <i>recloser</i> di Kelurahan Kelir karena terdapat masalah peningkatan tegangan akibat terdapat ular yang menyebabkan adanya komponen yang patah.• Belajar dasar-dasar ETAP.
3	04/01/2023	<ul style="list-style-type: none">• Mengerjakan <i>Single Line Diagram</i> sederhana menggunakan ETAP.• Pengenalan terhadap UPS (<i>Uninterruptible Power Supply</i>).• Membuat rangkaian UPS menggunakan inverter riello UPS 30 kVA dan baterai UPS 30 kVA dari Situbondo dan Banyuwangi dengan beban berupa lampu sorot LED 100 Watt sebagai uji coba penggunaan UPS untuk acara satu abad NU di Stadion Diponegoro Banyuwangi. Diketahui jika ternyata inverter dari Banyuwangi bermasalah.
4	05/01/2023	<ul style="list-style-type: none">• Mengerjakan <i>Single Line Diagram</i> yang sedikit lebih rumit menggunakan ETAP.

		<ul style="list-style-type: none"> • Membuat <i>cover</i> dan <i>safety induction</i> untuk pekerja PLN yang akan digunakan pada modul UPS. • Membuat wiring dari rangkaian UPS yang akan digunakan pada modul UPS.
5	06/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> • Melanjutkan pembuatan wiring proses dari rangkaian UPS yang akan digunakan pada modul UPS. • Mengerjakan modul UPS untuk beberapa subbab seperti tujuan, alasan, hingga komponen. • Mengedit video pekerja PLN yang pergi ke Stadion Diponegoro untuk mempersiapkan hal-hal penting terkait kelistrikan sebagai persiapan acara satu abad NU dan kedatangan Presiden Jokowi di acara tersebut. • Belajar materi pengenalan distribusi bab “PHBTM, CT, dan PT” dan “Penghantar TM dan Asesorisnya” dari SPLN.
6	09/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> • Melanjutkan proses <i>finishing</i> pembuatan modul UPS. • Belajar materi pengenalan distribusi bab “Isolator, Tiang, dan Asesorisnya” dan “Arrester dan Fuse Cut Out” dari SPLN untuk bagian. • Mengumpulkan modul UPS yang telah dikerjakan ke pembimbing.
7	10/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> • Belajar dasar-dasar Sistem Tenaga Listrik. • Belajar teori tentang <i>Single Line Diagram</i> (SLD). • Mencari ide mengenai produk yang bisa dibuat dengan menggunakan <i>single line diagram</i>.
8	11/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> • Pencerdasan terhadap informasi seputar gardu induk Banyuwangi dan Genteng, mulai dari transformator daya, penyulangannya, panjang penghantarnya, hingga banyak gardu distribusinya. • Memahami <i>Single Line Diagram</i> untuk penyulang Mendut yang ada di Trafo 2 Shandong 60 MVA. • Mempelajari komponen-komponen yang ada di SLD untuk penyulang Mendut.
9	12/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> • Belajar informasi-informasi dasar seputar menjadi operator SCADA pada Ruang Pengatur Sistem 20 kV, seperti tugas, alur kerja, simbol-simbol tertentu (masuk, keluar, reclose, reclose gagal, trip),

		<p>komponen-komponen yang ada pada sistem distribusi termasuk di dalamnya simbol SCADA nya, hingga informasi apa saja yang perlu dikerjakan ataupun dicatat.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mengerjakan SLD penyulang Mendut menggunakan ETAP.
10	13/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> • Persiapan menjadi operator SCADA pada hari Senin (karena pekerja punya acara di tempat lain sehingga tidak bisa hadir ke ruang operator). • Melanjutkan mengerjakan SLD penyulang Mendut.
11	16/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> • Menjadi operator SCADA pada Ruang pengatur Sistem 20 kV. • Mempelajari data-data kode gardu distribusi, kapasitas, hingga bebannya. • Memasukkan parameter-parameter dari gardu distribusi di ETAP.
12	17/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> • Melanjutkan memasukkan parameter-parameter dari gardu distribusi di ETAP. • Memasukkan parameter-parameter dari beban di ETAP. • Menjadi operator SCADA pada Ruang Pengatur Sistem 20 kV.
13	18/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> • Memasukkan parameter-parameter dari kabel di ETAP. • Belajar perhitungan manual untuk menghitung susut daya, <i>drop voltage</i>, <i>short circuit analysis</i>, hingga metode RIA untuk mengukur keandalan dari penyulang. • Melanjutkan belajar Sistem Tenaga Listrik.
14	19/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> • Mensimulasikan aliran daya pada penyulang Mendut di ETAP. • Melakukan analisis aliran daya pada penyulang Mendut melalui hasil simulasi di ETAP. • Melanjutkan belajar dan mencari sumber-sumber rujukan untuk perhitungan manual analisis susut daya, <i>drop voltage</i>, <i>short circuit</i>, dan keandalan dari penyulang. • Meminta data jumlah pelanggan yang ada di penyulang Mendut untuk dicantumkan di laporan.
15	20/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> • Mempelajari data-data spesifikasi dari transformator daya Shandong 60 MVA dan spesifikasi dari transformator distribusi pada penyulang Mendut.

		<ul style="list-style-type: none"> • Mempelajari data beban puncak di siang hari dan malam hari yang ada di penyulang Mendut dan mencoba mengamati apakah data bisa digunakan untuk analisis susut daya. • Mempelajari data gangguan yang ada di penyulang Mendut dan mencoba mengamati apakah data bisa digunakan untuk analisis keandalan penyulang.
16	23/01/2023	Libur tanggal merah
17	24/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> • Meminta data jumlah pelanggan yang ada di penyulang Mendut untuk digunakan pada analisis keandalan penyulang Mendut. • Menyusun modul simulasi aliran daya dari penyulang dengan menggunakan <i>software</i> ETAP. • Mengerjakan perhitungan ketidakseimbangan arus pada gardu distribusi di penyulang Mendut.
18	25/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> • Menyusun modul simulasi aliran daya dari penyulang dengan menggunakan <i>software</i> ETAP. • Mengerjakan perhitungan ketidakseimbangan arus pada gardu distribusi di penyulang Mendut.
19	26/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> • Menyusun hal-hal apa saja yang akan dijelaskan di laporan kerja praktik, sekaligus mencari sumber referensinya. • Mengerjakan laporan kerja praktik. • Mengolah data jumlah pelanggan yang ada di setiap gardu distribusi. • Mengolah data hasil simulasi ETAP untuk <i>losses</i> pada setiap gardu distribusi dan kabel.
20	27/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> • Mengolah data excel untuk gardu distribusi. • Mengolah data excel untuk data riwayat gangguan yang terjadi di penyulang Mendut selama tahun 2022. • Mengolah data panjang dari setiap <i>cable ID</i> yang digunakan pada simulasi ETAP.
21	30/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> • Dokumentasi penyulang Mendut. • Dokumentasi PLN UP3 Banyuwangi. • Mengumpulkan beberapa gambar yang bisa dilampirkan pada laporan kerja praktik.

22	31/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> Konsultasi mengenai topik/analisis apa saja yang akan dibahas di laporan kerja praktik. Mengolah data riwayat gangguan yang terjadi di penyulang Mendut selama tahun 2022.
23	01/02/2023	<ul style="list-style-type: none"> Menghitung ketidakseimbangan arus beban pada transformator di setiap gardu distribusi yang ada di Penyulang Mendut. Diskusi mengenai masalah-masalah yang dihadapi oleh mahasiswa dalam setiap topik yang direncanakan untuk dibahas di laporan.
24	02/02/2023	<ul style="list-style-type: none"> Diskusi mengenai topik bahasan dari laporan kerja praktik. Diskusi mengenai masalah tanda tangan yang diperlukan untuk laporan kerja praktik. Meminta email pembimbing untuk keperluan mekanisme penilaian mahasiswa selama melakukan kegiatan kerja praktik.
25	03/02/2023	<ul style="list-style-type: none"> Diskusi mengenai target <i>deadline</i> laporan kerja praktik sehingga bisa diperiksa oleh pembimbing, manajer jaringan, dan manajer PLN UP3 Banyuwangi. Menanyakan perihal tugas dari setiap divisi yang ada di PT PLN (Persero) UP3 yang diperlukan untuk laporan kerja praktik. Meminta bagan struktur organisasi PT PLN (Persero) UP3 Banyuwangi. Berpamitan dengan pekerja di PT PLN (Persero) Banyuwangi yang dengan baik menerima mahasiswa untuk melaksanakan kegiatan kerja praktik di sana.

Tabel 4-1 Log Kegiatan Harian Pelaksanaan Kerja Praktik

4.1.1. Gardu Induk Banyuwangi

Berikut ini merupakan data yang ada di gardu induk banyuwangi.

GARDU INDUK	TRAFO GI / KAPASITAS	NO	PENYULANG	PANJANG (KMS)	GARDU DISTRIBUSI
G I	TRAFO 1 XIAN	1	Penyeberangan	15,882	79
		2	Giri	17,252	62

B A N Y U W A N G I	30 MVA	3	Bulog	12,813	68
		4	Watukobo	54,942	94
	TRAFO 2 SHANDONG 60 MVA	1	Rogojampi	41,355	72
		2	Wongsorejo	93,272	106
		3	Ijen	75,779	84
		4	Suritani	35,016	38
		5	Mendut	71,904	81
	TRAFO 3 TELK 30 MVA	1	Kalipuro	45,857	74
		2	Pendarungan	86,497	102
		3	Dadapan	46,427	78
		4	Kelir	58,496	73
	TRAFO 4 PAUWELS 60 MVA	1	Blambangan	25,574	86
		2	Baluran	75,639	75
		3	PKBR 1	1,576	1
		4	PKBR 2	1,592	-
		5	PKBR 3	1,624	-
		6	Bosowa 1	16,028	39
		7	Bosowa 2	7,280	1

Tabel 4-2 Data Gardu Induk Banyuwangi

Pada Gardu Induk Banyuwangi, terdapat empat buah transformator Gardu Induk, yakni TRAFO 1 XIAN 30 MVA, TRAFO 2 SHANDONG 60 MVA, TRAFO 3 TELK 30 MVA, dan TRAFO 4 PAUWELS 60 MVA. Masing-masing transformator tersebut akan memberikan suplai daya listrik kepada wilayah tertentu. Adapun penyulang Mendut, yang akan dianalisis ketidakseimbangan arus bebannya, berada di TRAFO 2 SHANDONG.



Gambar 4-1 TRANSFORMATOR 2 SHANDONG

yang dilakukan, akan diperoleh data persentase ketidakseimbangan arus beban antar fasa sehingga gardu distribusi dapat diklasifikasikan menjadi baik, cukup, kurang, ataupun buruk. Berikut ini merupakan tabel standar beban transformator menurut surat Edaran Direksi PT PLN (Persero) No. 17 Tahun 2014.

Karakteristik	Indeks Kualitas			
	Baik	Cukup	Kurang	Buruk
Ketidakseimbangan arus beban antar fasa	$< 10\%$	10%-20%	20%-25%	$\geq 25\%$
Besar arus netral (% terhadap arus beban transformator)	$< 10\%$	10%-20%	15%-20%	$\geq 20\%$
Pembebanan transformator (% terhadap kapasitas)	$< 10\%$	60%-80%	80%-100%	$\geq 100\%$

Tabel 4-3 Standar Beban Transformator

Dapat diketahui melalui tabel tersebut jika suatu gardu distribusi akan tergolong baik jika memiliki persentase ketidakseimbangan arus beban antar fasa kurang dari 10%, cukup jika bernilai 10% sampai 20%, kurang jika bernilai 20% sampai 25%, serta buruk jika bernilai lebih dari 25%.

4.4. Data Gardu Distribusi Penyulang Mendut

Pada penyulang Mendut, digunakan terdapat 81 gardu distribusi. Hal ini mengindikasikan jika pada penyulang Mendut terdapat 81 buah transformator distribusi. Transformator distribusi ini berguna untuk menurunkan nilai tegangan dari tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Adapun transformator distribsui ini termasuk ke dalam jenis transformator tiga fasa. Berikut ini merupakan gambar spesifikasi dari salah satu transformator distribusi yang ada di penyulang Mendut.



Gambar 4-3 Spesifikasi Salah Satu Transformator Distribusi

Penyediaan tenaga listrik oleh gardu distribusi merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam upaya peningkatan kualitas dari sistem distribusi. Proporsi pembebanan yang tidak merata pada setiap fasa keluaran dari transformator distribusi merupakan bagian dari ketidakseimbangan arus beban. Ini merupakan hal yang tidak dapat dihindari. Ketidakseimbangan arus beban pada setiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T) dapat menyebabkan mengalirnya arus di titik netral transformator. Besar arus netral ini berbanding lurus dengan persentase ketidakseimbangan arus beban pada gardu distribusi.

Aliran arus netral yang terjadi pada transformator distribusi dapat menyebabkan terjadinya *losses*. Arus netral yang berlebihan pada sistem distribusi dapat mengakibatkan menurunnya kualitas daya dan panas berlebihan pada transformator. Hal ini dapat menyebabkan kerugian bagi PT PLN (Persero), sebagai penyedia energi listrik, secara finansial maupun secara produksi listrik itu sendiri.

Agar dapat melakukan analisis ketidakseimbangan arus beban, perlu diperlukan beberapa data, seperti arus pada fasa R, S, T, dan N, tegangan RS, tegangan RT, tegangan ST, tegangan RN, tegangan SN, dan tegangan TN. Berikut adalah data yang diperoleh untuk setiap gardu distribusi pada penyulang Mendut untuk pengukuran yang dilakukan pada bulan Agustus 2022.

No	Kode gardu	Kapasitas (kVA)	Arus (Ampere)				Tegangan (Volt)					
			N	R	S	T	RS	RT	ST	RN	SN	TN
1	JA016	100	63	120	107	90	405	406	400	231	235	232
2	JA018	150	67	148	141	144	392	390	397	231	230	239
3	JA020	250	117	218	224	219	396	395	393	237	236	231

4	JA023	160	80	147	119	91	402	408	401	228	230	231
5	JA024	150	50	57	96	65	418	420	409	237	243	239
6	JA028	250	78	190	187	137	409	410	403	233	238	234
7	JA036	200	72	131	96	124	393	398	394	228	232	227
8	JA051	75	50	70	76	79	392	394	390	233	234	235
9	JA060	200	96	171	116	197	387	395	392	225	225	228
10	JA062	25	9	17	12	9	396	396	397	231	233	233
11	JA065	250	92	141	177	142	399	398	393	228	230	227
12	JA069	160	67	90	123	98	390	400	395	231	232	231
13	JA079	50	71	92	20	18	388	404	406	227	228	237
14	JA088	150	96	138	144	126	390	396	394	231	236	234
15	JA091	100	53	99	86	70	409	403	411	238	233	234
16	JA092	150	116	134	137	198	408	410	401	232	237	233
17	JA093	250	83	167	139	128	394	406	397	231	233	232
18	JA100	150	79	151	88	146	397	403	393	225	232	227
19	JA101	150	107	88	108	107	394	393	384	227	231	227
20	JA104	150	100	171	168	135	395	401	404	229	230	234
21	JA105	200	62	211	176	180	401	404	396	229	234	230
22	JA109	150	49	28	59	54	410	411	405	233	238	235
23	JA115	160	34	89	64	95	399	406	399	231	235	233
24	JA122	160	76	144	94	79	395	404	397	232	238	235
25	JA128	200	117	169	229	116	392	396	393	235	233	239
26	JA130	160	33	47	62	57	394	392	391	228	230	233
27	JA162	100	40	48	55	37	394	392	391	228	230	230
28	JA164	160	117	201	182	112	395	399	392	226	230	229
29	JA188	250	90	204	178	123	414	413	409	232	238	237
30	JA190	250	97	233	213	238	401	393	398	227	232	235
31	JA191	160	104	99	160	175	385	382	393	222	215	208
32	JA239	160	50	34	47	42	395	394	391	233	230	234
33	JA259	100	13	28	33	26	397	394	399	230	234	231
34	JA277	100	3	3	4	3	401	400	399	231	232	232
35	JA293	100	37	70	87	57	405	407	394	232	235	232
36	JA297	100	28	34	29	41	391	397	400	228	226	232
37	JA302	100	49	87	79	94	401	401	403	233	232	233
38	JA344	100	12	29	15	46	395	406	397	229	228	232
39	JA345	160	30	31	30	48	394	383	396	224	228	230
40	JA392	100	44	59	58	54	399	401	406	231	232	236
41	JA407	100	68	171	170	152	391	400	397	226	231	228
42	JA429	100	66	143	112	95	390	396	387	222	228	226
43	JA431	100	105	73	174	133	403	399	393	230	232	229
44	JA433	160	88	162	143	199	391	397	395	234	236	237
45	JA440	100	21	36	62	60	404	403	397	232	235	230
46	JA451	160	136	82	134	228	397	398	383	220	232	225
47	JA452	160	52	106	97	81	395	396	392	230	233	231
48	JA458	160	85	141	69	60	403	407	399	230	235	232
49	JA459	160	53	78	84	68	397	392	395	230	230	234

50	JA474	250	55	103	93	76	394	396	397	233	235	230
51	JA486	160	30	42	56	16	393	403	394	234	239	233
52	JA489	100	92	74	73	129	403	404	393	228	235	229
53	JA493	50	49	81	69	43	388	391	386	222	225	225
54	JA499	160	79	58	84	59	410	402	405	234	231	239
55	JA504	100	81	51	88	115	394	409	402	233	236	233
56	JA507	100	53	69	74	81	404	410	412	233	233	238
57	JA509	100	84	221	69	50	401	406	411	233	232	239
58	JA542	100	90	72	63	129	395	399	390	230	237	225
59	JA543	100	79	95	22	55	394	399	396	235	241	237
60	JA545	100	52	84	72	70	392	395	391	230	233	234
61	JA554	100	72	68	40	96	393	394	388	225	225	226
62	JA558	100	1	1	1	1	398	396	397	231	234	235
63	JA559	100	40	55	41	39	397	397	396	230	230	231
64	JA560	100	53	106	68	65	401	406	398	227	234	232
65	JA568	100	59	59	86	45	404	410	413	235	233	239
66	JA569	100	62	96	58	51	396	402	395	232	237	235
67	JA574	100	50	90	56	93	386	397	395	224	225	230
68	JA579	100	18	22	29	30	390	392	393	228	299	233
69	JA590	100	26	40	39	32	397	404	399	231	234	232
70	JA619	100	99	45	52	133	399	403	388	226	234	227
71	JA626	160	54	88	86	75	392	394	391	228	230	231
72	JA629	100	26	32	23	14	395	399	390	228	231	226
73	JA630	100	29	38	45	32	399	398	396	237	234	234
74	JA634	200	40	42	39	66	390	396	393	229	233	231
75	JA641	160	8	30	25	21	392	400	403	229	226	232
76	JA651	250	35	66	42	71	403	409	411	234	233	237
77	JA652	250	10	13	7	12	403	405	398	230	234	231
78	JA653	100	44	69	71	52	394	396	391	233	235	230
79	JA654	200	16	53	41	43	393	398	402	229	227	232
80	JA660	100	17	15	24	20	399	404	398	233	234	232
81	JA661	100	1	2	2	2	404	407	397	230	230	231

Tabel 4-4 Tabel Data Gardu Distribusi Penyulang Mendut

4.5. Persentase Ketidakseimbangan Arus Beban

Dikarenakan terdapat banyak gardu distribusi yang akan dihitung persentase ketidakseimbangan arus bebannya, maka digunakan bantuan *software Microsoft Excel* untuk mempermudah proses perhitungan. Akan tetapi, akan dilakukan perhitungan secara manual untuk salah satu sampel gardu distribusi agar dapat diketahui rumus, serta langkah-langkah yang diperlukan untuk mendapatkan hasil akhir yang diinginkan. Adapun sampel gardu distribusi yang akan dibuat perhitungannya secara manual yakni gardu distribusi JA542. Berikut ini merupakan data transformator distribusi pada gardu distribusi JA542.

Tegangan fasa TN : 225 A


$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} x V}$$

dimana :

I_{FL} : Arus pada saat beban penuh

V : Rata-rata tegangan RS, RS, dan ST

Maka,

$$I_{FL} = \frac{100.000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times (395 + 399 + 390) / 3 \text{ V}}$$

$$I_{FL} = \frac{100000 \text{ VA}}{683,5827187 \text{ V}} = 146,288075 \text{ A}$$

Langkah selanjutnya yaitu dengan menghitung rata-rata dari arus fasa R, S, dan T. Berikut ini adalah perhitungannya.

➤ Arus rata-rata pada waktu pengukuran

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_{rata-rata} = \frac{72 + 63 + 129}{3} = 88 \text{ A}$$

Pada akhirnya dapat diketahui persentase beban terhadap beban penuh pada saat waktu pengukuran. Berikut adalah perhitungannya.

➤ Persentase beban

$$\%Beban = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\%$$

$$\%Beban = \frac{88 \text{ A}}{146,288075 \text{ A}} \times 100\% = 60,516\%$$

4.5.2. Perhitungan Persentase Ketidakseimbangan Arus Beban

Untuk mengetahui persentase ketidakseimbangan arus beban pada setiap fasa, pertama-tama perlu dihitung terlebih dahulu koefisien ketidakseimbangan arus beban pada masing-masing fasa. Berikut adalah perhitungannya.

➤ Koefisien ketidakseimbangan arus beban

- Fasa R

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{72 A}{88 A} = 0,818182$$

- Fasa S

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{63 A}{88 A} = 0,715909$$

- Fasa T

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{129 A}{88 A} = 1,420455$$

Setelah koefisien ketidakseimbangan arus beban diperoleh, maka dapat dicari persentase ketidakseimbangan arus beban pada transformator distribusi JA542. Berikut adalah perhitungannya.

➤ Persentase ketidakseimbangan

$$\%unbalance = \frac{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|}{3} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \%unbalance \\ = \frac{|0,818182 - 1| + |0,715909 - 1| + |1,420455 - 1|}{3} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\%unbalance = 29,54546667\%$$

Diperoleh persentase ketidakseimbangan arus beban pada setiap fasa yaitu sebesar 29,54547%. Artinya, transformator distribusi JA542 tergolong “kurang” jika merujuk pada standar yang diterapkan oleh PT PLN (Persero).

4.5.3. Data Keseluruhan Persentase Ketidakseimbangan Arus Beban

Berikut ini merupakan data keseluruhan persentase ketidakseimbangan arus beban pada semua transformator distribusi yang ada di penyulang Mendut yang diperoleh dari *software Microsoft excel*.

No	Kode gardu	Kapasitas (kVA)	%Unbalance	Klasifikasi
1	JA016	100	9,884332282	BAIK
2	JA018	150	1,69361047	BAIK
3	JA020	250	1,109430156	BAIK
4	JA023	160	15,68627451	CUKUP

5	JA024	150	21,40672783	KURANG
6	JA028	250	13,35927367	CUKUP
7	JA036	200	11,96581197	CUKUP
8	JA051	75	4,444444444	BAIK
9	JA060	200	18,73278237	CUKUP
10	JA062	25	22,80701754	KURANG
11	JA065	250	10,28985507	CUKUP
12	JA069	160	12,43301179	CUKUP
13	JA079	50	74,87179487	BURUK
14	JA088	150	4,901960784	BAIK
15	JA091	100	11,76470588	CUKUP
16	JA092	150	17,76830135	CUKUP
17	JA093	250	10,29185868	CUKUP
18	JA100	150	20,95238095	KURANG
19	JA101	150	8,580858086	BAIK
20	JA104	150	9,70464135	BAIK
21	JA105	200	7,760141093	BAIK
22	JA109	150	26,95035461	BURUK
23	JA115	160	15,05376344	CUKUP
24	JA122	160	24,18506835	KURANG
25	JA128	200	22,4383917	KURANG
26	JA130	160	10,04016064	CUKUP
27	JA162	100	13,80952381	CUKUP
28	JA164	160	21,41414141	KURANG
29	JA188	250	17,95379538	CUKUP
30	JA190	250	4,385964912	BAIK
31	JA191	160	21,04454685	KURANG
32	JA239	160	11,38211382	CUKUP
33	JA259	100	9,195402299	BAIK
34	JA277	100	13,33333333	CUKUP
35	JA293	100	14,64174455	CUKUP
36	JA297	100	12,17948718	CUKUP
37	JA302	100	5,897435897	BAIK
38	JA344	100	35,55555556	BURUK
39	JA345	160	21,40672783	KURANG
40	JA392	100	3,50877193	BAIK
41	JA407	100	5,003380663	BAIK
42	JA429	100	15,04761905	CUKUP
43	JA431	100	28,24561404	BURUK
44	JA433	160	12,3015873	CUKUP
45	JA440	100	21,09704641	KURANG
46	JA451	160	36,03603604	BURUK
47	JA452	160	9,624413146	BAIK
48	JA458	160	37,77777778	BURUK
49	JA459	160	7,536231884	BAIK
50	JA474	250	10,78431373	CUKUP

51	JA486	160	38,59649123	BURUK
52	JA489	100	26,8115942	BURUK
53	JA493	50	22,10708117	KURANG
54	JA499	160	16,91542289	CUKUP
55	JA504	100	26,50918635	BURUK
56	JA507	100	5,654761905	BAIK
57	JA509	100	63,33333333	BURUK
58	JA542	100	29,54546667	BURUK
59	JA543	100	43,79844961	BURUK
60	JA545	100	7,669616519	BAIK
61	JA554	100	27,45098039	BURUK
62	JA558	100	0	BAIK
63	JA559	100	14,81481481	CUKUP
64	JA560	100	22,0362622	KURANG
65	JA568	100	23,85964912	KURANG
66	JA569	100	26,99186992	BURUK
67	JA574	100	19,80474198	CUKUP
68	JA579	100	12,34567901	CUKUP
69	JA590	100	9,009009009	BAIK
70	JA619	100	48,98550725	BURUK
71	JA626	160	6,425702811	BAIK
72	JA629	100	26,08695652	BURUK
73	JA630	100	11,5942029	CUKUP
74	JA634	200	23,1292517	KURANG
75	JA641	160	12,28070175	CUKUP
76	JA651	250	19,73929236	CUKUP
77	JA652	250	22,91666667	KURANG
78	JA653	100	12,5	CUKUP
79	JA654	200	10,70559611	CUKUP
80	JA660	100	15,81920904	CUKUP
81	JA661	100	0	BAIK

Tabel 4-5 Data Persentase Ketidakseimbangan Arus Beban Transformator Distribusi dan Hasil Klasifikasinya

Dari data yang diperoleh, diketahui jika sebanyak 21 transformator distribusi tergolong “BAIK”, 30 tergolong “CUKUP”, 14 tergolong “KURANG”, dan 16 tergolong “BURUK”. Semakin rendah indeks kualitas dari transformator distribusi, maka akan semakin besar nilai rugi-rugi daya yang terjadi pada gardu distribusi tersebut. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme penyeimbangan arus beban pada transformator distribusi sehingga nilai rugi-rugi daya dapat diminimalisasi.

4.6. Rugi-Rugi Daya

Setelah diperoleh persentase ketidakseimbangan arus beban pada transformator distribusi JA542, dapat dicari besarnya persentase rugi daya yang terjadi pada transformator distribusi tersebut. Perlu diketahui juga jika persentase ketidakseimbangan arus beban berbanding lurus dengan besar arus netral yang mengalir pada gardu distribusi. Besar arus netral juga berbanding lurus dengan besarnya rugi daya yang terjadi pada transformator distribusi.

4.6.1. Perhitungan Daya Aktif Transformator Distribusi

Langkah pertama yang perlu dilakukan yaitu dengan menghitung nilai daya aktif dari transformator distribusi JA542. Berikut ini adalah perhitungannya.

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

dimana :

V : Tegangan saluran

I : Arus saluran

$\cos \varphi$: faktor daya

Karena digunakan transformator tiga fasa, maka rumus dapat diubah menjadi sebagai berikut.

$$P = \sqrt{3} \times (I_R \times V_{RN} + I_S \times V_{SN} + I_T \times V_{TN}) \times \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \times (72 \times 230 + 63 \times 237 + 129 \times 225) \times 0,85$$

$$P = 89.094,27 \text{ Watt}$$

4.6.2. Perhitungan Rugi Daya Akibat Arus Netral

Setelah diperoleh nilai daya aktif, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai rugi daya yang terjadi pada penghantar netral. Berikut ini adalah perhitungannya.

$$P_N = I_N^2 R_N$$

dimana :

P_N : Rugi akibat arus netral pada transformator distribusi

I_N : Arus yang mengalir pada penghantar netral transformator distribusi

R_N : Resistansi penghantar netral transformator distribusi

Nilai resistansi penghantar netral transformator dapat diketahui dengan menggunakan rumus berikut.

$$R_N = \rho \times \frac{L}{A}$$

Dimana :

ρ : Hambatan jenis kawat (Ωm)

L : Panjang penghantar netral (m)

A : Luas penampang penghantar netral (m^2)

Pada perhitungan ini, diasumsikan kabel yang digunakan sama semua, yakni NFA2X-T dengan luas penampang 70 mm^2 (hampir semua gardu distribusi memiliki penghantar netral dengan spesifikasi demikian). Dikarenakan panjang kawat setiap gardu distribusi tidaklah sama dan tidak ada data bersih yang dapat memberikan informasi mengenai hal tersebut, maka diasumsikan panjang penghantar netral sama semua di angka 1 km. Maka, dapat diketahui nilai resistansi penghantar netral dari transformator distribusi yang ada di penyulang Mendut, yakni sebagai berikut.

$$R_N = \rho \times \frac{L}{A}$$

$$R_N = 4,83 \times 10^{-8} \Omega m \times \frac{1000 \text{ m}}{70/1000000 \text{ m}^2}$$

$$R_N = 0,69 \Omega$$

Pada akhirnya nilai rugi daya yang terjadi akibat arus netral pada transformator distribusi JA542 dapat dicari. Berikut adalah perhitungannya.

$$P_N = 90^2 A \times 0,69 \Omega$$

$$P_N = 5.589 A$$

4.6.3. Perhitungan Persentase Rugi Daya Akibat Arus Netral

Setelah nilai daya aktif dan rugi daya yang terjadi pada penghantar netral transformator distribusi JA542 diperoleh, maka persentase rugi daya yang terjadi pada transformator distribusi JA542 dapat diketahui. Berikut adalah perhitungannya.

$$\%P_{loss} = \frac{P_N}{P} \times 100\%$$

$$\%P_{loss} = \frac{5.589 A}{89.094,27 A} \times 100\% = 6,273131\%$$

Diperoleh persentase rugi daya yang diakibatkan oleh arus netral pada transformator distribusi JA542 yakni sebesar 6,273131%. Nilai ini berbanding lurus dengan besar arus netral dan persentase ketidakseimbangan arus beban pada setiap fasa.

4.6.4. Data Keseluruhan Persentase Rugi Daya Akibat Arus Netral

Berikut ini merupakan data keseluruhan persentase rugi daya akibat arus netral pada semua transformator distribusi yang ada di penyulang Mendut yang diperoleh dari *software Microsoft excel*.

No	Kode gardu	Kapasitas (kVA)	P	PN	%losses
1	JA016	100	108570,6	2738,61	2,522424
2	JA018	150	148746,6	3097,41	2,08234
3	JA020	250	228372,9	9445,41	4,135959
4	JA023	160	120587	4416	3,662086
5	JA024	150	77104,32	1725	2,237229
6	JA028	250	177897	4197,96	2,35977
7	JA036	200	118203,5	3576,96	3,026104
8	JA051	75	77526,85	1725	2,225035
9	JA060	200	161197,4	6359,04	3,944878
10	JA062	25	12985,18	55,89	0,430414
11	JA065	250	154721	5840,16	3,77464
12	JA069	160	105948,5	3097,41	2,923505
13	JA079	50	43740,35	3478,29	7,952132
14	JA088	150	140372,5	6359,04	4,530118

15	JA091	100	88305,15	1938,21	2,1949
16	JA092	150	161491,8	9284,64	5,749294
17	JA093	250	148196	4753,41	3,207516
18	JA100	150	128869,9	4306,29	3,34158
19	JA101	150	101898,4	7899,81	7,752636
20	JA104	150	161047,2	6900	4,284458
21	JA105	200	192721	2652,36	1,376269
22	JA109	150	48960,92	1656,69	3,383699
23	JA115	160	84998,49	797,64	0,938417
24	JA122	160	109453,9	3985,44	3,641204
25	JA128	200	177841,1	9445,41	5,311152
26	JA130	160	56323,61	751,41	1,334094
27	JA162	100	47264,9	1104	2,335772
28	JA164	160	166266,3	9445,41	5,680892
29	JA188	250	174965,8	5589	3,194339
30	JA190	250	232963,3	6492,21	2,786795
31	JA191	160	136591,8	7463,04	5,463755
32	JA239	160	42047,27	1725	4,102526
33	JA259	100	29692,2	116,61	0,392729
34	JA277	100	3411,187	6,21	0,182048
35	JA293	100	73478,19	944,61	1,285565
36	JA297	100	35065,89	540,96	1,542696
37	JA302	100	89072,19	1656,69	1,859941
38	JA344	100	30524,02	99,36	0,325514
39	JA345	160	36546,96	621	1,699184
40	JA392	100	58637,97	1335,84	2,278114
41	JA407	100	165733,4	3190,56	1,925116
42	JA429	100	115942,1	3005,64	2,592363
43	JA431	100	128990,6	7607,25	5,897523
44	JA433	160	174930,5	5343,36	3,054562
45	JA440	100	54063,71	304,29	0,562836
46	JA451	160	147854,4	12762,24	8,631625
47	JA452	160	96714,6	1865,76	1,92914
48	JA458	160	92110,89	4985,25	5,412226
49	JA459	160	78282,11	1938,21	2,47593
50	JA474	250	93243,05	2087,25	2,238505
51	JA486	160	39662,23	621	1,565721
52	JA489	100	93587,55	5840,16	6,240317
53	JA493	50	63574,41	1656,69	2,605907
54	JA499	160	69308,79	4306,29	6,213194
55	JA504	100	87518,97	4527,09	5,172696
56	JA507	100	77435,57	1938,21	2,502997
57	JA509	100	116971,2	4868,64	4,162256
58	JA542	100	89094,27	5589	6,273131
59	JA543	100	59864,35	4306,29	7,193413
60	JA545	100	77257,43	1865,76	2,414991

61	JA554	100	67717,3	3576,96	5,282195
62	JA558	100	1030,57	0,69	0,066953
63	JA559	100	45770,57	1104	2,41203
64	JA560	100	81052,88	1938,21	2,391291
65	JA568	100	65747,44	2401,89	3,653207
66	JA569	100	70672,09	2652,36	3,753052
67	JA574	100	79721,97	1725	2,16377
68	JA579	100	30441,57	223,56	0,73439
69	JA590	100	37969,15	466,44	1,228471
70	JA619	100	77335,46	6762,69	8,744617
71	JA626	160	84166,67	2012,04	2,390542
72	JA629	100	23221,69	466,44	2,008639
73	JA630	100	39785,9	580,29	1,458532
74	JA634	200	49984,13	1104	2,208701
75	JA641	160	25605,25	44,16	0,172465
76	JA651	250	61918,13	845,25	1,365109
77	JA652	250	10894,6	69	0,633341
78	JA653	100	65841,66	1335,84	2,028867
79	JA654	200	46257,88	176,64	0,381859
80	JA660	100	20244,82	199,41	0,984993
81	JA661	100	2034,64	0,69	0,033913

Tabel 4-6 Data Persentase Rugi Daya pada Transformator Distribusi Akibat Arus Netral

Dari data yang diperoleh dapat diketahui jika persentase rugi daya akibat arus netral memiliki rentang nilai mulai dari 0,033913% hingga 8,744617%.

4.7. Penyeimbangan Arus Beban Transformator Distribusi

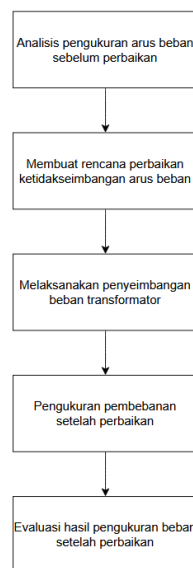
Seperti yang sudah disinggung sebelumnya, ketidakseimbangan arus beban pada setiap fasa transformator distribusi bukanlah merupakan hal yang bagus. Ketidakseimbangan arus beban pada setiap fasa dapat menyebabkan mengalirnya arus pada penghantar netral transformator distribusi. Semakin besar nilai arus netral yang mengalir, maka kerugian daya yang terjadi pada jaringan listrik akan semakin tinggi. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk memperbaiki hal ini.

Cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah ketidakseimbangan arus beban yaitu dengan melakukan penyeimbangan arus beban dari transformator distribusi. Penyeimbangan arus beban merupakan suatu upaya pemerataan arus beban pada setiap fasa transformator distribusi untuk memperkecil besar arus netral yang mengalir pada penghantar netral. Penyeimbangan arus beban transformator merupakan suatu hal yang harus dilakukan secara berkala. Dengan melakukan penyeimbangan arus beban, kerugian yang dialami oleh

PT PLN (Persero) akibat rugi daya dapat dikurangi. Tidak hanya itu, penyeimbangan arus beban juga dapat memperpanjang umur transformator sehingga biaya yang dikeluarkan oleh PT PLN (Persero) untuk pemeliharaan dan pembelian transformator distribusi juga dapat dikurangi.

Pada dasarnya, mekanisme penyeimbangan arus beban dapat dilakukan dengan memindahkan beban dari fasa satu ke fasa yang lainnya. Dalam hal ini, fasa dengan beban yang besar akan dipindahkan sebagian bebannya menuju fasa dengan beban yang kecil. Hal itu akan menyebabkan arus beban pada setiap fasa akan memiliki selisih yang sangat kecil. Dengan demikian, besaran arus netral yang mengalir pada fasa netral dapat diminimalisasi semaksimal mungkin untuk menekan rugi daya yang dialami oleh PT PLN (Persero).

Berikut ini merupakan blok diagram langkah perbaikan ketidakseimbangan arus beban pada transformator distribusi.



Gambar 4-5 Blok Diagram Langkah Perbaikan Ketidakseimbangan Arus Beban

4.7.1. Analisis Pengukuran Arus Beban sebelum Perbaikan

Pada Langkah pertama, kegiatan yang dilakukan meliputi pengukuran arus beban pada transformator distribusi dengan menggunakan tang ampere, analisis persentase ketidakseimbangannya, hingga analisis persentase rugi daya yang dialami dengan menggunakan rumus yang telah dijabarkan pada subbab sebelumnya.

Tang ampere atau disebut juga dengan *clamp meter* merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk mengukur besarnya arus listrik pada sebuah penghantar listrik dengan menggunakan dua bagian garpu penjepit (*clamp*) yang ada padanya. Dengan menggunakan tang ampere, pengukuran arus beban pada setiap fasa transformator distribusi dapat dilakukan tanpa perlu melakukan kontak langsung dengan penghantar listrik tersebut.



Gambar 4- 6 Tang Meter



Gambar 4-7 Dokumentasi Pengukuran Arus Beban pada Transformator Distribusi

4.7.2. Penyusunan Rencana Perbaikan Ketidakseimbangan Arus Beban

Setelah Langkah pertama dilakukan, diperoleh keluaran berupa nama transformator distribusi yang diprioritaskan untuk dilakukan perbaikan. Hal tersebut

dapat ditentukan melalui pertimbangan persentase ketidakseimbangan dan rugi daya pada transformator distribusi.

Selanjutnya, akan dilakukan penyusunan rencana untuk memperbaiki ketidakseimbangan arus beban. Rencana penyeimbangan arus beban ini meliputi waktu pelaksanaan kegiatan (target), alat dan bahan yang dibutuhkan, hingga rencana pemindahan beban dari satu fasa ke fasa yang lainnya. Rencana pemindahan beban dari satu fasa ke fasa yang lainnya dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan beban rata-rata pada fasa R, S, dan T. Berikut ini adalah data arus beban (beban utama) R, S, dan T pada transformator distribusi JA542.

JA542	R	S	T	Rata-rata
Arus Beban (A)	90	72	63	75

Tabel 4-7 Data Arus Beban pada Fasa R, S, dan T Transformator Distribusi JA542

Dapat diketahui jika rata-rata arus beban R, S, dan T yaitu 75 A. Dari sini, dapat diketahui jika target arus beban pada fasa R, S, dan T masing-masing adalah senilai 75 A. Berikut ini adalah rencana pemindahan beban pada transformator distribusi JA542.

Jurusan	Pemindahan						Target		
	R ke S	R ke T	S ke R	S ke T	T ke R	T ke S	R	S	T
Beban Utama	3	12	0	0	0	0	75	75	75

Tabel 4-8 Rencana Pemindahan Beban pada Transformator Distribusi JA542

Setelah sudah diketahui rencana pemindahan beban, maka dapat disusun daftar peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan penyeimbangan arus beban. Berikut merupakan tabel peralatan yang diperlukan untuk melakukan penyeimbangan arus beban.

No	Material	Jumlah	Harga	Total Harga
1	Connector	4	Rp6.930	Rp27.720

2	Line Tap Connector (type press) 6-25 / 35 – 70 mm + heatshrink	20	Rp12.000	Rp240.000
Total				Rp267.720

Tabel 4-9 Peralatan yang Diperlukan untuk Melakukan Penyeimbangan Arus Beban

Dalam hal ini, connector dan line tap connector (type press) 6-25 / 35 – 70 mm berguna untuk menyambungkan dua buah penghantar sehingga tahanan pada kontak penyambungan bisa menjadi sangat kecil (mendekati nol). Adapun untuk heatshrink akan berguna untuk mengisolasi kabel sehingga kabel akan mendapatkan ketahanan abrasi dan perlindungan lingkungan. Dalam penggunaannya, heatshrink yang berbentuk tabung plastic akan menyusut secara radial ketika dipanaskan sehingga proses pengisolasian kabel dapat dilakukan dengan lebih rapi.



Gambar 4-8 Line Tap Connector (type press) 6-25 / 35 – 70 mm



Gambar 4-9 Heatshrink

4.7.3. Pelaksanaan Penyeimbangan Beban Transformator

Setelah penyusunan rencana perbaikan ketidakseimbangan arus beban pada transformator distribusi sudah dilakukan, maka proses pelaksanaan penyeimbangan beban transformator juga bisa dilakukan. Proses penyeimbangan beban

transformator harus dilakukan dengan menggunakan perlengkapan *safety*, mulai dari helm, rompi, sepatu, hingga sarung tangan *safety*.



Gambar 4-10 Helm Safety



Gambar 4-11 Rompi Safety



Gambar 4-12 Sepatu Safety 20 kV



Gambar 4-13 Sarung Tangan Safety 5 kV

Setelah perlengkapan safety sudah dikenakan, maka proses pemindahan beban transformator distribusi sesuai dengan rencana yang telah dibuat sebelumnya sudah dapat dilakukan.



Gambar 4-14 Dokumentasi Penyeimbangan Beban Transformator Distribusi

4.7.4. Pengukuran Pembebanan Setelah Perbaikan dan Evaluasi

Setelah penyeimbangan arus beban pada transformator distribusi sudah dilakukan, maka langkah terakhir yang bisa dilakukan yaitu dengan melakukan pengukuran kembali arus beban setelah perbaikan. Dalam hal ini, akan dilakukan juga evaluasi apakah hasil penyeimbangan sudah sesuai dengan target yang ingin dicapai atau belum. Jika memang target belum sesuai, langkah penyeimbangan arus beban dapat dilakukan kembali sesuai dengan kebutuhan.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis ketidakseimbangan arus beban pada transformator distribusi di Penyulang Mendut Gardu Induk Banyuwangi, diperoleh beberapa kesimpulan yang di antaranya adalah sebagai berikut.

1. Ketidakseimbangan arus beban merupakan suatu kondisi dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi, yakni vektor arus (mewakili arus yang mengalir pada masing-masing fasa) memiliki besar yang sama, serta ketiga vektor tersebut membentuk sudut 120° satu sama lain.
2. Ketidakseimbangan arus beban dapat menyebabkan munculnya arus netral. Arus netral merupakan arus bolak-balik yang mengalir pada kawat netral pada sistem distribusi tiga fasa empat kawat.
3. Arus netral harus diminimalisasi karena dapat menyebabkan kerugian, mulai dari *overloading* pada konduktor netral, *overheating* pada peralatan, hingga susut daya.
4. Besar arus netral akan berbanding lurus dengan persentase ketidakseimbangan arus beban.
5. Berdasarkan persentase ketidakseimbangan arus bebannya, transformator distribusi dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu baik, cukup, kurang, dan buruk.
6. Untuk mengurangi rugi daya akibat ketidakseimbangan arus beban, perlu dilakukan penyeimbangan arus beban, yakni upaya pemerataan arus beban pada setiap fasa transformator distribusi untuk memperkecil besar arus netral yang mengalir pada penghantar netral.
7. Dengan melakukan penyeimbangan arus beban, kerugian yang dialami oleh PT PLN (Persero) dapat diminimalisasi.

5.2. Saran

Dengan pertimbangan kegiatan kerja praktik yang telah dilakukan di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi, penulis ingin

menyampaikan beberapa saran kepada beberapa pihak yang bisa dipertimbangkan demi kebaikan bersama.

5.2.1. Bagi Perusahaan

- PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi dapat melakukan pengukuran arus beban pada setiap transformator distribusi secara berkala.
- PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi dapat melakukan analisis ketidakseimbangan arus beban pada setiap transformator distribusi secara berkala.
- PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi dapat melakukan analisis rugi daya pada setiap transformator distribusi akibat mengalirnya arus pada penghantar netral secara berkala.
- PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi dapat membuat daftar transformator distribusi prioritas untuk segera dilakukan perbaikan berdasarkan ketidakseimbangan arus beban dan rugi daya yang terjadi akibat arus netral.
- PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi dapat menyusun rencana perbaikan ketidakseimbangan arus beban pada transformator distribusi untuk mengurangi kerugian yang dialami oleh PT PLN (Persero). Penyusunan rencana perbaikan ini meliputi tanggal perbaikan, jenis transformator distribusi, mekanisme pemindahan arus beban antar fasa, komponen yang dibutuhkan, biaya, hingga target yang ingin dicapai dalam waktu tertentu.
- PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Banyuwangi dapat melakukan optimasi dengan membuat perhitungan dari aspek ekonomi untuk menentukan langkah terbaik demi meminimalisasi dampak kerugian akibat ketidakseimbangan arus beban.

5.2.2. Bagi Universitas

- Universitas Indonesia dapat menjalin kerja sama dengan perusahaan-perusahaan yang ada di Indonesia perihal masalah kerja praktik yang bisa

dilakukan mahasiswa di perusahaan terkait demi keuntungan kedua belah pihak.

- Universitas Indonesia dapat memberikan sosialisasi mengenai informasi kegiatan kerja praktik bagi mahasiswa agar semua mahasiswa memiliki pengetahuan yang sama baiknya tentang kegiatan ini.
- Universitas Indonesia dapat memiliki wadah informasi yang bisa memberikan informasi dengan jelas tentang mekanisme penilaian, informasi terkait laporan, batas akhir pengumpulan laporan, sidang kerja praktik, dan lain sebagainya.
- Universitas Indonesia diharapkan memiliki *contact person* ataupun sejenisnya yang dapat dihubungi oleh mahasiswa untuk menanyakan informasi seputar kerja praktik.
- Universitas Indonesia diharapkan memberikan sosialisasi kepada mahasiswa terkait etika profesi, profesionalisme dalam bekerja, perilaku disiplin, tanggung jawab, dan lain sebagainya, sebagai bekal bagi mahasiswa sebelum melaksanakan kegiatan kerja praktik sehingga mahasiswa Universitas Indonesia akan memiliki citra yang baik di perusahaan-perusahaan yang ada di Indonesia.

5.2.3. Bagi Mahasiswa

- Mahasiswa diharapkan berusaha semaksimal mungkin untuk melaksanakan kegiatan kerja praktik dengan baik.
- Mahasiswa diharapkan memahami dan memiliki etika profesi, profesionalisme dalam bekerja, perilaku disiplin, tanggung jawab, dan lain sebagainya.
- Mahasiswa diharapkan memiliki semangat yang tinggi untuk belajar hal-hal baru yang diberikan oleh pembimbing kerja praktik.
- Mahasiswa diharapkan selalu proaktif dan memiliki inisiatif yang tinggi selama melaksanakan kegiatan kerja praktik.
- Mahasiswa diharapkan memiliki manajemen waktu yang baik untuk mengerjakan laporan kerja praktik sehingga bisa selesai sesuai dengan waktu yang telah dijanjikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT PLN (Persero), “Profil Perusahaan,” 2022. [Online]. Available : <https://web.pln.co.id/tentang-kami/profil-perusahaan>. [Diakses 6 Februari 2023].
- [2] Gabriel, H. “Mengenal Arti dan Makna Logo PLN,” 2022. [Online]. Available : <https://sahitya.id/arti-dan-makna-logo-pln/>. [Diakses 6 Februari 2023].
- [3] PT PLN (Persero), Keputusan Direksi PT PLN (Persero) N0.606.K/DIR/2010 tentang Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik.
- [4] I. Malik dan H. M. Mulyawan, “Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Trafo Distribusi ULP Panakkukang,” Skripsi, Universitas Muhammadiyah Makassar, 2021.
- [5] Syufrijal dan Monantun, R, *Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. Kemenrian Pendidikan Dasar Menengah dan Kebudayaan Republik Indonesia, 2014.
- [6] Suripto, S, *Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta : LP3M UNY, 2017.
- [7] Afandi. *Sistem Tenaga Listrik Operasi Sistem & Pengendalian*. Teknik Elektro Universitas Negeri Malang, 2005.
- [8] Asisten Laboratorium Sistem Tenaga Listrik, “Modul Praktikum Sistem Tenaga Listrik 2022,” Laboratorium Sistem Tenaga Listrik Universitas Indonesia, Depok, 2022.
- [9] Asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik, “Modul Praktikum Teknik Tenaga Listrik 2021,” Laboratorium Teknik Tenaga Listrik Universitas Indonesia, Depok, 2021.
- [10] Satyagraha, H. Wahyono, Effendi, dan Faisol, “PHBTM, CT, dan PT”, Materi SPLN.
- [11] Satyagraha, H. Wahyono, Effendi, dan Faisol, “Penghantar TM, TR, dan Aksesorisnya”, Materi SPLN.
- [12] Satyagraha, H. Wahyono, Effendi, dan Faisol, “Isolator, Tiang, dan Aksesorisnya”, Materi SPLN.
- [13] Satyagraha, H. Wahyono, Effendi, dan Faisol, “Arrester dan Fuse Cut Out”, Materi SPLN.
- [14] Satyagraha, H. Wahyono, Effendi, dan Faisol, “LBS dan Recloser”, Materi SPLN.
- [15] Satyagraha, H. Wahyono, Effendi, dan Faisol, “Transformator Distribusi”, Materi SPLN.
- [16] Suprianto. “Klasifikasi Saluran Transmisi Berdasarkan Tegangan,” 2015. [Online]. Available : <https://blog.unnes.ac.id/antosupri/klasifikasi-saluran-transmisi-berdasarkan-tegangan/>. [Diakses 7 Februari 2023]

- [17] I. Fauzi. “Mengenal Beban Resistif, Induktif, Kapasitif, dan Contohnya,” 2022. [Online]. Available : <https://alihamdan.id/beban-resistif-induktif-kapasitif-dan-contohnya/>. [Diakses pada 7 Februari 2023]
- [18] PT PLN (Persero), “Fungsi Tang Ampere dan Bagian-Bagiannya,” 2021. [Online]. Available : <https://yaletools.com/id/fungsi-tang-ampere-dan-bagian-bagiannya/>. [Diakses 26 Februari 2023].