



TUGAS AKHIR

ANALISIS PEMASANGAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV SISIPAN PADA PENYULANG TRANS SEBAGAI UPAYA PENANGGULANGAN *OVERLOAD* DI PT PLN (PERSERO) ULP MALILI

DISUSUN OLEH:

IVAN SAPUTRA
NIM: 202371607

**PROGRAM STUDI D-III TEKNOLOGI LISTRIK
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI PLN
JAKARTA 2026**

**ANALISIS PEMASANGAN TRANSFORMATOR
DISTRIBUSI 20 KV SISIPAN PADA PENYULANG TRANS
SEBAGAI UPAYA PENANGGULANGAN *OVERLOAD* DI PT
PLN (PERSERO) ULP MALILI**

TUGAS AKHIR



Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya

Disusun Oleh:

IVAN SAPUTRA
NIM: 202371607

**PROGRAM STUDI D-III TEKNOLOGI LISTRIK
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI PLN
JAKARTA 2026**

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Ivan Saputra
NIM : 202371607
Program Studi : D-III Teknologi Listrik
Fakultas/Sekolah : Sekolah Vokasi
Judul Tugas Akhir : ANALISIS PEMASANGAN TRANSFORMATOR
DISTRBUSI 20 KV SISIPAN PADA PENYULANG TRANS
SEBAGAI UPAYA PENANGGULANGAN OVERLOAD DI
PT PLN (PERSERO) ULP MALILI.

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Ahli Madya baik di lingkungan Institut Teknologi PLN maupun di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Pernyataan ini dibuat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab serta bersedia bertanggung jawab segala resiko jika ternyata pernyataan ini tidak benar.

Jakarta, 25 Januari 2026



(Ivan Saputra)



LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Judul Tugas Akhir : ANALISIS PEMASANGAN TRANSFORMATOR
DISTRIBUSI 20 KV SISIPAN PADA PENYULANG TRANS
SEBAGAI UPAYA PENANGGULANGAN *OVERLOAD* DI
PT PLN (PERSERO) ULP MALILI.

Nama Mahasiswa : Ivan Saputra

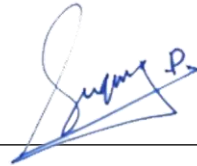
NIM : 202371607

Program Studi : D-III Teknologi Listrik

Fakultas/ Sekolah : Sekolah Vokasi

Disetujui oleh

Pembimbing I
Sugeng Purwanto, S.T., M.Sc.
NIDN: 0816037301



Diketahui oleh,

Kepala Program Studi
Ir. Sandi Kurniawan, S.ST., M.Tr.T.
NIDN: 0309089002



Dekan/Direktur
Ir. Tony Koerniawan, S.T., M.T
NIDN: 0325018402



Tanggal ujian: 23 Februari 2026

Tanggal lulus:

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Judul Tugas Akhir : ANALISIS PEMASANGAN TRANSFORMATOR
DISTRIBUSI 20 KV SISIPAN PADA PENYULANG TRANS
SEBAGAI UPAYA PENANGGULANGAN *OVERLOAD* DI
PT PLN (PERSERO) ULP MALILI.

Nama Mahasiswa : Ivan Saputra

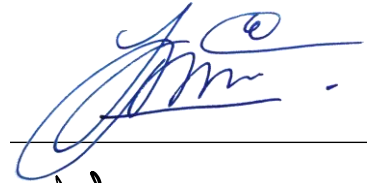
NIM : 202371607

Program Studi : D-III Teknologi Listrik

Fakultas/ Sekolah : Sekolah Vokasi

Disetujui oleh

Ketua Penguji
Muhammad Nur Qosim, S.T., M.T.
NIDN: 0326058301



Anggota Penguji I
Ir. Ibnu Hajar, S.T., M.Sc., IPU.
NIDN: 0307067204

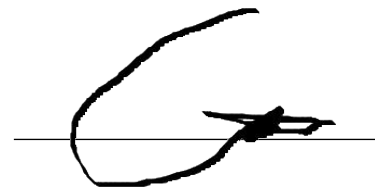


Anggota Penguji II/ Pembimbing
Sugeng Purwanto, S.T., M.Sc.
NIDN: 0816037301



Diketahui oleh,

Kepala Program Studi
Ir. Sandi Kurniawan, S.ST., M.Tr.T.
NIDN: 0309089002



UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan ini saya menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

Bapak Sugeng Purwanto, S.T., M.Sc. Selaku Dosen Pembimbing Utama

Yang telah memberikan petunjuk, saran-saran serta bimbingannya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

Terima kasih yang sama, saya sampaikan kepada:

1. Manajer PT PLN (Persero) ULP Malili Bapak Wawan Kurniawan Saputra
2. Team Leader Teknik ULP Malili Bapak Muhammad Iqbal
3. Team Leader K3L ULP Malili Bapak Hendrian Anugerah
4. Team Leader PP dan ADM Bapak Ramdhani Azzy
5. Pembimbing Lapangan Bapak Poltak Ricardo Siagian
6. Rekan-rekan PT. PLN (Persero) ULP Malili
7. Rekan-rekan PT. Santosa Asih Jaya ULP Malili

Yang telah memberikan petunjuk, dukungan serta arahan selama proses pengambilan data hingga penyusunan proyek akhir ini selesai.

Jakarta, 25 Januari 2026



Ivan Saputra
202371607

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai civitas akademika Institut Teknologi PLN, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Ivan Saputra
NIM : 202371607
Program Studi : D-III Teknologi Listrik
Fakultas/Sekolah : Sekolah Vokasi
Judul Tugas Akhir : ANALISIS PEMASANGAN TRANSFORMATOR
DISTRIBUSI 20 KV SISIPAN PADA PENYULANG
TRANS SEBAGAI UPAYA PENANGGULANGAN
OVERLOAD DI PT PLN (PERSERO) ULP MALILI.

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Institut Teknologi PLN Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (Non-Exclusive Royalty Free Right) atas karya ilmiah saya. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Institut Teknologi PLN berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Proyek Akhir saya selama tetap mencatumkan nama saya sebagai penulis /pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat : Jakarta

Pada tanggal : 25 Januari 2026

Yang menyatakan,



(Ivan Saputra)



ABSTRAK

IVAN SAPUTRA.

Analisis Pemasangan Transformator Distribusi 20 kV Sisipan pada Penyulang Trans
sebagai Upaya Penanggulungan *Overload* di PT. PLN (Persero) ULP Malili
Dibimbing oleh Sugeng Purwanto, S.T., M.Sc.

Transformator distribusi merupakan komponen vital dalam sistem distribusi listrik yang sering menghadapi masalah *overload* akibat peningkatan beban listrik yang melebihi kapasitas trafo. *Overload* ini berpotensi menyebabkan kerusakan transformator dan menurunkan keandalan pasokan listrik pada PT PLN (Persero) ULP Malili. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas pemasangan transformator distribusi 20 kV sisipan sebagai upaya penanggulungan *overload* guna meningkatkan kinerja dan keandalan jaringan distribusi.

Metode penelitian dilakukan dengan pengumpulan data beban listrik dan kondisi trafo sebelum serta sesudah pemasangan trafo sisipan. Analisis meliputi perbandingan pengurangan beban berlebih pada trafo utama dan evaluasi stabilitas tegangan pada jaringan distribusi. Penelitian menggunakan pendekatan studi lapangan dan evaluasi teknis untuk memperoleh data yang akurat dan relevan dengan permasalahan yang dihadapi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan transformator sisipan 20 kV berhasil menurunkan tingkat *overload* pada trafo utama secara signifikan, sehingga memperpanjang usia pakai trafo dan meningkatkan kualitas pasokan listrik. Kesimpulannya, pemasangan trafo sisipan menjadi solusi efektif dalam menanggulangi *overload* dari % pembebanan 96,99 menjadi 61,05 % dengan penurunan sebesar 35,94 % pada gardu distribusi GD 630 BO di PT PLN (Persero) ULP Malili.

Kata kunci: Transformator distribusi, *overload*, trafo sisipan, keandalan jaringan, PLN ULP Malili.

ABSTRACT

IVAN SAPUTRA.

Analysis of 20 kV Distribution Insertion Transformer Installation on Feeder Transformer as an Effort to Mitigate Overload at PT. PLN (Persero) ULP Malili
Supervised by Sugeng Purwanto, S.T., M.Sc.

Distribution transformers are essential components within the electrical distribution system, often facing challenges from overload conditions caused by increased electrical loads that exceed the transformer's capacity. Such overloads can lead to transformer damage and reduce the reliability of the power supply at PT PLN (Persero) ULP Malili. This study aims to evaluate the effectiveness of installing a 20 kV insertion transformer as a solution to mitigate overloads, thereby enhancing the performance and reliability of the distribution network.

The research method involved collecting data on electrical loads and the condition of transformers both before and after the insertion transformer was installed. The analysis focused on comparing the reduction of overload on the main transformer and assessing voltage stability within the distribution network. This study was conducted through field observations and technical evaluations to gather accurate and relevant data addressing the challenges faced.

The results of the study showed that the installation of a 20 kV insert transformer succeeded in significantly reducing the overload level on the main transformer, thereby extending the transformer's service life and improving the quality of electricity supply. In conclusion, the installation of an insert transformer is an effective solution in overcoming overload from 96.99% loading to 61.05% with a reduction of 35.94% at the GD 630 BO distribution substation at PT PLN (Persero) ULP Malili.

Keywords: distribution transformer, overload, insertion transformer, network reliability, PLN ULP Malili.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Penelitian Yang Relevan.....	4
2.2 Landasan Teori	8
2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	8
2.2.2 Sistem Distribusi Primer	10
2.2.3 Sistem Distribusi Sekunder	10

2.2.4	Gardu Distribusi	12
2.2.4.1	Gardu Portal	14
2.2.4.2	Gardu Cantol	15
2.1.5	Transformator.....	16
2.2.5.1	Hubungan Belitan Transformator 3 Fasa	22
2.2.5.2	Perhitungan Arus Beban Penuh Transformator.....	25
2.2.5.3	<i>Overload</i> Transformator.....	26
2.2.5.4	Pembebanan Transformator	26
2.1.6	Tahanan	27
2.2.7	Transformator Sisipan	27
2.2.7.1	Komponen Utama Gardu Distribusi Sisipan.....	28
2.2.7.2	Perhitungan Letak Penempatan Transformator Sisipan	29
2.2.8	ETAP 19.0.1.0	30
BAB III METODE PENELITIAN		31
3.1	Jenis Penelitian.....	31
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	31
3.3	Kerangka Penelitian	32
3.4	Desain Penelitian.....	32
3.5	Metode Pengumpulan Data	33
3.6	Tempat dan Waktu Penelitian.....	36
3.7	Teknik Analisis Data	37
3.8	Jadwal Penelitian.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		38
4.1	Penyajian Data Hasil Lapangan	38
4.1.1	Data Hasil Lapangan	38

4.1.2 Data Pengukuran Transformator GD 630 BO Sebelum Penambahan Trafo Sisipan	39
4.1.3 Transformator Sisipan	42
4.1.4 Data Pengukuran Transformator Sisipan GD 630 FD.....	44
4.1.5 Data Pengukuran Transformator GD 630 BO Setelah Penambahan Transformator Sisipan	45
4.1.6 Simulasi Pembebanan Transformator Menggunakan Aplikasi ETAP 19.0.1..	47
4.2 Analisis Data Lapangan	51
4.2.1 Perbandingan Persentase Pembebanan Transformator GD 630 BO Penyulang Trans Sebelum dan Sesudah Penambahan Transformator Sisipan Perhitungan Manual	51
4.2.2 Perbandingan Persentase Pembebanan Transformator GD 630 BO Penyulang Trans Sebelum dan Sesudah Penambahan Transformator Sisipan Perhitungan Simulasi Aplikasi ETAP 19.0.1	52
4.2.3 Perbandingan Hasil Perhitungan Persentase Pembebanan Transformator Secara Manual dan Simulasi Melalui Aplikasi ETAP	53
4.2.4 Perhitungan Letak Penempatan Transformator Sisipan	54
4.2.5 Perhitungan Kapasitas Transformator Sisipan Berdasarkan Kapasitas Daya Terpasang	56
4.2.6 Kendala Teknis Dalam Pemasangan Transformator Sisipan.....	58
4.2.7 Kendala Non-Teknis Dalam Pemasangan Transformator Sisipan	59
4.2.8 Solusi Untuk Mitigasi Kendala	60
BAB V PENUTUP	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran.....	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Yang Relevan.....	6
Tabel 2. 2 Vektor Group dan Daya Transformator	21
Tabel 3. 1 Nameplate Transformator 50 kVA	34
Tabel 3. 2 Jadwal Penelitian.....	68
Tabel 4. 1 Data Pengukuran Transformator GD 630 BO sebelum penambahan transformator sisipan.....	39
Tabel 4. 2 Data Pengukuran Transformator Sisipan GD 630 FD.....	44
Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Beban Transformator GD 630 BO Setelah Penambahan Transformator Sisipan	46
Tabel 4. 4 Hasil Perbandingan Pengukuran Beban Transformator GD 630 BO Sebelum dan Setelah Penambahan Transformator Sisipan Dengan Perhitungan Manual dan Menggunakan Aplikasi ETAP	54
Tabel 4. 5 Buku 1: Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik (Edisi 1, 2010) oleh PT PLN (Persero)	54
Tabel 4. 6 Tabel Data Kapasitas Daya Terpasang Pelanggan PLN Pada GD 630 BO	56
Tabel 4. 7 Tabel Data Kapasitas Daya Terpasang Pelanggan PLN Pada GD 630 FD	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Proses Sistem Tenaga Listrik.....	9
Gambar 2.2 Bagian Distribusi Primer.....	10
Gambar 2.3 Hubungan Tegangan Menengah ke Tegangan Rendah dan Konsumen	11
Gambar 2.4 Gardu Tiang dan Bagan Satu Garis Sumber: A. Rizal Oky Bachtiar (2010:2)	14
Gambar 2.5 Gardu Cantol 3 Fasa 1 Tiang.....	16
Gambar 2.6 Lilitan Primer dan Sekunder Transformator.....	17
Gambar 2.7 Transformator 3 Fasa.....	20
Gambar 2.8 Notasi Terminasi pada Transformator	21
Gambar 2.9 Hubungan (Y - Y).....	22
Gambar 2.10 Hubungan (Δ - Δ)	22
Gambar 2.11 Hubungan (Y - Δ).....	23
Gambar 2.12 Hubungan (Δ - Y).....	23
Gambar 2.13 ETAP	30
 Gambar 3. 1 Kantor PLN ULP Malili	 31
Gambar 3. 2 Kerangka Penelitian	32
Gambar 3. 3 Flowcart Penelitian.....	33
 Gambar 4. 1 Gardu GD 630 BO.....	 38
Gambar 4. 2 Single Line Gardu Penyulang Trans ULP Malili	39
Gambar 4. 3 Laporan Inspeksi Gardu GD 630 BO Via Appsheet	40
Gambar 4. 4 Jalur JTR Trans formator GD 630 BO	42
Gambar 4. 5 Nameplate Transformator Sisipan GD 630 FD	42
Gambar 4. 6 Transformator Sisipan GD 630 FD	43
Gambar 4. 7 Singleline Gardu setelah penambahan transformator sisipan GD 630 FD.....	43

Gambar 4. 8 Jalur JTR Setelah Penambahan Transformator Sisipan.....	45
Gambar 4. 9 Simulasi ETAP Transformator GD 630 BO	48
Gambar 4. 10 Hasil Simulasi Aplikasi ETAP pada Transformator GD 630 BO Sebelum Penambahan Transformator Sisipan.....	48
Gambar 4. 11 Simulasi Transformator GD 630 BO setelah pemasangan transformator sisipan tetapi belum dialihkan beban	49
Gambar 4. 12 Simulasi Transformator GD 630 BO setelah pemasangan transformator sisipan GD 630 FD dan dialihkan beban Sebagian pada line B.....	50
Gambar 4. 13 Hasil pengukuran transformator GD 630 BO dan GD 630 FD menggunakan aplikasi ETAP.....	50
Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Pengukuran Transformator GD 630 BO Perhitungan Manual.....	52
Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan Pengukuran Transformator GD 630 BO Perhitungan Simulasi Aplikasi ETAP 19.0.1	53
Gambar 4. 16 Jarak JTR dari GD 630 BO ke Transformator Sisipan GD 630 FD.....	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Single Line Transformator ULP Malili.....	67
Lampiran 2 Report Transformator Overload ULP Malili	69
Lampiran 3 Detail Transformator Overload ULP Malili	69
Lampiran 4 Aplikasi Pendukung Via Appsheets	70
Lampiran 5 Transformator Sisipan GD 630 FD.....	70
Lampiran 6 Lokasi Penelitian PT PLN (Persero) ULP Malili	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. PLN (Persero) ULP Malili merupakan salah satu unit layanan yang berada dibawah Unit Pelaksanan Pelayanan Pelanggan Palopo yang terletak pada kabupaten Luwu Timur yang terbagi menjadi dua yaitu Unit Layanan Pelanggan Malili dan Unit Layanan Pelayanan Tomoni. Di kabupaten Luwu Timur disuplai dua GI (Gardu Induk) Wotu dan Malili serta *captive power* dari PT Vale Indonesia, Tbk melalui PLTA Balambano. Dengan sumber daya Listrik yang ada di PLN ULP Malili tetap berkomitmen memberikan pelayanan yang terbaik bagi pelanggan sejalan dengan Visi PT. PLN (Persero) yaitu “Menjadi Perusahaan Listrik Terkemuka di Asia Tenggara dan #1 Pilihan Pelanggan untuk Solusi Energi. Visi ini merupakan bagian dari upaya PLN untuk melistriki seluruh nusantara dan melayani pelanggan dengan kepuasan, serta mendorong kegiatan ekonomi dan menjaga lingkungan.[5]

Transformator distribusi merupakan salah satu komponen utama dalam sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi dari jaringan tegangan menengah ke tegangan rendah agar dapat digunakan konsumen. Perannya yang vital menjadikan transformator distribusi harus beroperasi secara optimal dan andal. Namun, seiring meningkatnya kebutuhan listrik masyarakat, industri, dan fasilitas umum, beban yang diterima transformator sering kali melebihi kapasitas nominalnya. Kondisi ini menyebabkan terjadinya *overload*, yang dapat mengakibatkan penurunan kinerja, kerusakan peralatan, hingga terganggunya kontinuitas pasokan listrik.[1]

Jika kapasitas beban suatu transformator melebihi 80%, maka transformator tersebut dianggap kelebihan beban. [2] Jika hal ini terus terjadi dalam jangka waktu yang lama, panas yang ekstrem akan merusak isolasi transformator, yang kemudian akan merusak transformator itu sendiri. Selain itu, penurunan tegangan juga dapat terjadi akibat transformator distribusi yang kelebihan beban. Memasang transformator sisipan atau meningkatkan kapasitas transformator adalah dua cara lain untuk mengatasi masalah kelebihan beban transformator.

Masalah *overload* pada transformator distribusi banyak terjadi di berbagai unit layanan PLN, termasuk di PT PLN (Persero) ULP Malili. Salah satunya terjadi pada Transformator Distribusi GD 630 BO dengan kapasitas sebesar 160 kVA. Persentase pembebanannya mencapai 96,99 % melewati standar yang telah ditetapkan oleh pihak PLN yaitu 80%. Salah satu solusi teknis yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut adalah pemasangan trafo sisipan pada penyulang distribusi.[3] Dengan adanya trafo sisipan, beban listrik yang sebelumnya hanya ditanggung trafo utama dapat terbagi lebih merata, sehingga mengurangi tingkat *overload* dan menjaga kestabilan jaringan. Dalam penelitian ini, Penulis akan melakukan studi terhadap rencana pemasangan transformator sisipan pada Transformator Distribusi GD 630 BO. Diharapkan dalam penelitian ini mampu meningkatkan keandalan jaringan distribusi di wilayah kerja PLN ULP Malili, sekaligus menjamin kualitas dan kontinuitas pasokan listrik kepada masyarakat.[4]

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, didapatkan rumusan masalah untuk pembahasan pada penelitian ini yaitu:

1. Berapa besar pembebanan Transformator Distribusi GD 630 BO sebelum dan sesudah pemasangan trafo sisipan?
2. Bagaimana cara menentukan letak dan jarak pemasangan trafo sisipan yang efektif?
3. Apa saja kendala teknis maupun non teknis yang dihadapi dalam proses pemasangan trafo sisipan?

1.3 Tujuan

Melihat rumusan masalah di atas, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menghitung hasil pengukuran pembebanan trafo sebelum dan sesudah pemasangan trafo sisipan.
2. Menentukan letak dan jarak pemasangan trafo sisipan yang efektif.
3. Mengetahui kendala teknik dan non teknis dalam proses pemasangan agar dapat di mitigasi.

1.4 Manfaat

Dengan dilakukannya penelitian ini, manfaat yang di dapatkan sebagai berikut:

1. Dapat meningkatkan kehandalan jaringan listrik. Pemasangan trafo sisipan akan mengurangi pembebanan trafo utama, sehingga mengurangi risiko pemadaman listrik. Hal ini akan menambah kepuasan pelanggan.
2. Optimalisasi Distribusi Daya Listrik. Dengan penentuan letak dan jarak yang tepat akan meningkatkan efisiensi dan mengurangi rugi – rugi daya pada jaringan listrik.
3. Dapat mengurangi potensi *overload* dan kerusakan peralatan. Hal ini dapat memperpanjang umur pakai peralatan dan mengurangi biaya operasional akibat kerusakan.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, untuk mendapat hasil yang diharapkan maka penulis membatasi pembahasan dengan membuat ruang lingkup masalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini membahas tentang upaya penanggulangan *overload* pada Transformator Distribusi GD 630 BO pada penyulang Trans.
2. Membahas perhitungan persentase nilai pembebanan transformator dan disimulasikan menggunakan program ETAP 19.0.1.0 dan juga penentuan letak dan jarak yang efektif.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Yang Relevan

Pada penelitian ini penulis melakukan tinjauan literatur pada beberapa penelitian yang relevan untuk dijadikan referensi. Referensi dapat berasal dari jurna, artikel, skripsi, atau buku yang relevan. Beberapa referensi yang penulis dapatkan sebagai berikut:

1. **Menurut Harahap et al. (2019)**, dalam penelitian berjudul "Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban *Overload* Dan Jatuh Tegangan Pada Trafo BL 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etab 12.6.0" menyatakan bahwa pemasangan trafo sisip dapat berfungsi secara efektif dalam mengurangi beban *overload* dan menurunkan jatuh tegangan pada jaringan distribusi. Hasil studi menunjukkan bahwa dengan penambahan trafo sisip, daya beban utama berkurang dari 95,99% menjadi 64,54%, sehingga beban pada trafo utama dapat terkendali dan sistem menjadi lebih stabil. Selain itu, penurunan jumlah beban tersebut juga meningkatkan kualitas tegangan di ujung jaringan dari 190,5 Volt menjadi 206,8 Volt, yang menunjukkan bahwa penggunaan trafo sisipan mampu meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik secara signifikan.
2. **Menurut Al-Farouq (2021)**, dalam jurnal berjudul "Analisis Rencana Pemasangan Transformator Distribusi Sisipan pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV di Penyulang Kijing" dijelaskan bahwa pemasangan transformator sisipan dilakukan sebagai solusi untuk mengatasi pembebanan berlebih yang melebihi kapasitas trafo utama. Melalui simulasi metode Newton-Raphson, ditemukan bahwa penambahan transformator sisipan meningkatkan kualitas tegangan dan menurunkan beban berlebih pada titik-titik kritis dalam jaringan distribusi. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi trafo sisipan dapat meningkatkan efisiensi operasional dan keandalan sistem tenaga listrik secara signifikan.

3. **Menurut Zefanya Cergio Halitopo et al. (2023)**, dalam artikel "Analisis Penambahan Transformator Sisipan Guna Mengatasi Beban Lebih (*Overload*) Pada Gardu Distribusi di PT. PLN (Persero) ULP Abepura" menyatakan bahwa transformator yang bekerja dalam kondisi *overload* lebih dari 80% kapasitasnya akan mengalami penurunan umur pakai dan potensi kerusakan. Penambahan trafo sisipan dilakukan dengan memecah beban menggunakan manuver jaringan trafo lama ke trafo sisipan sehingga beban menjadi terdistribusi lebih merata. Hasilnya, beban berlebih berhasil dikurangi dan efisiensi kerja transformator utama meningkat, memberikan manfaat bagi keandalan distribusi listrik.
4. **Menurut Yasa (2023)**, dalam penelitian "Mengatasi *Overload* Pada Transformator dengan Metode *Uprating*" menyatakan bahwa metode *uprating* dan pemasangan gardu sisip efektif untuk mengatasi permasalahan beban lebih pada transformator distribusi. Studi kasus pada gardu KRGK 0136 memperlihatkan bahwa setelah dilakukan intervensi tersebut, kenaikan beban berlebih berhasil ditekan di bawah batas 80% kapasitas trafo, sehingga meningkatkan efisiensi dan masa pakai trafo. Pendekatan ini menjadi solusi praktis mengatasi risiko kerusakan akibat *overload* pada jaringan distribusi 20 kV.
5. **Menurut penelitian dari IPM2KPE (2024)**, dengan judul "Analisis Penambahan Trafo Sisip Pada Jaringan 20 kV Dalam Meningkatkan Mutu Tegangan" menyatakan bahwa penambahan trafo sisipan pada jaringan distribusi dapat menurunkan jatuh tegangan secara signifikan, dari 32,8% menjadi sekitar 3,3%. Penurunan jatuh tegangan ini meningkatkan mutu tegangan listrik dan mengurangi potensi *overload* pada trafo utama. Dengan demikian, pemasangan trafo sisipan terbukti dapat meningkatkan keandalan dan stabilitas pasokan listrik pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV.
6. **R. Prihanto (2017)**: "Analisis Dampak *Overload* pada Penyulang Distribusi Listrik dan Solusinya". Penelitian ini mengevaluasi penyebab utama *overload* pada penyulang di daerah perkotaan dan pedesaan serta mengidentifikasi solusi optimal, termasuk pemasangan trafo sisipan, untuk mengurangi risiko kelebihan beban.

Hasil Penelitian : Pemasangan trafo sisipan dapat mengurangi beban pada gardu utama dan menurunkan frekuensi pemadaman akibat *overload*.

Tabel 2. 1 Penelitian Yang Relevan

No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
1.	"Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban <i>Overload</i> Dan Jatuh Tegangan Pada Trafo BL 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etab 12.6.0" (Harahap et al., 2019)	Beban <i>overload</i> dan jatuh tegangan pada trafo distribusi yang mengganggu stabilitas sistem.	Simulasi menggunakan perangkat lunak Etab 12.6.0 untuk analisa beban dan jatuh tegangan dengan dan tanpa trafo sisipan.	Penambahan trafo sisip mengurangi beban dari 95,99% ke 64,54% dan menaikkan tegangan di ujung jaringan dari 190,5 V jadi 206,8 V, meningkatkan keandalan jaringan.	Studi menggunakan simulasi tanpa membahas evaluasi real-time atau pengaruh jangka panjang pada keandalan sistem.
2.	"Analisis Rencana Pemasangan Transformator Distribusi Sisipan pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV di Penyulang Kijing" (Al-Farouq, 2021)	Beban berlebih pada trafo utama yang menurunkan kualitas tegangan dan keandalan.	Simulasi metode Newton-Raphson untuk menilai dampak trafo sisipan pada pembebanan dan tegangan.	Trafo sisipan meningkatkan kualitas tegangan dan mengurangi beban berlebih di titik kritis distribusi.	Fokus penelitian terbatas pada simulasi, belum ada implementasi lapangan dan analisa biaya.

3.	"Analisis Penambahan Transformator Sisipan Guna Mengatasi Beban Lebih (<i>Overload</i>) Pada Gardu Distribusi di PT. PLN (Persero) ULP Abepura" (Zefanya Cergio Halitopo et al., 2023)	<i>Overload</i> >80% kapasitas menyebabkan penurunan umur pakai trafo utama.	Manuver dan redistribusi beban dengan penambahan trafo sisipan pada jaringan distribusi.	Beban berlebih berhasil dikurangi sehingga umur pakai trafo dan efisiensi kerja meningkat.	Penelitian belum memasukkan aspek ekonomis dan analisa dampak terhadap keselamatan sistem.
4.	"Mengatasi <i>Overload</i> Pada Transformator dengan Metode <i>Uprating</i> " (Yasa, 2023)	Beban lebih pada trafo distribusi yang menyebabkan risiko kerusakan.	Studi kasus <i>uprating</i> dan pemasangan gardu sisip pada gardu distribusi tertentu.	Beban <i>overload</i> ditekan di bawah 80% kapasitas dan efisiensi serta masa pakai trafo meningkat.	Studi terbatas pada satu gardu, belum mengkaji skalabilitas dan reliabilitas jangka panjang.
5.	"Analisis Penambahan Trafo Sisip Pada Jaringan 20 kV Dalam Meningkatkan Mutu Tegangan" (IPM2KPE, 2024)	Jatuh tegangan tinggi di ujung jaringan menyebabkan menurunnya	Analisa teknis pengaruh trafo sisip terhadap jatuh tegangan	Jatuh tegangan menurun drastis dari 32,8% menjadi 3,3%, mutu tegangan dan keandalan	Belum mengkaji dampak pemasangan trafo sisip pada operasional

mutu tegangan dan risiko <i>overload</i> .	jaringan distribusi 20 kV.	pasokan meningkat.	dan biaya pemeliharaan
---	----------------------------------	-----------------------	---------------------------

Sesuai dengan kerangka pemikiran penulis, sebelum dimulainya analisis pemasangan transformator distribusi 20 kV sisipan pada penyulang Trans, diperlukan pengumpulan data awal kondisi transformator GD 630 BO termasuk pengukuran beban dan kondisi operasional transformator utama. Selanjutnya, data ini akan dianalisis secara kuantitatif dengan menggunakan simulasi perangkat lunak ETAP 19.0.1.0 untuk melihat kondisi pembebanan dan jatuh tegangan sebelum dan sesudah pemasangan trafo sisipan.

Setelah tahap simulasi, penulis akan menentukan letak dan jarak pemasangan trafo sisipan yang efektif berdasarkan hasil perhitungan dan studi literatur agar distribusi beban lebih merata dan risiko *overload* dapat ditekan. Selanjutnya dilakukan pemasangan trafo sisipan sesuai rencana tersebut serta dilakukan monitoring pasca-pemasangan untuk mengukur perubahan beban dan performa jaringan distribusi.

Dalam proses pemasangan dan monitoring, penulis juga mengidentifikasi kendala teknis maupun non-teknis yang muncul guna mendapatkan pemahaman penyebab hambatan dan solusi mitigasi agar pemasangan trafo sisipan dapat berjalan lancar dan efektif.

Terakhir, data hasil monitoring dan analisis digunakan untuk mengevaluasi dampak pemasangan trafo sisipan terhadap penurunan *overload*, peningkatan mutu tegangan, dan keandalan jaringan distribusi listrik di wilayah kerja PLN ULP Malili. Dengan demikian, penulis dapat memberikan rekomendasi yang komprehensif untuk pengelolaan beban trafo distribusi 20 kV pada penyulang Trans.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

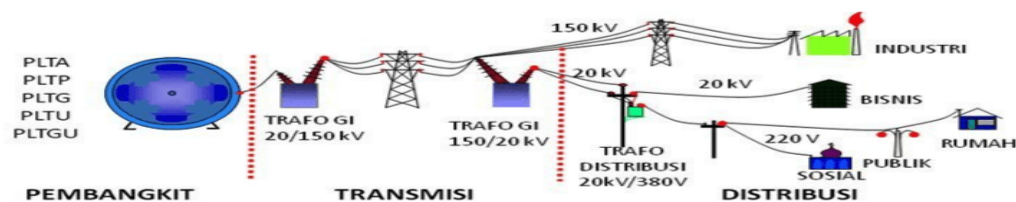
Sebagai tahap akhir dalam infrastruktur kelistrikan, sistem distribusi bertugas menyalurkan energi dari sumber daya besar (*Bulk Power Source*) hingga sampai ke tangan

konsumen. Adapun fungsi utamanya meliputi pendistribusian tenaga listrik ke berbagai lokasi pelanggan PLN dan merupakan *sub system* tenaga listrik yang langsung berhubungan secara langsung dengan pelanggan.

Gardu induk menggunakan transformator penaik tegangan untuk menaikkan tegangan listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik, seperti pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga angin (PLTB), pembangkit listrik tenaga gas (PLTGU), dan lainnya, dari 11 kV menjadi 24 kV, 70 kV, 154 kV, 220 kV, atau 500 kV. Listrik kemudian didistribusikan melalui saluran transmisi. Karena rugi daya berbanding lurus dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2 R$), tujuan menaikkan tegangan adalah untuk mengurangi rugi daya pada saluran transmisi. Peningkatan tegangan menghasilkan arus yang lebih sedikit untuk jumlah daya yang sama, yang mengurangi rugi daya.

Di gardu distribusi, transformator penurun tegangan lebih lanjut menurunkan tegangan dari saluran transmisi menjadi 20 kV. Saluran distribusi utama kemudian digunakan untuk mendistribusikan sistem tegangan ini. Gardu distribusi menurunkan tegangan dari saluran distribusi utama ke sistem tegangan rendah, khususnya 220/380 volt, menggunakan transformator distribusi. Setelah itu, konsumen (Pelanggan PLN) menerimanya melalui saluran distribusi sekunder.

Hal ini menunjukkan dengan jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian penting dari keseluruhan sistem tenaga listrik. Gambar 2.1 menunjukkan bagaimana jaringan distribusi tenaga listrik dikelompokkan, dibagi, dan dibatasi.

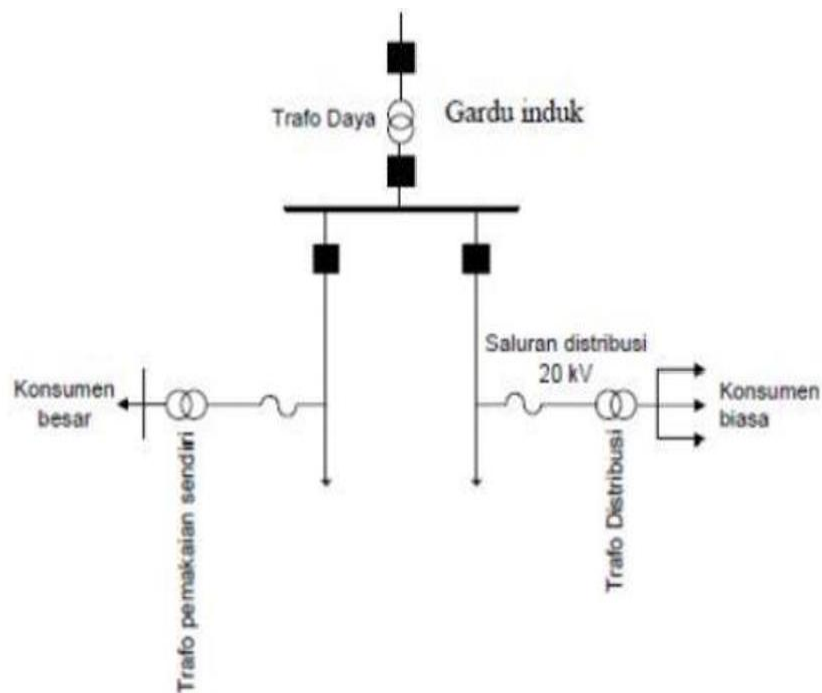


Gambar 2.1 Skema Proses Sistem Tenaga Listrik

(Sumber: <https://artema.co.id/saluran-distribusi-listrik/>)

2.2.2 Sistem Distribusi Primer

Sistem distribusi utama, yang sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Menengah (MVSN), memiliki tegangan operasi nominal 20 kV atau 11,6 kV. Jaringan ini mendistribusikan energi listrik dari gardu induk utama ke gardu distribusi. Klasifikasi umum komponen distribusi dapat dilihat pada Gambar 2.2 yang mewakili komponen umum sistem distribusi utama.



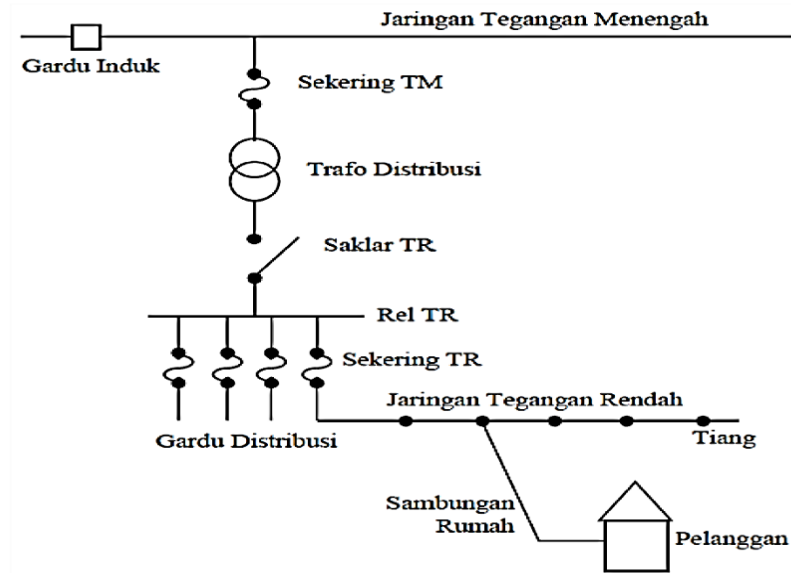
Gambar 2.2 Bagian Distribusi Primer

(Sumber: Suhadi, 2008)

2.2.3 Sistem Distribusi Sekunder

Tegangan operasi nominal sistem distribusi sekunder, yang juga dikenal sebagai Sistem Jaringan Tegangan Rendah (LVNS) adalah 220/380 volt. Pelanggan menerima energi

listrik mereka dari gardu distribusi melalui jaringan ini. Salah satu bagian dari sistem distribusi adalah sistem distribusi sekunder, seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Hubungan Tegangan Menengah ke Tegangan Rendah dan Konsumen (Sumber: Suhadi, 2008)

Sistem distribusi ini merupakan komponen yang terhubung langsung dengan pelanggan karena lokasinya. Akibatnya, sistem ini berfungsi untuk mengirimkan dan mendistribusikan daya listrik kepada pelanggan setelah menerimanya dari sumber daya (transformator distribusi). Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) adalah salah satu dari dua jenis sistem distribusi daya yang ditemukan dalam jaringan tegangan rendah. Kabel AAAC dan ACSR adalah contoh konduktor kawat telanjang (tanpa isolasi).

SKUTR adalah singkatan dari saluran udara tegangan rendah. Kabel berisolasi, seperti LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*), adalah jenis konduktor yang digunakan. "Sambungan rumah (SR) dari kabel bawah tanah atau di atas tanah, termasuk peralatan, dari titik sambungan tiang JTR ke perangkat pembatas dan pengukur (APP)" adalah definisi sambungan JTR menurut SPLN No. 74 tahun 1987. Tegangan rendah digunakan dalam jaringan ini. Mirip dengan distribusi primer, pengaturan tegangan dan kondisi layanan harus

diperhatikan (Abdul Kadir, 2006). Sistem radial adalah bentuk saluran yang paling banyak digunakan dalam sistem distribusi sekunder.

Baik konduktor berisolasi maupun tidak berisolasi dapat digunakan dengan pengaturan ini. Sistem ini, yang terhubung langsung ke pelanggan, biasanya disebut sebagai sistem tegangan rendah.

2.2.4 Gardu Distribusi

Salah satu bagian dari sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau berbagi/mendistribusikan listrik ke beban/konsumen, termasuk konsumen tegangan menengah dan rendah, adalah gardu distribusi. Dalam pembangunan gardu distribusi, transformator distribusi digunakan untuk menaikkan tegangan listrik (*Transformer Step Up*) dan menurunkan tegangan listrik dari jaringan distribusi tegangan tinggi ke tegangan yang digunakan dalam jaringan distribusi tegangan rendah (*Transformer Step Down*). Misalnya, transformator 20 kV dapat menurunkan tegangan listrik menjadi 380 atau 220 volt. Hanya digunakan di pusat pembangkit listrik untuk mencegah penurunan tegangan pada daya yang disalurkan melalui jaringan panjang (*Long Line*), yang berarti tetap berada dalam ketentuan penurunan tegangan yang diizinkan sebesar 5% dari tegangan awal.

Fungsi gardu distribusi adalah sebagai berikut:

1. Distribusikan energi listrik dari tegangan menengah kepada konsumen tegangan rendah;
2. Menurunkan dan distribusikan energi listrik dari tegangan menengah menjadi tegangan rendah;
3. Menyalurkan dan distribusikan energi listrik tegangan menengah ke gardu distribusi lainnya atau gardu hubung.

Desain gardu distribusi didasarkan pada optimasi biaya untuk penggunaan yang dimaksudkan, yang terkadang perlu dimodifikasi untuk mematuhi pembatasan pemerintah setempat. Komponen gardu distribusi meliputi:

1. PHB (Panel Hubung Bagi) sisi tegangan rendah;
2. PHB (Panel Hubung Bagi) pemisah saklar daya;
3. PHB (Panel Hubung Bagi) pengaman transformator;
4. PHB (Panel Hubung Bagi) sisi tegangan rendah;
5. Sistem pengaman tegangan rendah;
6. Sistem pembumian / pentanahan;
7. Alat-alat indikator.

Instalasi peralatan panel hubung bagitegangan rendah berupa PHB TR atau rak TR terdiri atas 3 bagian, yaitu:

1. Sirkit Masuk dan Saklar;
2. Rel Pembagi;
3. Sirkit Keluar dan Sistem Pengaman Lebur Maksimal 8 Sirkit.

Kapasitas transformator distribusi yang digunakan menentukan spesifikasi. Pemasangan kabel daya dan kontrol mensyaratkan bahwa KHA (*Karakteristic Happensity*) kabel daya antara transformator dan kubikel minimal 125% dari arus beban nominal transformator.

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan menjadi:

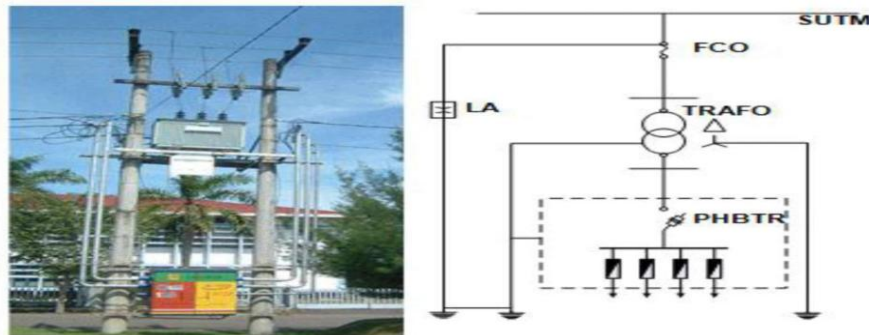
- a) Jenis Pemasangannya:
 - i. Gardu pasangan luar: (Gardu Portal, Gardu Cantol)
 - ii. Gardu pasangan dalam: (Gardu Beton, Gardu Kios)
- b) Jenis Konstruksinya:
 - i. Gardu Beton (bangunan sipil: batu, beton)
 - ii. Gardu Tiang: (Gardu Portal dan Gardu Cantol)
 - iii. Gardu kios.
- c) Jenis Penggunaanya:

- i. Gardu Pelanggan Umum
- ii. Gardu Pelanggan Khusus.

Gardu distribusi yang mungkin memiliki atau tidak memiliki RTU (*Remote Terminal Unit*), secara khusus didefinisikan sebagai gardu yang dirancang untuk memudahkan perpindahan beban dari satu saluran ke saluran lainnya. Pasokan DC dari transformator distribusi untuk penggunaan pribadi atau transformator distribusi untuk penggunaan umum yang ditempatkan dalam satu unit biasanya dipasang di fasilitas ini. Terdapat dua kategori jenis konstruksi gardu tiang, yaitu:

2.2.4.1 Gardu Portal

Gardu dsitribusi portal adalah gardu distribusi tipe terbuka yang menggunakan struktur dua kutub atau lebih. Transformator ditempatkan setidaknya tiga meter di atas tanah. Panel distribusi tegangan rendah yang juga dikenal sebagai PHB (Panel Hubung Bagi) -TR terletak di bawah transformator distribusi yang dipasang di atasnya.



Gambar 2.4 Gardu Tiang dan Bagan Satu Garis
Sumber: A. Rizal Oky Bachtiar (2010:2)

Ilustrasi gardu induk portal dua kutub ditunjukkan pada Gambar 2.4 di atas. Konfigurasi pensaklaran atau proteksi yang sudah terintegrasi secara kompak sebagai RMU (*Ring Main Unit*) digunakan untuk mengatasi faktor ukuran pembatas Gardu Distribusi Portal. Peralatan pensaklaran masuk dan keluar adalah sakelar pemutus beban juga dikenal sebagai pemutus beban otomatis (PBO), sakelar pemutus beban (LBS) atau pemutus sirkuit

(CB) yang dioperasikan secara manual atau dengan bantuan kendali jarak jauh. Untuk mempercepat pensinyalan jaringan yang tidak mengalami interferensi indikator Gangguan dalam contoh ini yaitu detektor gangguan yang dipasang di tiang, atau PMFD harus dipasang pada jaringan dan bagian cabang.

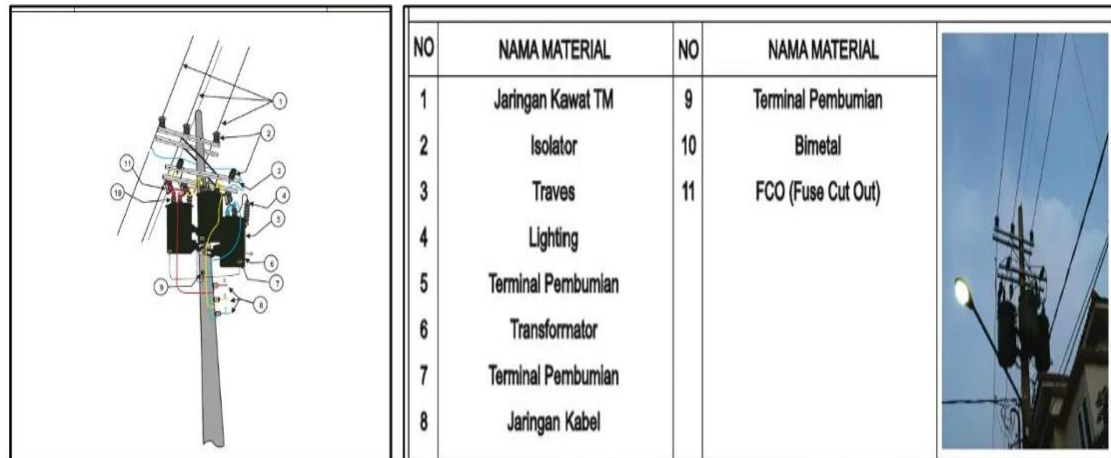
Berikut merupakan bagian dari gardu portal yaitu:

1. Peralatan hubung:
 - *Fuse Cut Out* 20 kV
 - Saklar pada rak TR
2. Peralatan proteksi:
 - *Fuse Cut Out* 20 kV
 - *Lightning Arrester* - NH Fuse
3. Kabel / penghantar:
 - Kawat penghubung dari jaring ke *Fuse Cut Out*
 - Kawat penghubung dari *Fuse Cut Out* ke transformator
 - Kabel penghubung dari transformator ke rak TR
 - Kabel keluar
4. Pentanahan:
 - Pentanahan Kerangka / Body Peralatan
 - Pentanahan netral sisi tegangan rendah transformator
 - Pentanahan *arrester*

2.2.4.2 Gardu Cantol

Transformator yang terpasang di gardu distribusi tipe cantol adalah transformator Fase 3 atau Fase 1 dengan daya kurang dari atau sama dengan 100 kVA. Transformator yang terpasang adalah tipe CSP (*Completely Self Protected Transformer*), artinya tangki transformator menampung semua komponen proteksi dan sakelar. Badan transformator langsung terhubung ke konduktor pentanahan peralatan tambahan apa pun, seperti penangkal petir (LA) yang ditempatkan secara terpisah. Dengan sakelar pemutus di sisi masuk dan

sekring (NH, NT Fuse) sebagai jalur pengaman peralatan koneksi tegangan rendah hanya dapat masuk melalui dua jalur.



Gambar 2.5 Gardu Cantol 3 Fasa 1 Tiang

Sumber: <https://www.scribd.com/document/395591510/Kelompok-2-Gardu-Cantol-3-Phasa-1-Tiang>

Ilustrasi konstruksi gardu distribusi tiga fasa satu kutub dapat dilihat pada Gambar 2.5 di atas. Setiap panel distribusi (PHB-TR) dan transformator distribusi dipasang pada tiang yang sama. Kabinet panel/PHB-TR ditempatkan di bagian bawah sedangkan transformator distribusi ditempatkan di bagian atas.

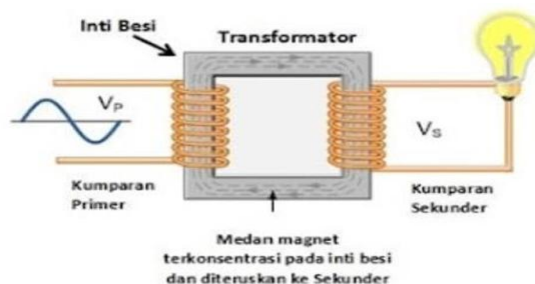
2.1.5 Transformator

Dalam sistem kelistrikan, transformer atau yang lazim dikenal dengan sebutan trafo merupakan komponen vital yang beroperasi mengandalkan prinsip induksi elektromagnetik. Fungsi pokok dari peralatan ini adalah untuk mentransformasikan nilai tegangan arus bolak-balik (AC) dari satu level ke level lainnya, baik untuk menaikkan (*step-up*) maupun menurunkan (*step-down*) tegangan, dengan tetap mempertahankan nilai frekuensi awalnya. Selain fungsi utama tersebut, trafo juga dimanfaatkan untuk keperluan sampling tegangan maupun arus, serta transformasi impedansi.

Secara fisik, trafo tersusun atas dua kumparan atau lebih yang meliliti inti berbahan besi feromagnetik. Secara elektris, kumparan-kumparan ini terisolasi satu sama lain dan tidak memiliki hubungan kontak langsung. Kumparan yang terhubung langsung ke sumber tegangan AC dinamakan lilitan primer, sedangkan kumparan yang menyuplai daya ke beban disebut lilitan sekunder. Apabila terdapat kumparan tambahan di luar kedua lilitan tersebut, maka disebut sebagai lilitan tersier atau kuarter.

Mekanisme kerja trafo dimulai ketika lilitan primer dialiri arus AC, yang kemudian menghasilkan perubahan medan magnet di sekitarnya. Perubahan ini diperkuat oleh inti besi yang berfungsi sebagai jalur fluks magnetik menuju lilitan sekunder, sehingga membangkitkan Gaya Gerak Listrik (GGL) induksi pada ujung-ujung kumparan sekunder. Fenomena keterkaitan medan magnet antar kumparan ini dikenal sebagai induktansi timbal-balik (*mutual inductance*). Jika rangkaian sekunder ditutup (menghubungkan beban), maka arus akan mengalir pada kumparan sekunder. Pada kondisi efisiensi ideal (100%), seluruh daya yang masuk ke lilitan primer akan diteruskan sepenuhnya ke lilitan sekunder.

Jika ditinjau dari struktur utamanya, trafo memiliki tiga elemen penyusun dasar, yakni lilitan primer, lilitan sekunder, dan inti besi. Lilitan primer berperan sebagai sisi masuk yang terhubung dengan sumber daya (catu daya), sementara lilitan sekunder berfungsi sebagai sisi keluar yang terhubung ke rangkaian beban. Adapun inti besi bertugas memandu fluks magnet yang dihasilkan primer agar dapat menginduksi lilitan sekunder secara efektif, sebagaimana ilustrasi pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Lilitan Primer dan Sekunder Transformator

Sumber: <https://www.elektronikahendry.com/2021/06/transformator.html>

Merujuk pada Gambar 2.6, konstruksi dasar transformator dibangun dari dua gulungan kawat terisolasi yang disebut sebagai lilitan primer dan sekunder. Umumnya, kedua lilitan tersebut ditempatkan mengelilingi bahan feromagnetik yang dikenal sebagai Inti Besi atau *Core*. Prinsip kerjanya dimulai saat lilitan primer dialiri arus bolak-balik (AC), yang kemudian membangkitkan medan magnet atau fluks magnetik di sekelilingnya. Besarnya densitas fluks magnet ini berbanding lurus dengan nilai arus yang mengalir; artinya, arus yang lebih tinggi akan menghasilkan medan magnet yang lebih kuat. Perubahan fluks magnet yang terjadi pada lilitan primer tersebut akan menginduksi Gaya Gerak Listrik (GGL) pada lilitan sekunder, sehingga memungkinkan terjadinya transfer daya dari sisi primer ke sisi sekunder. Akibat proses induksi ini, transformator mampu mengubah level tegangan listrik, baik untuk menaikkan tegangan (*step-up*) maupun menurunkannya (*step-down*)

Berikut ini bagian utama transformator:

1. **Inti Besi (Core)**

Inti besi berfungsi sebagai sirkuit elektromagnetik yang menjadi jalur utama bagi fluks magnetik. Fluks ini timbul akibat induksi dari arus bolak-balik yang mengalir pada belitan yang melingkupi inti tersebut, yang kemudian menginduksi tegangan pada belitan lainnya. Secara konstruksi, inti ini dibuat dari susunan laminasi baja silikon tipis yang saling terisolasi satu sama lain untuk meminimalkan arus.

2. **Belitan Transformator (Windings)**

Belitan transformator merupakan kumpulan gulungan kawat berisolasi yang membentuk sirkuit listrik. Sistem ini terbagi menjadi belitan primer dan sekunder, dimana keduanya memiliki isolasi yang kuat baik terhadap inti besi maupun antar belitan itu sendiri menggunakan bahan isolasi padat seperti kertas karton atau pertinax. Komponen ini berperan utama dalam proses transformasi nilai tegangan dan arus listrik.

3. **Minyak Transformator (Transformer Oil)**

Pada operasional transformator, energi panas dihasilkan secara aktif oleh dua komponen utama, yakni rugi-rugi pada inti besi dan rugi-rugi tembaga pada kumparan. Apabila panas ini tidak didispersikan melalui sistem pendingin yang memadai, suhu komponen akan meningkat drastis dan berpotensi merusak material isolasi. Oleh karena itu, inti dan kumparan direndam dalam minyak khusus yang disebut minyak transformator. Fluida ini memiliki fungsi ganda sebagai media isolasi elektrik dan pendingin. Sifat isolasinya memungkinkan desain transformator menjadi lebih kompak. Kualitas minyak harus senantiasa terjaga kebersihannya. Kenaikan suhu operasi akibat panas dari inti dan kumparan akan menyebabkan perubahan karakteristik pada minyak isolasi tersebut.

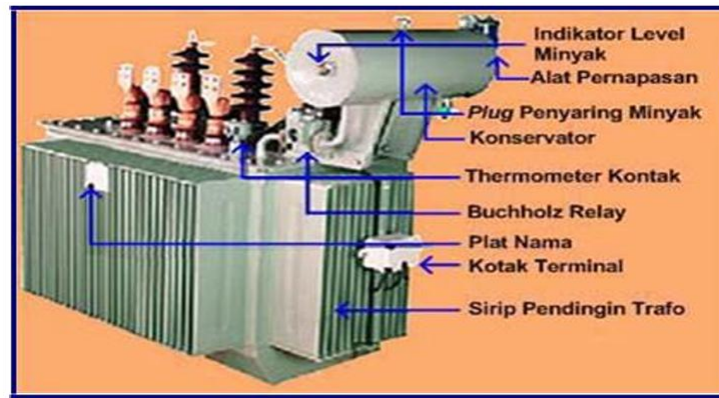
4. **Bushing**

Bushing adalah komponen terminal yang terletak pada bagian eksternal tangki transformator. Fungsi utamanya adalah sebagai titik hubung antara belitan di dalam tangki dengan jaringan listrik di luar. Secara fisik, bushing tersusun atas konduktor yang terhubung ke belitan internal, yang kemudian dibalut oleh material isolator. Material isolator ini bertugas mencegah kontak listrik antara konduktor bushing dengan dinding tangki utama. Secara umum, konstruksi bushing mencakup empat elemen pokok, yaitu konduktor, bahan isolator, klem penghubung, serta aksesoris pendukung.

5. **Tangki Konservator (Conservator Tank)**

Komponen ini berfungsi sebagai ruang cadangan untuk mengakomodasi perubahan volume minyak isolasi akibat siklus suhu operasi. Ketika suhu transformator naik, minyak akan memuai dan volumenya bertambah, sebaliknya saat suhu turun, minyak akan menyusut. Konservator menampung kelebihan volume minyak saat pemuai terjadi. Perubahan volume minyak ini juga mempengaruhi volume udara di dalam tangki konservator. Agar udara yang masuk dan keluar tidak membawa kelembaban atau oksigen yang dapat mendegradasi kualitas minyak, udara tersebut disaring menggunakan *silica gel*. Pada desain modern, digunakan membran karet (*breather*

bag) di dalam konservator untuk mencegah kontak langsung antara minyak isolasi dengan udara atmosfer luar.



Gambar 2.7 Transformator 3 Fasa

Sumber: <https://www.bloganton.web.id/2013/10/transformator-tiga-fasa-dan-bagian.html>

Gambar 2.7 diatas merupakan contoh transformator 3 fasa dan bagian-bagian nya. Transformator 3 fasa merupakan perangkat kelistrikan yang beroperasi untuk mengubah nilai tegangan pada sistem arus tiga fasa. Peralatan ini umumnya diaplikasikan dalam proses pembangkitan hingga distribusi tenaga listrik agar sesuai dengan kebutuhan beban daya. Ditinjau dari konstruksinya, transformator ini memiliki tiga set belitan yang menyatukan kumparan sisi primer dan sekunder menjadi satu kesatuan unit, yang dapat dirangkai menggunakan konfigurasi hubungan bintang (*star*) maupun *delta*.

Hubungan langsung antara jumlah belitan dan tegangan antara sisi primer terhadap sekunder dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \alpha \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

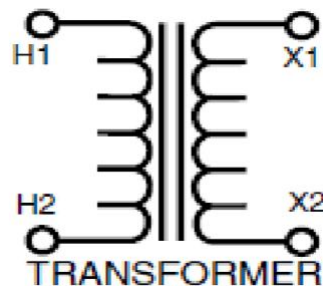
V_p = Tegangan Primer

V_s = Tegangan Sekunder

N_p = Jumlah Lilitan Primer

N_s = Jumlah Lilitan Sekunder

Pada step-up transformer nilai perbandingan $a < 1$, sebaliknya *step-down transformer* nilai perbandingan $a > 1$. Notasi standar untuk indikasi sisi belitan yang lebih tinggi adalah “H” dengan terminasi H1 dan H2. Belitan tegangan lebih rendah dinotasikan “X” dengan terminasi X1 dan X2. Sumber tegangan dapat dihubungkan ke dua sisi transformator, tergantung kebutuhan apakah digunakan sebagai *step-up transformer* atau *step-down transformer*.



Gambar 2.8 Notasi Terminasi pada Transformator

(jobsheet praktikum winding trafo laboratorium power system PNUP)

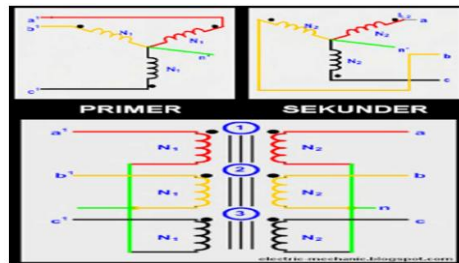
Untuk transformator fase tiga, merujuk pada SPLN, ada tiga tipe vektor grup yang digunakan oleh PLN yang terdapat pada Tabel 2.2, yaitu *Yzn5*, *Dyn5* dan *Ynyn0*. Titik netral dihubungkan dengan tanah. Untuk konstruksi, peralatan transformator distribusi sepenuhnya harus merujuk pada SPLN D3.002-1: 2007.

Tabel 2. 2 Vektor Group dan Daya Transformator

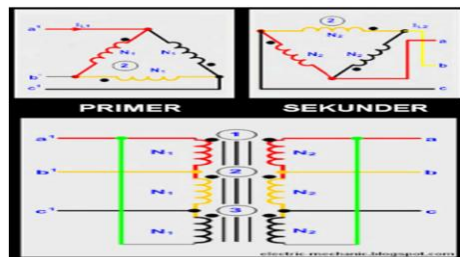
No	Vektor Grup	Daya (kVA)	Keterangan
1	Yzn5	50	Untuk sistem 3 kawat
		100	
		169	
2	Dyn5	200	Untuk sistem 3 kawat

		250	
		315	
		400	
		500	
		630	
		50	
		100	
		160	
		200	
3	Ynyn0	250	Untuk sistem 4 kawat
		315	
		400	
		500	
		630	

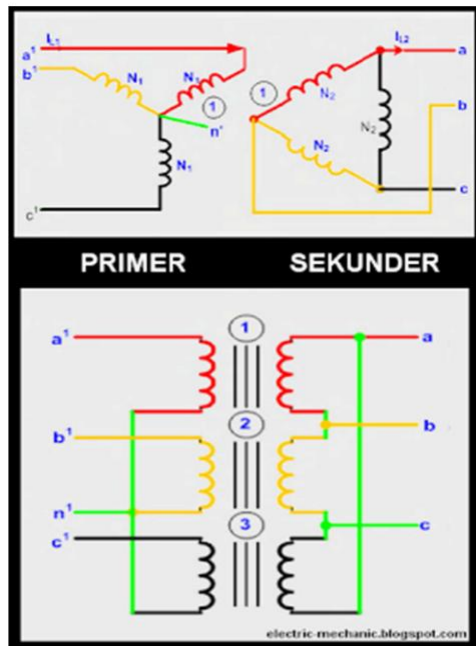
2.2.5.1 Hubungan Belitan Transformator 3 Fasa



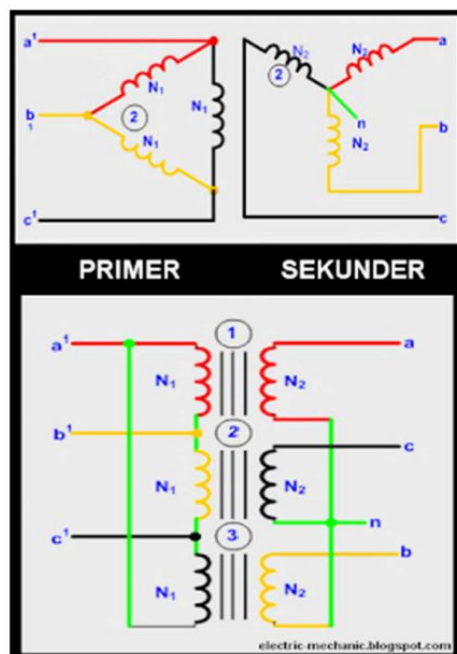
Gambar 2.9 Hubungan (Y - Y)



Gambar 2.10 Hubungan (Δ- Δ)



Gambar 2.11 Hubungan (Y - Δ)



Gambar 2.12 Hubungan (Δ - Y)

Sumber:

<https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/elekdankom/article/view/24895/24600>

1. Hubungan Bintang – Bintang (Y – Y)

Pada konfigurasi ini, ujung terminal dari masing-masing fase dihubungkan membentuk titik bintang, dimana seluruh titik netral digabungkan menjadi satu titik umum. Skema hubungan Y-Y ini dinilai lebih efisien dari segi biaya konstruksi dan sangat sesuai untuk aplikasi transformator tegangan tinggi yang membutuhkan arus nominal relatif kecil. Ilustrasi rangkaian hubungan bintang-bintang dapat diamati pada Gambar 2.9.

2. Hubungan Segitiga – Segitiga (Δ – Δ)

Jenis hubungan ini terbentuk ketika ujung fase dikoneksikan langsung dengan ujung netral kumparan lainnya, sehingga membentuk konfigurasi delta secara keseluruhan. Konfigurasi Δ - Δ umumnya diaplikasikan pada sistem distribusi yang menyalurkan arus besar dengan tingkat tegangan rendah. Keunggulan utama dari skema ini adalah keandalan kontinuitas layanan yang tetap terjaga meskipun terjadi gangguan atau kegagalan pada salah satu fasanya. Referensi gambar untuk hubungan segitiga-segitiga tersedia pada Gambar 2.10.

3. Hubungan Bintang – Segitiga (Y – Δ)

Pada skema ini, sisi primer transformator disusun menggunakan rangkaian bintang (wye), sedangkan sisi sekunder menggunakan rangkaian delta. Konfigurasi ini lazim digunakan pada transformator *step-down* di jaringan transmisi untuk menurunkan tingkat tegangan. Secara teknis, rasio tegangan saluran (jala-jala) memiliki faktor $\sqrt{3}$ terhadap perbandingan lilitan transformator, dengan karakteristik fasor tegangan sekunder yang tertinggal sebesar 30 derajat terhadap tegangan primer. Visualisasi rangkaian ini dapat dilihat pada Gambar 2.11.

4. Hubungan Segitiga – Bintang (Δ – Y)

Kebalikan dari konfigurasi sebelumnya, hubungan ini menerapkan rangkaian delta pada sisi primer dan rangkaian bintang pada sisi sekunder, yang memungkinkan tersedianya titik netral pada sisi keluaran. Tipe hubungan ini biasanya dimanfaatkan untuk transformator *step-up* pada awal sistem transmisi tegangan tinggi. Dalam skema Δ -Y, tegangan sekunder memiliki karakteristik mendahului tegangan primer

sebesar 30 derajat, dengan perbandingan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor $\sqrt{3}$ terhadap perbandingan lilitan. Gambar ilustrasi untuk hubungan segitiga-bintang disajikan pada Gambar 2.12.

2.2.5.2 Perhitungan Arus Beban Penuh Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

S = Daya Transformator (kVA)

V= Tegangan Transformator (V)

I = Arus (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (I_{FL}) dapat menggunakan persamaan:

$$I_{FL} = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

I_{FL} = Arus Beban Penuh (A)

S = Daya Transformator (kVA)

V = Tegangan di sisi sekunder transformator (V)

Menurut **Frank D. Petruzella**, dalam menghitung persentase pembebanan suatu transformator dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{Beban} = I_{Rata-rata} / I_{FL} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Rumus untuk menghitung rata-rata arus beban $I_{Rata-rata}$ yaitu:

$$I_{Rata-rata} = (I_R + I_S + I_T) / 3 \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

$I_{Rata-rata}$ = Rata – rata arus beban (A)

I_{FL} = Arus beban penuh (A)

I_R = Arus fasa R (A)

I_S = Arus fasa S (A)

I_T = Arus fasa T (A)

2.2.5.3 *Overload* Transformator

Berdasarkan standar operasional PT PLN (Persero), beban kerja pada transformator distribusi idealnya dijaga agar tidak melebihi 80% kapasitas untuk menghindari kategori *overload*, serta tidak kurang dari 40% untuk mencegah *underload*. Kondisi di luar rentang batas tersebut mengindikasikan adanya ketidaknormalan pembebanan. Dusahakan agar transformator tidak dibebani keluar dari *range* tersebut. Bila beban transformator terlalu besar maka dilakukan penggantian transformator yang lebih besar kapasitasnya (manajemen transformator) atau penyisipan transformator atau mutasi transformator. *Overload* akan menyebabkan transformator menjadi panas dan kawat tidak sanggup lagi menahan beban, sehingga timbul panas yang menyebabkan naiknya suhu lilitan tersebut. Kenaikan ini menyebabkan rusaknya isolasi lilitan pada kumparan transformator.

2.2.5.4 Pembebanan Transformator

Dalam sistem ketenagalistrikan, beban dapat diartikan sebagai rangkaian akhir yang mengonsumsi daya dari sumber listrik untuk dikonversi menjadi bentuk energi lain, misalnya energi cahaya, panas, gerak, maupun magnetik. Sehubungan dengan hal tersebut, kontinuitas pelayanan pada beban menjadi faktor kunci dalam menjaga reliabilitas sistem tenaga listrik. Untuk mewujudkan kondisi sistem yang andal, infrastruktur tenaga listrik wajib mampu

menanggulangi berbagai gangguan yang muncul tanpa menyebabkan terjadinya pemadaman atau interupsi pada sisi beban

2.1.6 Tahanan

Dalam sistem penyaluran tenaga listrik pada jaringan distribusi primer, kinerja saluran sangat ditentukan oleh tiga parameter utama, yaitu resistansi (R), induktansi (L), dan kapasitansi (C). Keberadaan ketiga parameter ini berkontribusi terhadap fenomena jatuh tegangan (*voltage drop*) serta rugi-rugi daya (*power loss*) sepanjang jalur distribusi. Namun, untuk analisis pada saluran dengan jarak pendek, pengaruh parameter kapasitansi umumnya dapat diabaikan karena nilainya yang relatif kecil terhadap parameter lainnya.

Nilai ρ merepresentasikan hambatan jenis (*resistivity*) dari material penghantar yang digunakan. Sebagai acuan, konduktor berbahan aluminium memiliki nilai resistivitas sebesar $28,25 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Besaran tahanan total suatu penghantar atau saluran dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

R = Tahanan (Ohm)

L = Panjang penghantar

ρ = Koefisien jenis penghantar

A = Luas penampang pengantar (mm^2)

2.2.7 Transformator Sisipan

Kebutuhan akan transformator sisipan muncul akibat banyaknya transformator distribusi yang beroperasi dalam kondisi ketidakseimbangan beban (*over phase*) maupun beban lebih (*overload*). Kondisi tersebut mengakibatkan umur pakai transformator menjadi tidak optimal sehingga sering terjadi interupsi pasokan listrik karena kerusakan peralatan sebelum mencapai usia teknis yang diharapkan. Langkah mitigasi yang dapat diterapkan adalah dengan menginstalasikan transformator sisipan pada gardu distribusi yang mengalami *overload*. Esensi dari metode ini adalah mengurangi beban pada transformator eksisting

dengan cara mendistribusikan ulang sebagian beban ke transformator sisipan. Di samping itu, penentuan lokasi penempatan transformator sisipan harus melalui perhitungan yang teliti untuk mendapatkan posisi yang ideal, sehingga dapat berfungsi efektif dalam memperbaiki kualitas tegangan di ujung jaringan distribusi.

Berikut ini merupakan komponen utama gardu distribusi sisipan, yakni :

2.2.7.1 Komponen Utama Gardu Distribusi Sisipan

Komponen utama Gardu Distribusi Sisipan adalah sebagai berikut:

1. **Transformator Daya** Komponen ini berperan utama dalam melakukan konversi tegangan dari sisi menengah sebesar 20 kV menjadi tegangan rendah 380/400 Volt agar layak didistribusikan ke pelanggan.
2. **Fuse Cut Out (FCO)** Sebagai alat proteksi pada sisi tegangan menengah 20 kV, FCO bertugas mengisolasi gangguan yang terjadi pada area gardu atau transformator. Dengan demikian, kerusakan pada peralatan dapat dicegah dan gangguan tidak menyebar ke jaringan penyulang.
3. **Arrester** Proteksi terhadap risiko tegangan lebih transient diwujudkan melalui pemasangan Arrester. Komponen ini melindungi isolasi transformator dari dampak sambaran petir maupun operasi switching sesuai dengan standar SPLN se.002/PST/73.
4. **NH Fuse** Pada sisi tegangan rendah 220 Volt, pengamanan terhadap arus lebih diberikan oleh NH Fuse. Fungsinya adalah melindungi transformator dari kondisi tidak normal seperti hubung singkat pada jaringan tegangan rendah maupun akibat beban lebih.
5. **Grounding Arrester** Sistem pentanahan pada Arrester dirancang untuk menyalurkan arus gangguan ke tanah. Hal ini terjadi ketika terdapat tegangan lebih yang diakibatkan oleh induksi petir atau proses switching pada jaringan.

6. **Grounding Transformator** Pentanahan pada badan transformator bertujuan untuk menstabilkan tegangan sistem. Ini mencegah munculnya tegangan lebih pada fasa yang sehat saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah atau kondisi pembebanan yang tidak seimbang.
7. **Grounding LV Panel** Terakhir, panel tegangan rendah (LV Panel) juga memerlukan sistem grounding yang memadai. Fungsinya sebagai proteksi keselamatan apabila terjadi arus bocor yang mengalir pada badan panel.

2.2.7.2 Perhitungan Letak Penempatan Transformator Sisipan

Apabila jarak antara transformator dengan titik beban yang disuplai terlalu panjang, hal ini akan berpotensi menimbulkan jatuh tegangan (*voltage drop*) yang cukup besar pada jaringan. Mengingat dampak tersebut, maka pada saat melakukan pendataan kapasitas kVA, parameter jarak maksimum dari transformator distribusi menuju konsumen harus menjadi pertimbangan utama. Berikut merupakan metode perhitungan untuk menentukan lokasi penempatan transformator sisipan berdasarkan jarak ideal dari transformator distribusi *existing* yaitu:

$$L = \frac{10\% \times vivc}{i \text{ beban puncak} \times R \text{ saluran}} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

L = Jarak Penempatan Ideal (KM)

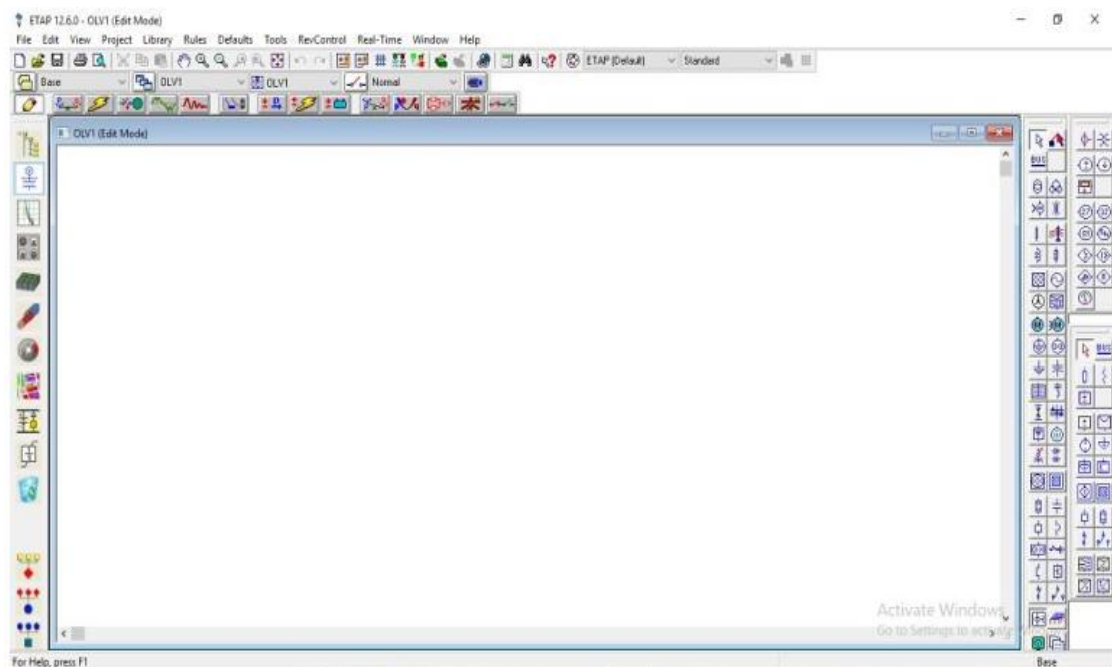
$vivc$ = Voltage *Inverse Voltage Control* (biasanya 10% dari tegangan nominal, nilai ini bisa bervariasi tergantung standar PLN setempat).

$i \text{ beban puncak}$ = Arus beban puncak yang terukur pada jaringan.

$R \text{ saluran}$ = Resistansi saluran (kabel atau kawat udara) per kilometer.

2.2.8 ETAP 19.0.1.0

ETAP Power Station adalah perangkat lunak yang cukup populer dimanfaatkan untuk keperluan simulasi sistem tenaga listrik. Secara fungsional, aplikasi ini mendukung proses perancangan serta analisis teknis jaringan ketenagalistrikan yang mencakup beberapa fitur utama, yaitu: pembuatan peta sebaran beban, manajemen data jaringan dan pembebanan, penyusunan diagram satu garis (*One Line Diagram*), studi aliran daya (*Load Flow Analysis*), perhitungan arus gangguan hubung singkat (*Short Circuit*), serta analisis pengasutan motor (*Motor Starting*) dan kondisi transien. Dalam lingkungan kerja (*worksheet*) program, setiap elemen sistem tenaga listrik direpresentasikan menggunakan simbol-simbol khusus. Parameter spesifikasi pada setiap komponen bersifat fleksibel, sehingga dapat disesuaikan dengan kondisi aktual di lapangan atau memilih spesifikasi berdasarkan data umum yang tersedia dalam pustaka (*library*) perangkat lunak. Tampilan antarmuka dari perangkat lunak ETAP Power Station dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 ETAP

Sumber: Dokumentasi Pribadi, Oktober 2025

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan berdasar pada pengukuran yang dilakukan pada saat beban puncak jam 18:00 – 21:00 waktu setempat. Yang dimana sesuai dengan tujuannya diharapkan penulis nantinya dapat memahami persentase pembebanan transformator yang sudah *overload* sehingga dapat menanggulangi dengan pemasangan transformator sisipan sesuai jarak yang efektif dan efisien.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

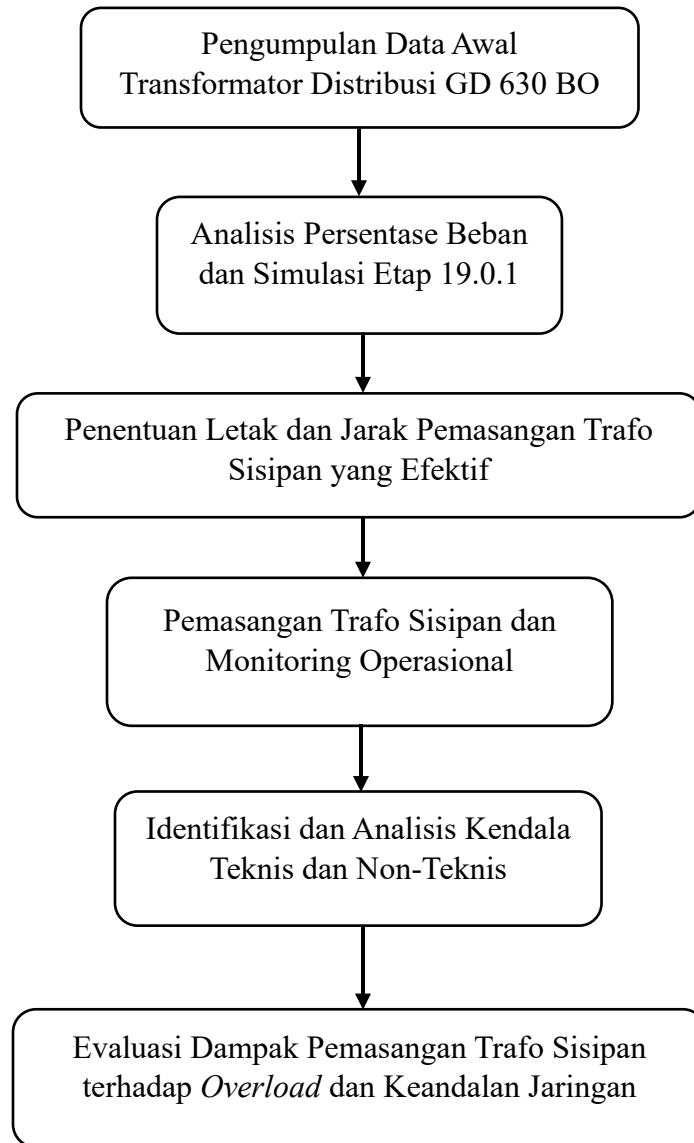
Penulis melakukan penelitian di Kantor PT PLN (Persero) UP3 Palopo Unit Layanan Pelanggan / ULP Malili, yang berlokasi di Jalan Abd Rakib No. 8, Kelurahan Malili, Kecamatan Malili, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan, Kode Pos 92981. Rentang waktu yang dibutuhkan dalam melaksanakan penelitian ini yaitu 3 (Tiga) bulan yang dimulai dari bulan Oktober 2025 hingga bulan Desember 2025.



Gambar 3. 1 Kantor PLN ULP Malili

Sumber: Dokumentasi Pribadi, Oktober 2025

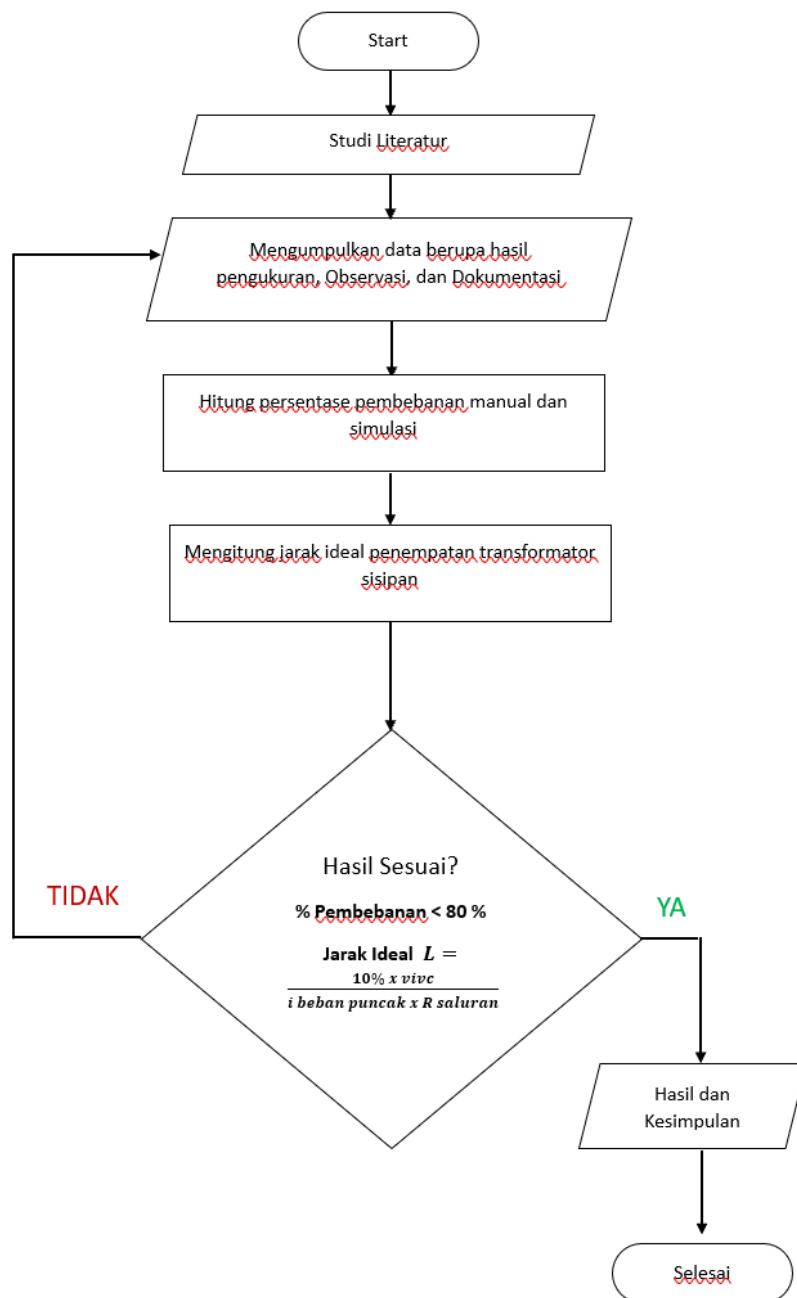
3.3 Kerangka Penelitian



Gambar 3. 2 Kerangka Penelitian

3.4 Desain Penelitian

Penulis membuat diagram alir/*flowchart* untuk mempermudah dalam melakukan penelitian. Pada gambar 3.2 menunjukkan diagram alir/*flowchart* penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 3. 3 Flowcart Penelitian

3.5 Metode Pengumpulan Data

Untuk mempermudah penelitian, penulis melakukan pengumpulan data. Penelitian ini menerapkan beberapa metode dalam mengumpulkan data, diantaranya meliputi:

1) Studi Literatur

Penulis mengambil beberapa referensi dari berbagai sumber melalui jurnal ilmiah dan beberapa buku untuk pedoman penulisan dalam menganalisa. data yang diperoleh berupa materi atau informasi yang dapat digunakan untuk menganalisa permasalahan. Data tersebut adalah antara lain:

- a. Buku 1 PLN
- b. Buku Pedoman Trafo Arus

2) Pengambilan Data

Pengambilan dari data-data sendiri dilakukan di PT.PLN (Persero) ULP Malili UP3 Palopo penyulang Trans yang kemudian dijadikan sebagai bahan dalam penulisan tugas akhir. Data yang diperoleh yakni antara lain sebagai berikut:

- a. Data mengenai Transformator GD 630 BO baik spesifikasi berupa *nameplate* dan single line diagram (SLD)

Tabel 3. 1 Nameplate Transformator 50 kVA

Jumlah Fase	3
Frekuensi Pengenal	50 Hz
Daya Pengenal	50 kVA
Tegangan Pengenal Primer	20000 V
Tegangan Pengenal Sekunder	400 V
Arus Pengenal Primer	1.44 Amp
Arus Pengenal Sekunder	72.17 Amp
Tegangan Impendasi	4.0%
Rugi Tanpa Beban-Rugi Berbeban	90W-800 W
Bahan Belitan Primer-Sekunder	Al-Al
Jenis Minyak	Mineral Parafinic
Merek Minyak	SAVITA
Jenis Transformator	Transformator Distribusi

Tipe Transformator	2024-50-AA-Yzn5-H
Nomor Standar	SPLN D3.002-1:2020
Nomor Seri	243302944
Tahun Pembuatan	2024
Tipe Pendingin	ONAN
Kelompok Vektor	Yzn5
Temp Oli/Kump.	50/55 C
Volume Minyak	155 Liter
Berat Total	565 Kg
T.I.D	24/125/50 – 1.1/-/3

- b. Data pengukuran beban transformator dan data simulasi untuk ETAP
 - Konfigurasi jaringan, termasuk tiang, kabel, dan penyulang yang terhubung ke trafo yang akan di sisip.
 - Kapasitas Trafo, Nilai impedansi, resistansi, dan reaktansi yang memengaruhi rugi-rugi daya.
 - Data beban aktual pada trafo, termasuk besar daya aktif dan reaktif pada setiap fasa (R, S, dan T).
 - Data beban di titik-titik konsumen pada jaringan yang disuplai oleh trafo tersebut.
- c. Data yang digunakan untuk menghitung jarak penempatan, beserta data lainnya.

3) Analisis Data

Data yang telah terkumpul kemudian dianalisis, berikut merupakan urutan analisis data, yakni:

- a. Menganalisis perhitungan nilai persen pembebanan gardu distribusi GD 630 BO baik sebelum pemasangan transformator sisipan maupun setelah pemasangan transformator sisipan dengan menggunakan persamaan (2.4), perhitungan dilakukan secara manual maupun menggunakan simulasi dengan data yang diperoleh dari instansi yang berkaitan.

- b. Menganalisis perbandingan antara hasil perhitungan nilai persen pembebanan secara manual maupun dengan menggunakan simulasi ETAP.
- c. Menganalisis perhitungan jarak ideal transformator sisipan dari transformator utama secara manual dan disesuaikan dengan kondisi di lapangan menggunakan persamaan (2.7).

4) Penyusunan Laporan

Pembuatan laporan yang telah dianalisa sebelumnya sebagai hasil penelitian. Berikut merupakan hasil yang diperoleh dari analisa data, yakni :

- a. Nilai persen pembebanan pada transformator baik transformator utama maupun transformator sisipan.
- b. Jarak ideal transformator sisipan khusus gardu distribusi GD 630 BO.

3.6 Tempat dan Waktu Penelitian

Metode pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Observasi

Kegiatan pengamatan lapangan dilaksanakan di wilayah operasional PT PLN (Persero) ULP Malili. Fokus utama observasi ditujukan pada Transformator Distribusi dengan kode gardu GD 630 BO yang berada pada penyulang Trans. Lokasi ini dipilih sebagai objek studi untuk memverifikasi kondisi riil di lapangan terkait penerapan transformator sisipan sebagai solusi mitigasi kondisi beban lebih (*overload*).

b. Wawancara

Teknik pengambilan data juga dilengkapi dengan sesi wawancara terhadap personel teknis di ULP Malili yang memiliki kompetensi di bidang sistem ketenagalistrikan sesuai objek penelitian. Komunikasi ini dapat dilaksanakan secara langsung (tatap muka) atau menggunakan media telepon. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai strategi penanganan *overload* menggunakan transformator serta untuk validasi data yang didapatkan selama observasi lapangan.

3.7 Teknik Analisis Data

Dalam tahapan penelitian ini, metode pengolahan data mengacu pada analisis deskriptif yang dipadukan dengan teknik simulasi. Sumber informasi utama diperoleh dari instansi terkait dengan ketersediaan data yang utuh. Proses penelitian diawali melalui studi literatur berupa penelusuran jurnal ilmiah yang relevan dengan topik tugas akhir, dilanjutkan dengan kegiatan pengambilan data teknis secara langsung di lokasi PT. PLN (Persero) ULP Malili UP3 Palopo khususnya pada penyulang Trans.

Data yang didapat seperti:

- a. Data beban transformator *overload* baik data transformator yang sebelum dipasangnya trafo sisipan maupun setelah dipasangnya trafo sisipan.
- b. Data beban transformator sisipan.
- c. Data beban disimulasikan dengan menggunakan aplikasi ETAP 19.0.1.0
- d. Data yang digunakan untuk perhitungan jarak transformator sisipan.

3.8 Jadwal Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan sesuai dengan rencana jadwal seperti yang terlampir pada Tabel 3.2

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

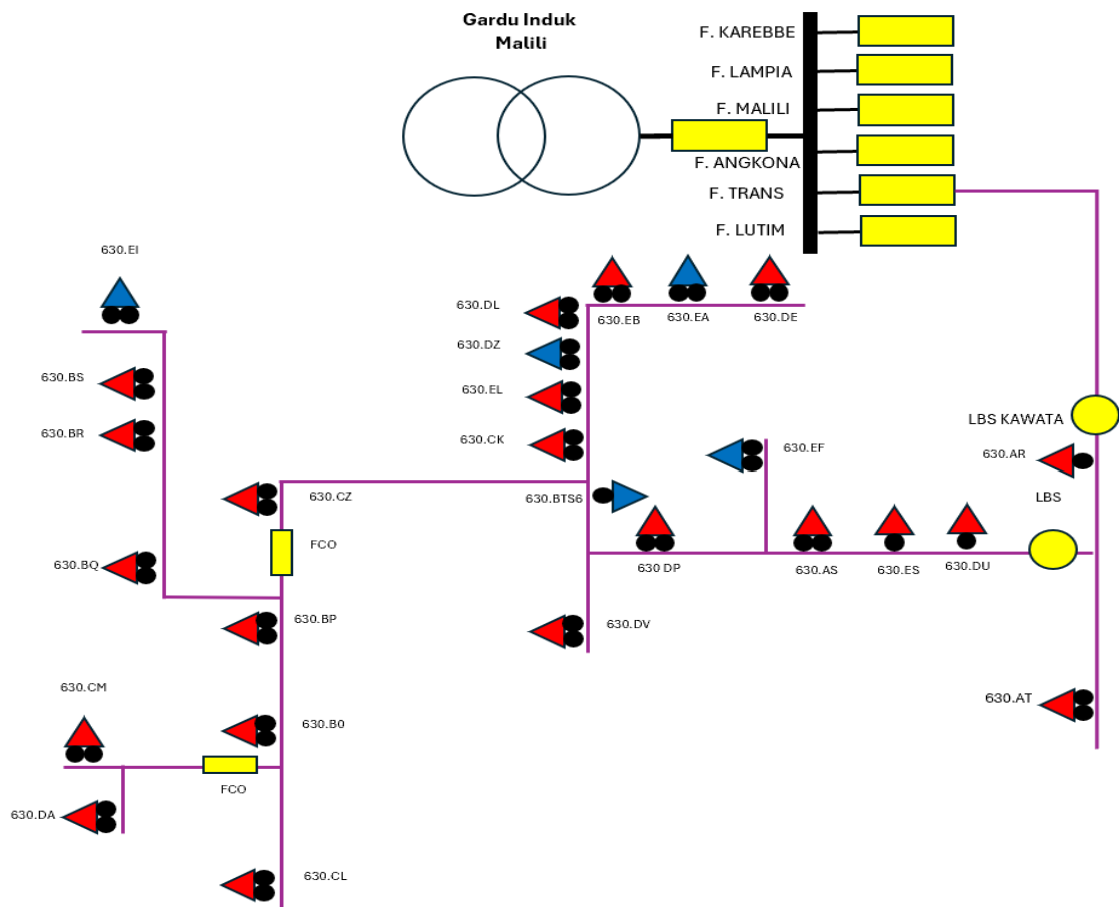
1.1 Penyajian Data Hasil Lapangan

4.1.1 Data Hasil Lapangan

Dalam penelitian ini, mengambil data pada transformator GD 630 BO yang terletak di penyulang Trans di PT PLN (Persero) ULP Malili UP3 Palopo. Pengambilan data beban transformator GD 630 BO ini diperoleh dari pengukuran langsung ke lapangan dengan hasil ditunjukkan pada Tabel 4.1. Kapasitas transformator pada gardu GD 630 BO adalah 160 kVA sedangkan menurut pengukuran sudah terpakai 155 kVA. Berdasarkan **SPLN No. 50 tahun 1977**, transformator distribusi diusahakan agar tidak dibebani lebih dari 80 % dari kapasitas (*rating*). Sehingga dalam kondisi ini transformator dikatakan telah mengalami *overload*.



Gambar 4. 1 Gardu GD 630 BO



Gambar 4. 2 Single Line Gardu Penyulang Trans ULP Malili

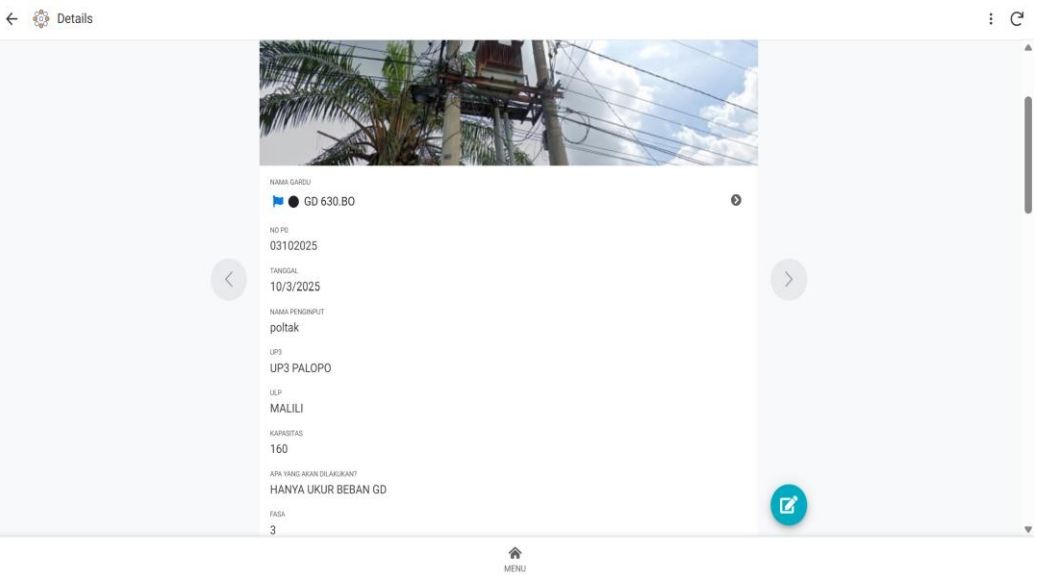
4.1.2 Data Pengukuran Transformator GD 630 BO Sebelum Penambahan Trafo Sisipan

Berdasarkan data yang diambil dari hasil pengukuran beban transformator PT PLN (Persero) ULP Malili dapat dilihat pada Tabel 4.1 yaitu beban sebelum di lakukan penambahan tranformator sisipan.

Tabel 4. 1 Data Pengukuran Transformator GD 630 BO sebelum penambahan transformator sisipan

Data Trafo		Jurusan	Hasil Pengukuran Beban (A)			
Kapasitas	Prim/Sek	Penampang	R	S	T	N

160 kVA	20 kV/400V	A (LVTC 3 x 70 + 50 MM)	86	133	90	51
		B (LVTC 3 x 70 + 50 MM)	126	104	145	50
		SUMBER (NYY 4 X 150 MM)	198	241	232	100



Gambar 4. 3 Laporan Inspeksi Gardu GD 630 BO Via Appsheet

Sesuai dengan Tabel 4.1 maka dilihat beban pada total transformator GD 630 BO telah melewati arus nominalnya. Untuk lebih jelasnya mengenai kondisi pembebanan transformator gardu distribusi GD 630 BO dengan menggunakan persamaan (2.4), dapat dihitung sebagai berikut: % Pembebanan = $(I_{Rata-rata} / I_{FL}) \times 100\%$.

Untuk menghitung arus rata-rata beban transformator tersebut dapat menggunakan persamaan (2.5) dengan menggunakan data pada Tabel 4.1 yaitu:

$$I_{Rata-rata} = (I_R + I_S + I_T) / 3$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{198 \text{ A} + 241 \text{ A} + 232 \text{ A}}{3}$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{671}{3} = 224 \text{ A}$$

Untuk menghitung arus beban penuh (I_{FL}) dapat menggunakan persamaan (2.3) yaitu:

$$I_{FL} = \frac{\text{KAPASITAS TRAFO}}{400 \text{ V}\sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = \frac{160\,000 \text{ VA}}{400 \text{ V}\sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = \frac{160\,000 \text{ VA}}{400 \text{ V}\sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = 230,94 \text{ A}$$

Kemudian dimasukkan kedua nilai hasil perhitungan $I_{Rata-rata}$ dan I_{FL} kedalam persamaan rumus persen pembebanan sebelumnya. Sehingga dapat diketahui persentase beban transformator GD 630 BO.

$$\% \text{ Pembebanan} = \frac{224 \text{ A}}{230,94 \text{ A}} \times 100\%$$

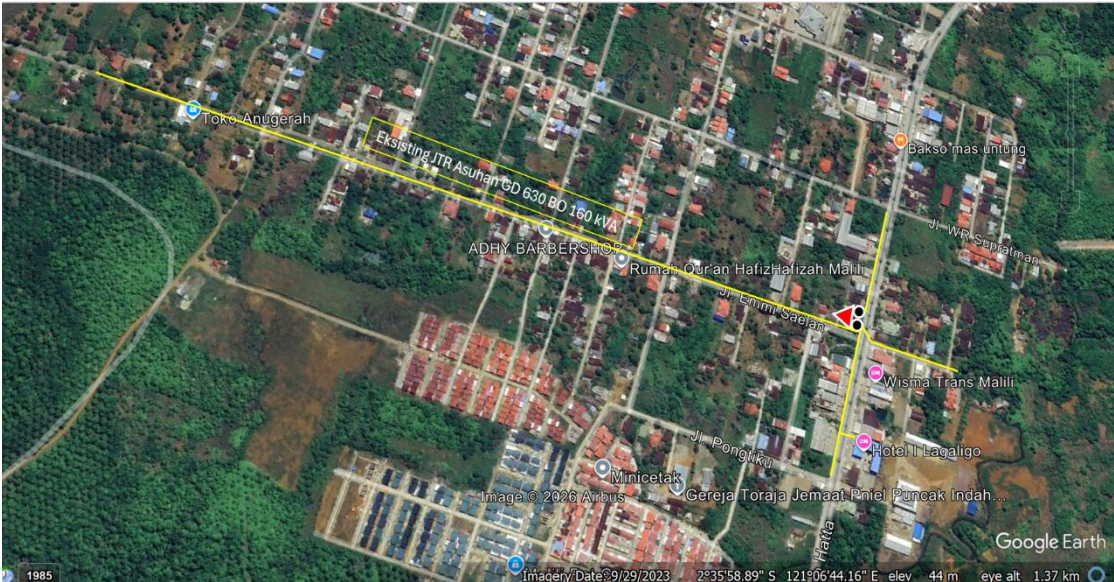
$$\% \text{ Pembebanan} = 96,99 \%$$

Setelah dilakukan perhitungan persentase pembebanan pada transformator GD 630 BO dan hasilnya menunjukkan bahwa transformator GD 630 BO mengalami *overload* karena total persentase beban transformator yakni 96,99 %. Sebuah Transformator dikatakan *overload* apabila melebihi beban 80% dari kapasitas transformatornya maka untuk itu pihak PLN melakukan perbaikan pada transformator distribusi ini dengan menambahkan transformator sisipan.

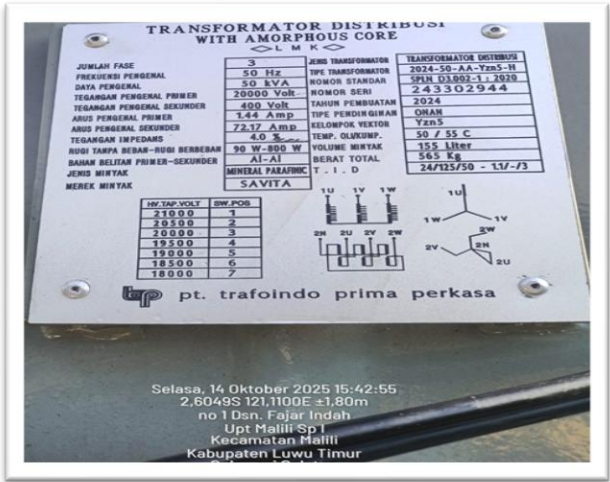
Dibawah ini adalah Gambar Jalur Jaringan tegangan Rendah (JTR) Transformator GD 630 BO:

4.1.3 Transformator Sisipan

Transformator sisipan yang ditambahkan untuk mengurangi beban lebih pada penyulang Trans khususnya pada GD 630 BO yaitu transformator GD 630 FD dengan kapasitas beban 50 kVA, transformator ini terbagi menjadi 2 mengarah ke transformator GD 630 BO JL Emmi Saelan Ds Puncak Indah Malili. Berikut gambar yang merupakan trafo sisipan GD 630 FD.

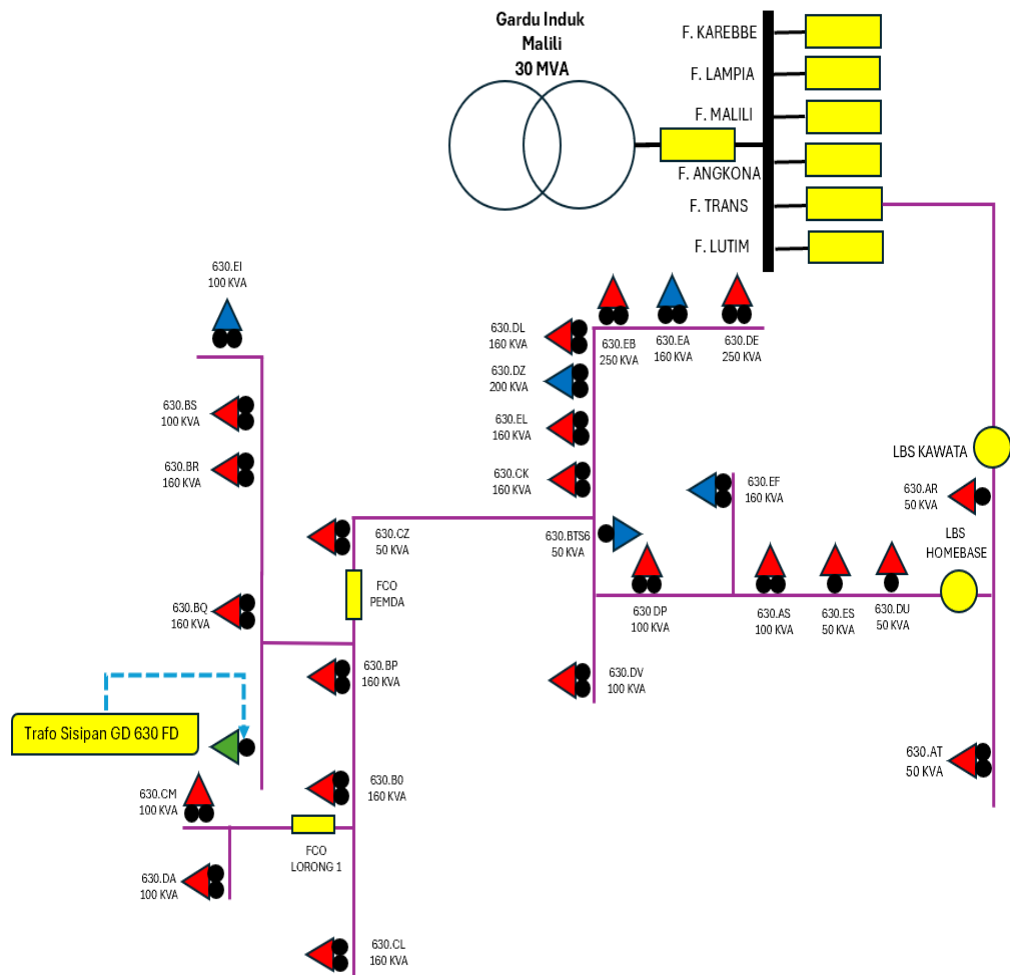


Gambar 4. 4 Jalur JTR Trans formator GD 630 BO





Gambar 4. 6 Transformator Sisipan GD 630 FD



Gambar 4. 7 Singleline Gardu setelah penambahan transformator sisipan GD 630 FD

4.1.4 Data Pengukuran Transformator Sisipan GD 630 FD

Tabel 4. 2 Data Pengukuran Transformator Sisipan GD 630 FD

Data Trafo		Jurusan	Hasil Pengukuran Beban (A)			
Kapasitas	Prim/Sek	Penampang	R	S	T	N
50 kVA	20 kV/400V	A (LVTC 3 x 70 + 50 MM)	55	37	43	25
		B (LVTC 3 x 70 + 50 MM)	1	4	1	3
		SUMBER (NYY 4 X 150 MM)	56	41	44	26

Berdasarkan hasil pengukuran diatas, Sebagian beban dari jurusan B dari transformator GD 630 BO dialihkan ke transformator sisipan pembebanan berkurang. Untuk mengetahui pembebanan pada transformator GD 630 FD maka perlu dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (2.4) dengan menggunakan data pengukuran pada Tabel 4.2 yaitu:

Untuk menghitung arus rata-rata beban transformator tersebut dapat menggunakan persamaan (2.5) dengan menggunakan data pada Tabel 4.1 yaitu:

$$I_{Rata-rata} = (I_R + I_S + I_T) / 3$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{56 \text{ A} + 41 \text{ A} + 44 \text{ A}}{3}$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{141}{3} = 47 \text{ A}$$

Untuk menghitung arus beban penuh (I_{FL}) dapat menggunakan persamaan (2.3) yaitu:

$$I_{FL} = \frac{\text{KAPASITAS TRAFO}}{400 \text{ V} \sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = \frac{50\,000 \text{ VA}}{400 \text{ V} \sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = \frac{50\,000\text{ VA}}{400\text{ V}\sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = 72,16\text{ A}$$

Kemudian dimasukkan kedua nilai hasil perhitungan $I_{Rata-rata}$ dan I_{FL} kedalam persamaan rumus persen pembebanan sebelumnya. Sehingga dapat diketahui persentase beban transformator GD 630 FD.

$$\% \text{Pembelangan} = \frac{47\text{ A}}{72,16\text{ A}} \times 100\%$$

$$\% \text{Pembelangan} = 65,27\%$$

4.1.5 Data Pengukuran Transformator GD 630 BO Setelah Penambahan Transformator Sisipan

Berikut ini Tabel 4.3 yang merupakan data pengukuran beban transformator Gardu GD 630 BO setelah penambahan transformator sisipan.



Gambar 4. 8 Jalur JTR Setelah Penambahan Transformator Sisipan

Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Beban Transformator GD 630 BO Setelah Penambahan Transformator Sisipan

Data Trafo		Jurusan	Hasil Pengukuran Beban (A)			
Kapasitas	Prim/Sek	Penampang	R	S	T	N
160 kVA	20 kV/400V	A (LVTC 3 x 70 + 50 MM)	37	124	64	54
		B (LVTC 3 x 70 + 50 MM)	66	47	57	14
		SUMBER (NYY 4 X 150 MM)	120	185	118	73

Setelah dilakukan penambahan transformator sisipan dan dialihkan sebagian jalur JTR nya dapat dilihat pada Tabel 4.3 bahwa telah berkurang beban pada jurusan B, secara otomatis juga mengurangi persentase pembebanan transformator. Adapun persentase pembebanan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4) yakni dengan menggunakan data pada Tabel 4.3 dapat dihitung sebagai berikut: % Pembebanan = $(I_{Rata-rata} / I_{FL}) \times 100\%$

Untuk menghitung arus rata-rata beban transformator tersebut dapat menggunakan persamaan (2.5) dengan menggunakan data pada Tabel 4.1 yaitu:

$$I_{Rata-rata} = (I_R + I_S + I_T) / 3$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{120 \text{ A} + 185 \text{ A} + 118 \text{ A}}{3}$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{423}{3} = 141 \text{ A}$$

Untuk menghitung arus beban penuh (I_{FL}) dapat menggunakan persamaan (2.3) yaitu:

$$I_{FL} = \frac{\text{KAPASITAS TRAF0}}{400 \text{ V} \sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = \frac{160 \text{ 000 VA}}{400 \text{ V} \sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = \frac{160\,000\text{ VA}}{400\text{ V}\sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = 230,94\text{ A}$$

Kemudian dimasukkan kedua nilai hasil perhitungan $I_{Rata-rata}$ dan I_{FL} kedalam persamaan rumus persen pembebanan sebelumnya. Sehingga dapat diketahui persentase beban transformator GD 630 BO.

$$\% \text{Pembelangan} = \frac{141\text{ A}}{230,94\text{ A}} \times 100\%$$

$$\% \text{Pembelangan} = 61,05\%$$

Setelah dilakukan perhitungan persentase pembebanan pada transformator setelah ditambahkan transformator sisipan maka hasilnya menunjukkan bahwa transformator GD 630 BO sudah kembali normal atau tidak mengalami *overload* karena total persentase pembebanan transformator tidak lagi melebihi beban standar yang telah ditentukan sebelumnya, yakni 61,05 %.

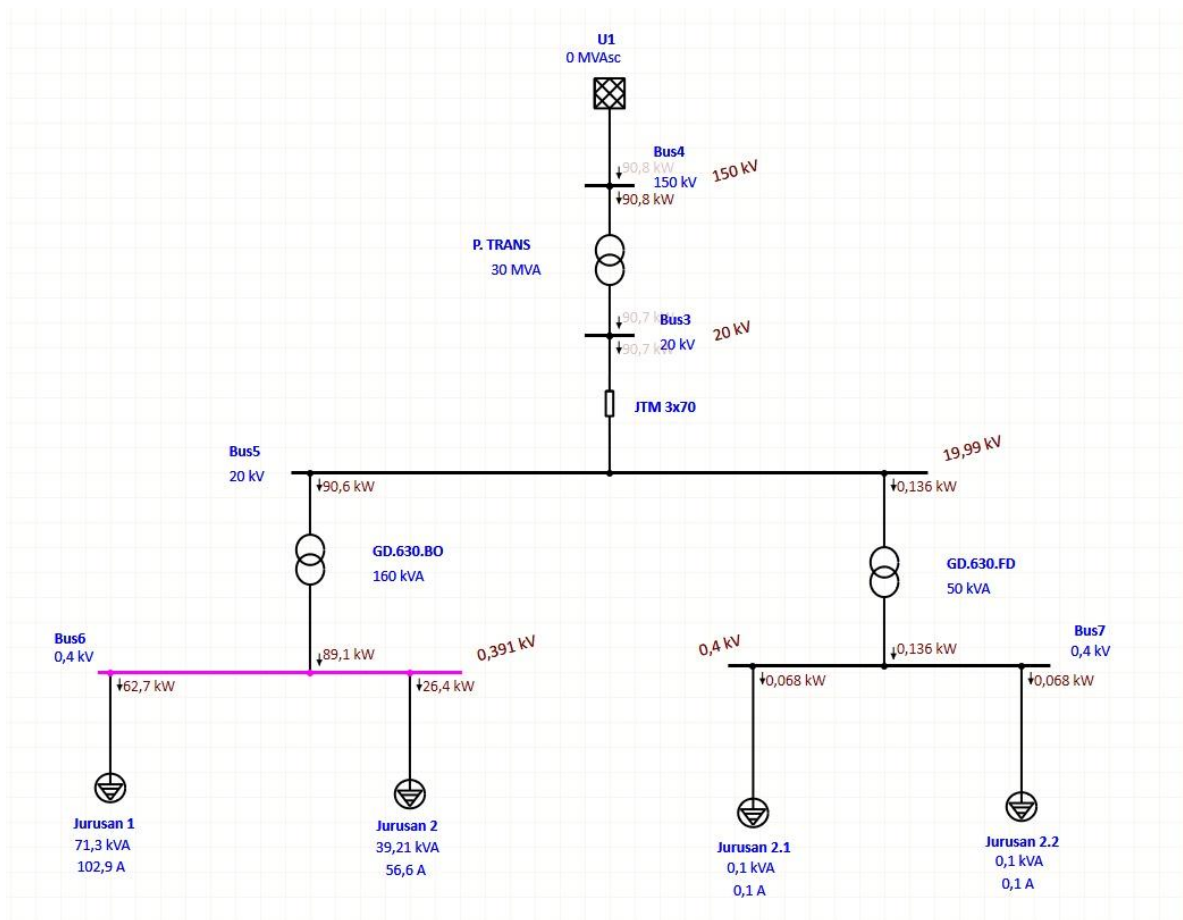
4.1.6 Simulasi Pembebanan Transformator Menggunakan Aplikasi ETAP 19.0.1

Aplikasi ETAP 19.0.1 digunakan untuk simulasikan perhitungan pembebanan transformator pada gardu GD 630 BO dan GD 630 FD. Data yang dibutuhkan dalam simulasi ETAP antara lain: Data bus JTR, beban pemakaian, kapasitas transformator serta daya terpasang pada pelanggan. Adapun cuplikan gambar hasil simulasi pembebanan sebelum pemasangan transformator sisipan pada Gardu GD 630 BO dengan Aplikasi ETAP dapat dilihat seperti gambar berikut ini:

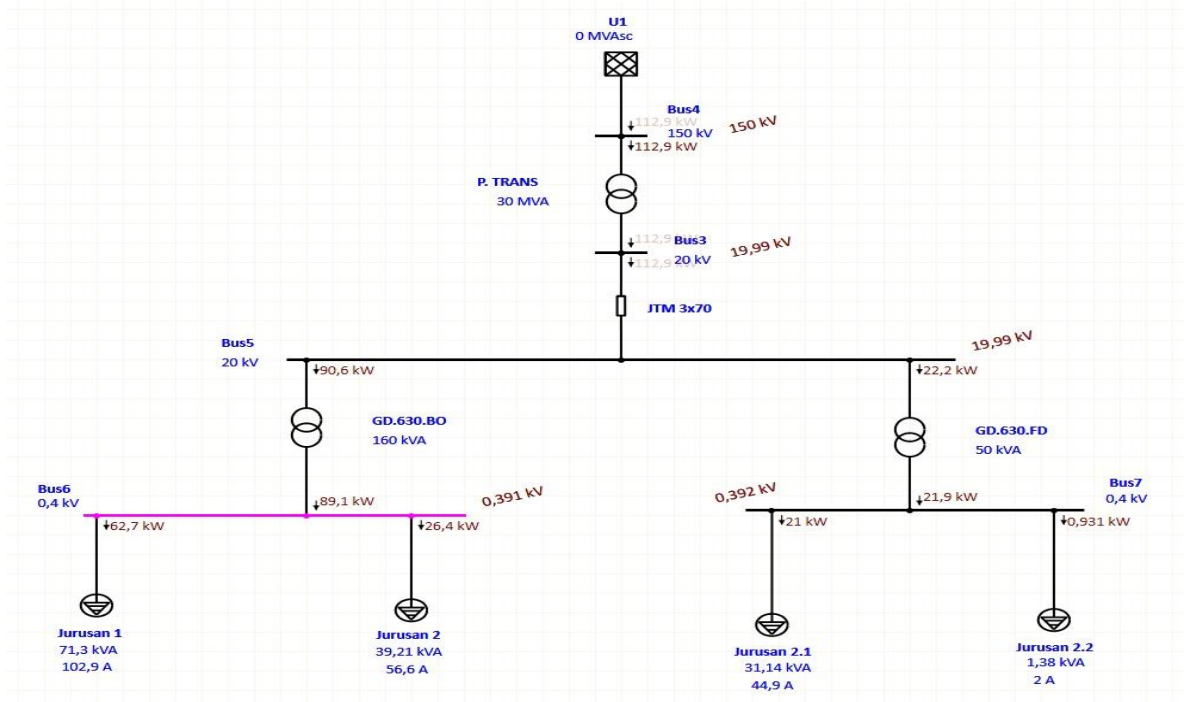


Berdasarkan kedua gambar sebelumnya, dapat dilihat bahwa nilai persen pembebanan pada transformator GD 630 BO sebelum dilakukan penyisipan transformator masih mengalami beban lebih (*overload*). Hal ini sesuai dengan perhitungan manual dimana nilai persen pembebanan transformator GD 630 BO mengalami beban lebih.

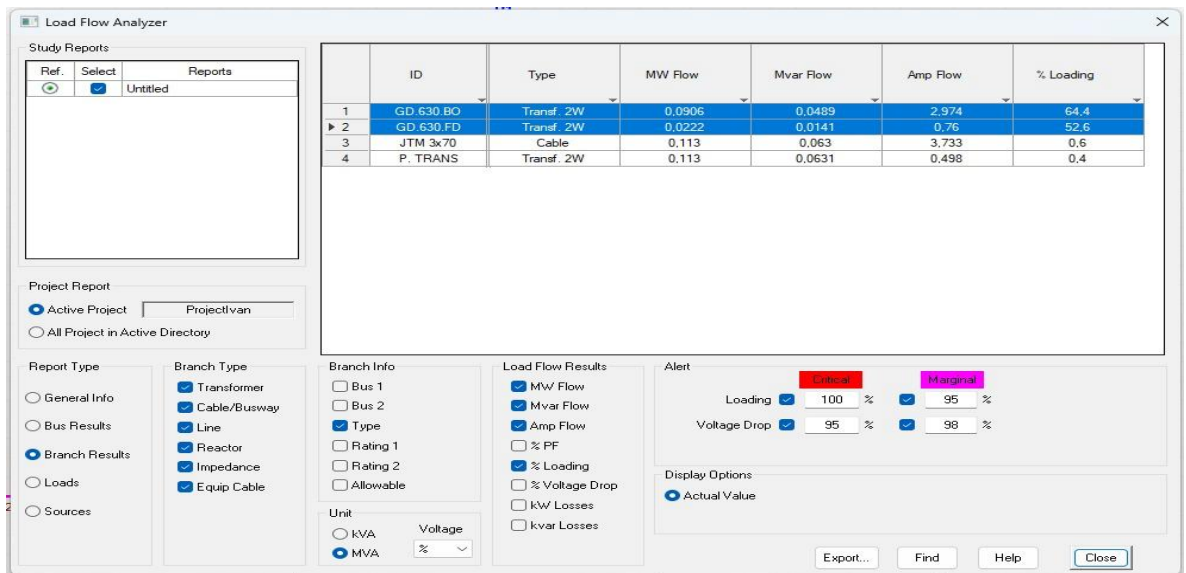
Selanjutnya, untuk menampilkan gambar simulasi dan hasil pembebanan Transformator GD 630 BO setelah dilakukan penyisipan trafo. Adapun cuplikan gambar hasil simulasi pembebanan setelah pemasangan transformator sisipan pada transformator GD 630 BO dengan ETAP adalah seperti terlihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4. 11 Simulasi Transformator GD 630 BO setelah pemasangan transformator sisipan tetapi belum dialihkan beban



Gambar 4. 12 Simulasi Transformator GD 630 BO setelah pemasangan transformator sisipan GD 630 FD dan dialihkan beban Sebagian pada line B



Gambar 4. 13 Hasil pengukuran transformator GD 630 BO dan GD 630 FD menggunakan aplikasi ETAP

4.2 Analisis Data Lapangan

Merujuk pada standar operasional yang berlaku, batas aman pembebanan transformator dibatasi maksimal hingga 80% dari kapasitas nominalnya. Karena persentase beban pada Gardu GD 630 BO melampaui ambang batas tersebut hingga mencapai 96,99%, maka transformator ini dikategorikan mengalami kondisi beban lebih (*overload*). Guna mempertahankan keandalan suplai listrik dan kualitas layanan bagi pelanggan, PLN wajib melakukan intervensi teknis untuk menormalisasi kondisi tersebut.

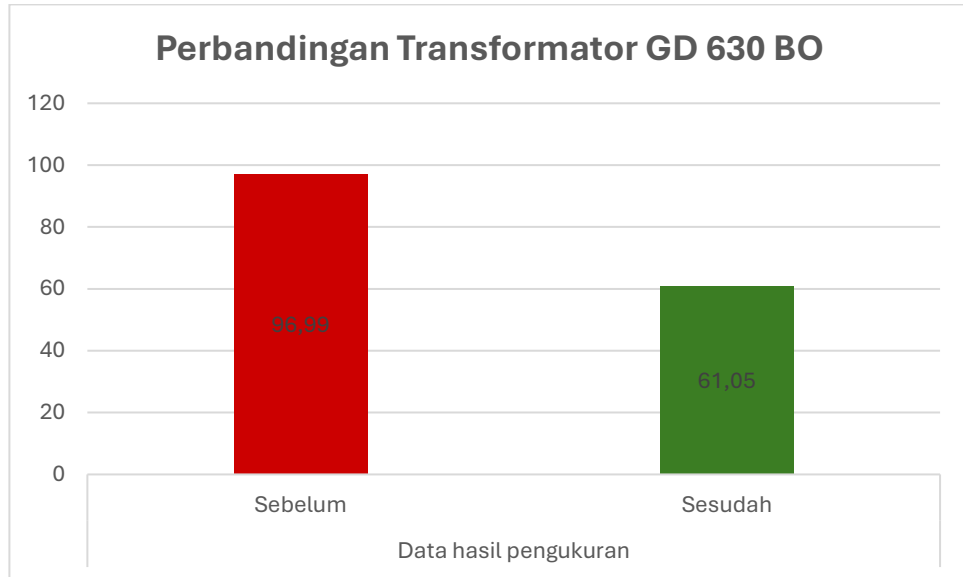
Dalam ruang lingkup penelitian ini, fokus analisis ditujukan pada upaya mitigasi beban lebih di Gardu GD 630 BO melalui instalasi transformator sisipan. Langkah ini diambil tidak hanya untuk menstabilkan pembebanan, tetapi juga untuk memperbaiki profil tegangan (mengurangi *drop tegangan*) pada jaringan tersebut. Prinsip utama dalam penerapan transformator sisipan adalah redistribusi beban, yaitu memindahkan sebagian beban dari jurusan tertentu pada transformator induk ke transformator baru agar persentase pembebanan kembali ke nilai normal.

Selain kondisi eksisting, faktor proyeksi pertumbuhan beban tahunan juga menjadi pertimbangan mengingat lokasi gardu berada di kawasan pemukiman padat. Berdasarkan evaluasi teknis dan pertimbangan pertumbuhan beban tersebut, solusi yang diterapkan adalah pemasangan transformator sisipan kode GD 630 FD dengan kapasitas 50 kVA.

4.2.1 Perbandingan Persentase Pembebanan Transformator GD 630 BO Penyulang Trans Sebelum dan Sesudah Penambahan Transformator Sisipan Perhitungan Manual

Dari hasil perhitungan pada transformator GD 630 BO penyulang Trans sebelum dilakukan penyisipan trafo sisipan, hasil presentase pembebanan yang didapatkan yakni 96,99 %. Namun setelah adanya penambahan transformator sisipan, hasil

pembebanan pada transformator tersebut mengalami perubahan. Berikut diagram perbandingan sebelum dan setelah penambahan transformator sisipan:



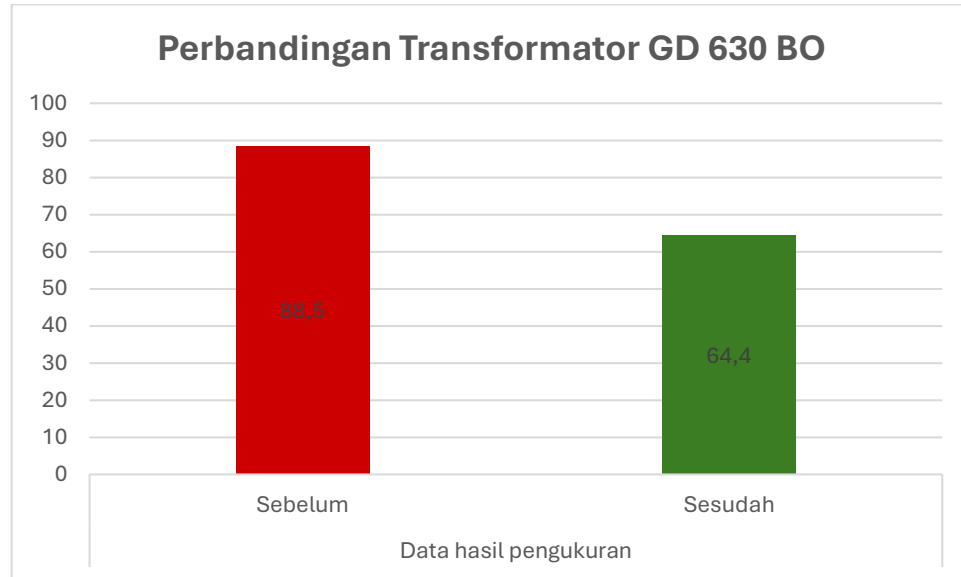
Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Pengukuran Transformator GD 630 BO Perhitungan Manual

Dari gambar 4.14 dapat dilihat bahwa nilai persen pembebanan pada transformator GD 630 BO mengalami perubahan setelah penambahan transformator sisipan dari nilai 96,99 % menjadi 61,05% sehingga dapat dikatakan terjadi penurunan nilai pembebanan sebesar 35,94 % dan sudah dikatakan tidak *overload* pembebanan transformator GD 630 BO.

4.2.2 Perbandingan Persentase Pembebanan Transformator GD 630 BO Penyulang Trans Sebelum dan Sesudah Penambahan Transformator Sisipan Perhitungan Simulasi Aplikasi ETAP 19.0.1

Dari hasil perhitungan pembebanan pada transformator GD 630 BO penyulang Pendidikan sebelum dilakukan penyisipan trafo sisipan dengan menggunakan aplikasi ETAP, hasil persentase pembebanan yang didapatkan yakni 88,5 %. Namun setelah adanya penambahan transformator sisipan, hasil pembebanan pada transformator tersebut mengalami perubahan. Berikut diagram perbandingan

sebelum dan setelah penambahan transformator sisipan dengan menggunakan aplikasi ETAP:



Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan Pengukuran Transformator GD 630 BO Perhitungan Simulasi Aplikasi ETAP 19.0.1

Dari gambar 4.15 dapat dilihat bahwa nilai persen pembebanan pada transformator GD 630 BO mengalami perubahan setelah penambahan transformator sisipan dari nilai 88,5 % menjadi 64,4 % sehingga dapat dikatakan terjadi penurunan nilai pembebanan sebesar 24,1 % dan sudah dikatakan tidak *overload* pembebanan transformator GD 630 BO.

4.2.3 Perbandingan Hasil Perhitungan Persentase Pembebanan Transformator Secara Manual dan Simulasi Melalui Aplikasi ETAP

Setelah dilakukan perhitungan nilai persentase pembebanan pada transformator GD 630 BO baik sebelum maupun setelah pemasangan transformator sisipan secara manual maupun menggunakan aplikasi ETAP, dapat dilihat perbandingan nilai persen pembebanan pada Tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4. 4 Hasil Perbandingan Pengukuran Beban Transformator GD 630 BO Sebelum dan Setelah Penambahan Transformator Sisipan Dengan Perhitungan Manual dan Menggunakan Aplikasi ETAP

Perbandingan	Sebelum Sisipan (%)		Sesudah Sisipan (%)	
	Manual	ETAP	Manual	ETAP
% Pembebanan	96,99	88,5	61,05	64,4

Dari kedua hasil sebelumnya, dapat dilihat bahwa perhitungan nilai pembebanan antara manual dengan menggunakan aplikasi ETAP memiliki perbedaan nilai persen pembebanan tidak begitu jauh. Untuk perbedaan perbandingan nilai persen pembebanan sebelum sisipan, manual maupun etap mencapai 8,49 % dari (96,99% - 88,5%). Sedangkan untuk perbedaan perbandingan nilai persen pembebanan setelah sisipan, manual maupun ETAP mencapai 3,2% dari (64,4% - 61,05%).

4.2.4 Perhitungan Letak Penempatan Transformator Sisipan

Untuk letak yang ideal dalam penempatan transformator sisipan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.7), yakni sebagai berikut:

$$L = \frac{10\% \times V_{ivc}}{i \text{ Beban Puncak} \times R \text{ Saluran}}$$

Dimana:

$$V_{ivc} = 400 \text{ V (Diambil dari } 380 \text{ V} + 5 \%)$$

Tabel 4. 5 Buku 1: Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik (Edisi 1, 2010) oleh PT PLN (Persero)

Ukuran Kabel		Fasa		Netral
(mm^2)	R (Ω/km)	KHA (A)	X (Ω/km)	Resistansi (Ω/km)

2 x 10	3,08	54	0,168	3,08
2 x 16	1,91	72	0,138	1,91
2 x 25	1,2	130	0,124	1,38
2 x 35	0,868	125	0,116	1,38
2 x 50	0,641	154	0,106	0,986
3 x 70	0,443	196	0,103	0,69
3 x 95	0,32	242	0,098	0,45

Berikut merupakan perhitungan untuk menentukan arus beban puncak dan panjang saluran. Untuk menentukan arus beban puncak, digunakan pengukuran arus dari jurusan B dengan menggunakan persamaan (2.5) dengan menggunakan Tabel 4.2, yakni:

$$I_{Rata-rata} = (I_R + I_S + I_T) / 3$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{198 \text{ A} + 241 \text{ A} + 232 \text{ A}}{3}$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{671}{3} = 224 \text{ A}$$

$L_{existing}$ = Panjang penghantar existing (1000 Meter)

R Saluran = 0,443 Ω /km

Setelah didapatkan *variable*, kemudian dimasukkan ke rumus dibawah ini.

$$L = \frac{10\% \times V_{ivc}}{i \text{ Beban Puncak} \times R \text{ Saluran}}$$

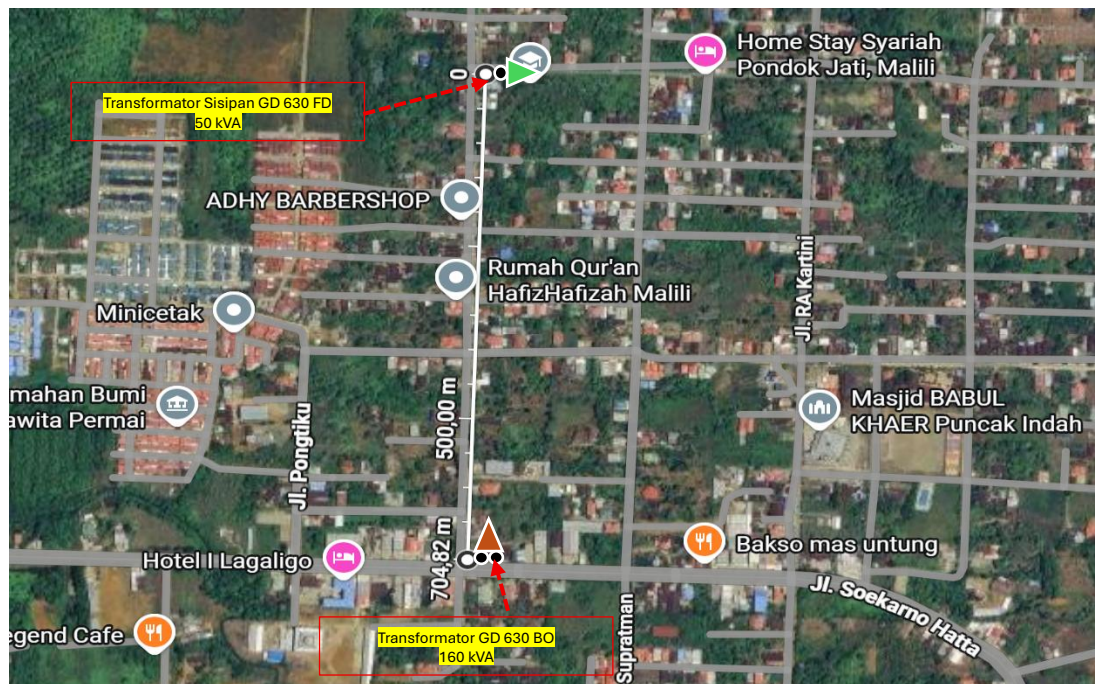
$$L = \frac{10\% \times 400 \text{ V}}{224 \text{ A} \times 0,443 \text{ } \Omega / \text{ km}}$$

$$L = 403 \text{ m}$$

Jadi, berdasarkan hasil perhitungan seperti di atas, maka jarak jaringan yang paling ideal untuk menempatkan transformator sisipan tersebut adalah 403-meter dari transformator GD 630 BO. Namun, dalam hal ini tidak dapat berpatokan pada hasil

perhitungan saja, tetapi juga harus melihat dari sisi lapangan baik dari pelanggan *existing* yang *drop* tegangan maupun lokasi tanah yang di izinkan untuk di pasang transformator sisipan.

Sesuai kondisi di lapangan jarak yang di dapat antara transformator GD 630 BO dan transformator sisipan GD 630 FD yaitu 704,82 meter. Hal ini disebabkan karena pada lokasi jalur JTR dari transformator *existing* GD 630 BO jadi mempertimbangkan jarak untuk perluasan JTM sehingga transformator sisipan GD 630 FD dipasang pada jarak 704,82-meter dari transformator *existing* dan kondisi non teknis terkait izin lahan oleh Masyarakat sekitar.



Gambar 4. 16 Jarak JTR dari GD 630 BO ke Transformator Sisipan GD 630 FD

4.2.5 Perhitungan Kapasitas Transformator Existing GD 630 BO Berdasarkan Kapasitas Daya Terpasang

Tabel 4. 6 Tabel Data Kapasitas Daya Terpasang Pelanggan PLN Pada GD 630 BO

Daya (VA)	Jumlah	Daya Terpasang (kVA)
450	7	3,15

900	37	33,3
1300	39	50,7
2200	12	26,4
3500	2	7
4400	4	17,6
5500	3	16,5
6600	3	19,8
7700	1	7,7
10600	1	10,6
11000	2	22
16500	1	16,5
23000	1	23
Total	108	182,15

Jadi, berdasarkan data daya terpasang pelanggan PLN pada GD 630 BO sudah mencapai sebesar 182,15 kVA. Nilai ini melebihi dari kapasitas terpasang transformator existing yaitu 160 kVA. Jika dibiarkan secara terus menerus hal ini akan mengakibatkan terjadinya *overload* yang berdampak cukup serius dalam kontinuitas distribusi energi listrik ke Pelanggan sehingga perlu adanya tindak lanjut dengan cara pemasangan transformator sisipan atau *uprating* transformator agar % pembebanan tidak melebihi 80 %.

4.2.6 Perhitungan Kapasitas Transformator Sisipan GD 630 FD Berdasarkan Kapasitas Daya Terpasang

Sebagai data perencanaan pemasangan transformator sisipan perlu kita ketahui juga untuk kapasitas daya terpasang di lokasi tersebut agar dapat menentukan berapa kapasitas transformator yang akan dipasang. Berikut data daya terpasang pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Tabel Data Kapasitas Daya Terpasang Pelanggan PLN Pada GD 630 FD

Daya PLN (VA)	Jumlah Pelanggan	Daya Terpasang (kVA)
450	5	2,25
900	20	18

1300	18	23,4
2200	4	8,8
3500	1	3,5
4400	2	8,8
5500	1	5,5
7700	1	7,7
Total	53	77,95

Jadi, berdasarkan data daya terpasang di lokasi rencana pemasangan transformator sisipan idealnya harus dipasang transformator sisipan dengan kapasitas sebesar minimal 100 kVA agar tidak *overload* karena daya terpasang sudah mencapai 77,95 kVA tetapi kondisi aktualnya terpasang GD 630 FD dipasang dengan kapasitas 50 kVA dengan mempertimbangkan *cost* dan kondisi dilapangan. Dari hasil pengukuran beban pemakaian GD 630 FD setelah dilakukan pengalihan sebagian beban dari transformator *existing* GD 630 BO didapat hasil % pembebanan sebesar 65,27 % ini berarti dari data daya terpasang belum terpakai sepenuhnya saat dilakukan pengukuran.

4.2.7 Kendala Teknis Dalam Pemasangan Transformator Sisipan

Berdasarkan hasil pengamatan dan pelaksanaan pekerjaan di lapangan, pemasangan transformator sisipan mengalami beberapa kendala teknis. Salah satu kendala yang sering ditemui adalah keterbatasan ruang pemasangan, khususnya pada gardu distribusi yang memiliki ukuran terbatas. Kondisi ini menyulitkan proses penempatan transformator dan peralatan pendukung sehingga diperlukan perencanaan tata letak yang baik sebelum pemasangan dilakukan.

Kendala teknis lainnya adalah kesalahan dalam penyambungan kabel pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator. Kesalahan penyambungan dapat menyebabkan gangguan operasi, penurunan kinerja sistem, serta berpotensi

menimbulkan kerusakan peralatan. Oleh karena itu, pemasangan harus dilakukan sesuai dengan prosedur kerja dan standar teknis yang berlaku.

Selain itu, kondisi isolasi kabel dan komponen pendukung juga menjadi perhatian. Isolasi dapat mengalami penurunan kualitas akibat pengaruh lingkungan seperti kelembapan, debu, dan kotoran, yang dapat menyebabkan terjadinya arus bocor. Sistem pentanahan yang kurang baik juga menjadi kendala, karena nilai resistansi tanah yang tinggi dapat membahayakan keselamatan dan menurunkan keandalan sistem.

Faktor lingkungan seperti suhu tinggi, debu, dan getaran turut memengaruhi kinerja transformator. Untuk memastikan transformator sisipan dapat beroperasi dengan aman dan normal, diperlukan pengujian dan komisioning sebelum dioperasikan, seperti pengujian isolasi dan pengujian pentanahan.

4.2.8 Kendala Non-Teknis Dalam Pemasangan Transformator Sisipan

Selain kendala teknis, pemasangan transformator sisipan juga menghadapi beberapa kendala non-teknis. Salah satu kendala yang sering terjadi adalah kurangnya koordinasi antar pihak yang terlibat, seperti kontraktor, penyedia material, dan pengawas lapangan. Hal ini dapat menyebabkan keterlambatan pekerjaan dan ketidaksesuaian dengan jadwal yang telah direncanakan.

Kendala non-teknis lainnya adalah perizinan, terutama jika pemasangan dilakukan di lokasi yang berada di lahan milik pemerintah atau masyarakat. Proses perizinan yang memerlukan waktu cukup lama dapat menghambat pelaksanaan pekerjaan di lapangan.

Keterbatasan anggaran juga menjadi kendala yang berpengaruh terhadap pemilihan material dan peralatan yang digunakan. Selain itu, faktor sosial seperti keberatan dari masyarakat sekitar akibat kurangnya sosialisasi juga dapat memengaruhi kelancaran pekerjaan.

Faktor cuaca dan kondisi akses menuju lokasi pemasangan turut menjadi kendala non-teknis. Cuaca buruk serta akses jalan yang sulit dapat menghambat pengiriman material dan memperlambat proses pemasangan. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan yang baik, koordinasi yang jelas, dan penyesuaian terhadap kondisi lapangan agar pekerjaan pemasangan transformator sisipan dapat berjalan dengan lancar.

4.2.9 Solusi Untuk Mitigasi Kendala

Dalam menghadapi berbagai kendala yang muncul selama proses pemasangan transformator sisipan, diperlukan penerapan strategi yang tepat guna menjamin kelancaran dan keberhasilan pelaksanaan pekerjaan. Adapun beberapa langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan teknis maupun non-teknis adalah sebagai berikut:

1. **Perencanaan Tata Letak dan Optimalisasi Ruang**

Untuk mengatasi keterbatasan ruang pemasangan, perlu dilakukan survei lokasi secara komprehensif sebelum pekerjaan dimulai. Penyusunan tata letak yang terencana dengan baik, termasuk pemanfaatan perangkat lunak perancangan berbasis 3D, dapat membantu mengoptimalkan ruang yang tersedia serta memastikan kesesuaian dimensi peralatan yang akan dipasang.

2. **Peningkatan Kompetensi dan Pelatihan Tenaga Kerja**

Potensi kesalahan teknis, seperti kekeliruan dalam penyambungan, dapat diminimalkan melalui pemberian pelatihan dan pembekalan teknis kepada tenaga kerja. Dengan memastikan seluruh personel memahami prosedur pemasangan sesuai standar yang berlaku, tingkat keandalan dan keselamatan sistem dapat ditingkatkan.

3. **Pelaksanaan Pengujian dan Komisioning Secara Menyeluruh**

Sebelum transformator dioperasikan, pengujian terhadap sistem isolasi, pentanahan, dan sambungan listrik harus dilakukan secara menyeluruh. Seluruh tahapan pengujian

perlu mengacu pada standar internasional, seperti IEC atau IEEE, guna menjamin keselamatan kerja serta kinerja peralatan yang optimal.

4. Penyempurnaan Sistem Pentanahan

Permasalahan resistansi tanah yang tinggi dapat diatasi dengan melakukan penambahan elektroda pentanahan, penggunaan material dengan konduktivitas yang lebih baik, atau penerapan sistem pentanahan berbentuk grid yang lebih efektif.

5. Pengendalian dan Pengelolaan Kondisi Lingkungan

Dampak lingkungan operasional, seperti debu, kelembapan tinggi, dan suhu ekstrem, dapat diminimalkan dengan memilih transformator yang memiliki tingkat perlindungan (IP) yang sesuai serta dilengkapi dengan sistem pendinginan yang memadai. Langkah ini bertujuan untuk meningkatkan keandalan dan umur pakai transformator.

6. Koordinasi dan Komunikasi Antar Pihak

Dalam mengatasi kendala non-teknis, seperti permasalahan perizinan dan koordinasi antar instansi, diperlukan komunikasi yang efektif dan berkesinambungan. Pembentukan tim manajemen proyek yang solid serta adanya saluran komunikasi yang jelas dapat mengurangi risiko miskomunikasi selama pelaksanaan proyek.

7. Pengelolaan Anggaran Secara Efektif dan Efisien

Keterbatasan anggaran dapat diantisipasi dengan menyusun perencanaan biaya yang realistis serta memastikan pengadaan peralatan dan material sesuai dengan kebutuhan proyek. Manajemen anggaran yang baik juga memungkinkan tersedianya dana cadangan untuk mengatasi kondisi tak terduga di lapangan.

8. Pendekatan dan Sosialisasi kepada Masyarakat Sekitar

Untuk mengurangi potensi penolakan dari masyarakat, diperlukan kegiatan sosialisasi yang transparan terkait manfaat proyek. Selain itu, pelibatan masyarakat lokal dalam beberapa kegiatan, seperti tenaga kerja pendukung atau pengawasan lingkungan, dapat meningkatkan penerimaan terhadap pelaksanaan proyek.

8. Penyusunan Jadwal Kerja yang Adaptif

Kendala yang berkaitan dengan cuaca dan akses lokasi dapat diatasi dengan menyusun jadwal kerja yang fleksibel serta memanfaatkan kondisi cuaca yang mendukung untuk meningkatkan produktivitas. Penyediaan sarana transportasi yang sesuai juga diperlukan guna mengatasi keterbatasan akses menuju lokasi pemasangan.

Dengan penerapan langkah-langkah tersebut secara terpadu, diharapkan proses pemasangan transformator sisipan dapat berlangsung secara lebih efektif, efisien, serta memenuhi standar teknis dan keselamatan yang telah ditetapkan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat pembebanan transformator GD 630 BO sebelum dilakukan pemasangan transformator sisipan dengan hitungan manual mencapai 96,99 %. Setelah penyisipan dilakukan dan di alihkan beban pada jalur B maka nilai pembebanan tersebut menurun menjadi 61,05%, sehingga terjadi pengurangan beban sebesar 35,94 %. Selanjutnya, berdasarkan hasil simulasi pembebanan menggunakan perangkat lunak ETAP, diperoleh nilai pembebanan awal sebesar 88,5%, yang kemudian berkurang menjadi 64,4% setelah penyisipan transformator, dengan penurunan pembebanan sebesar 24,1%. Selain itu hasil analisis pengukuran berdasarkan daya terpasang transformator *existing* GD 630 BO sudah mencapai sebesar 182,15 kVA dalam arti sudah *overload* dan sudah layak untuk dilakukan pemasangan transformator sisipan maupun *uprating* transformator. Di sisi lain dalam penentuan kapasitas transformator sisipan perlu juga memperhatikan daya terpasang yaitu sebesar 77,95 kVA dengan minimal kapasitas transformator sisipan 100 kVA agar tidak terjadi *overload* ketika pemakaian penuh pelanggan terpasang tetapi aktualnya terpasang transformator dengan kapasitas 50 kVA. Meskipun demikian tetap mempertimbangkan factor utama *cost* dan ketersediaan material.
2. Berdasarkan hasil analisis teknis, penentuan letak dan jarak pemasangan trafo sisipan yang efektif dapat dilakukan melalui pendekatan perhitungan rugi daya dan profil tegangan pada jaringan distribusi. Dari perhitungan tersebut, diperoleh jarak optimal pemasangan trafo sisipan yaitu sekitar 403-meter dari trafo eksisting, yang mampu mempertahankan kualitas tegangan dalam batas standar yang diizinkan. Namun demikian, dalam implementasinya penentuan lokasi tidak hanya bergantung pada hasil perhitungan teoritis, melainkan juga memerlukan survei lapangan untuk menilai kondisi aktual di lokasi pemasangan. Faktor-faktor

seperti ketersediaan lahan, aspek perizinan (baik lahan milik pemerintah maupun masyarakat), serta pertimbangan biaya instalasi dan pemeliharaan menjadi elemen krusial yang turut memengaruhi keputusan akhir. Oleh karena itu, strategi penentuan lokasi trafo sisipan yang efektif sebaiknya menggabungkan analisis teknis-electrical dengan kajian non-teknis secara komprehensif, sehingga pemasangan trafo tidak hanya optimal secara kinerja, tetapi juga layak secara operasional dan ekonomis di lapangan.

3. Proses pemasangan transformator sisipan di lapangan menghadapi sejumlah kendala teknis, antara lain keterbatasan ruang pemasangan, potensi kesalahan penyambungan, *degradasi* kualitas isolasi, sistem pentanahan yang belum optimal, serta pengaruh kondisi lingkungan yang ekstrem. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan teknis yang matang, pelaksanaan pengujian secara menyeluruh, serta penerapan standar dan prosedur teknis yang berlaku guna menjamin keandalan, keselamatan, dan efisiensi operasional sistem distribusi tenaga listrik.

5.2 Saran

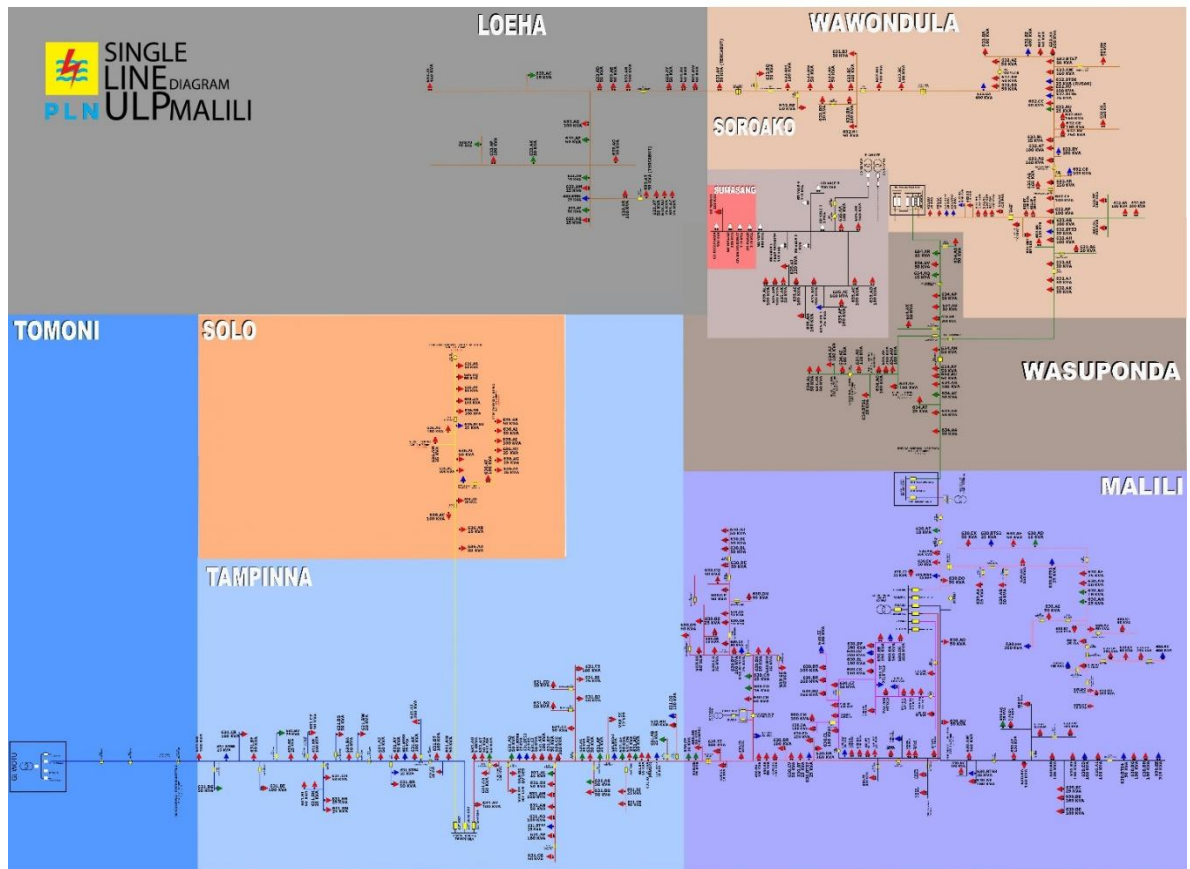
Penentuan kapasitas transformator sisipan sebaiknya tidak hanya didasarkan pada hasil perhitungan teknis semata. Diperlukan pula pelaksanaan survei lapangan serta pertimbangan terhadap proyeksi pertumbuhan dan perkembangan beban pada beberapa tahun mendatang, sehingga kapasitas transformator yang dipilih dapat memberikan kinerja optimal serta manfaat yang berkelanjutan bagi PLN dan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. e. al., "Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jatuh Tegangan Pada Trafo BL 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etap 12.6.0," <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RELE/article/view/3002>, pp. 1-8, 2019.
- [2] "Buku 1: Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik," PT PLN (Persero), Jakarta, 2010.
- [3] "ETAP Power Station User Manual Version 19.0 – Load Flow Analysis and Distribution Systems Application," Operation Technology, Inc., Irvine, 2020.
- [4] "IEC 60076-1: Power Transformers – Part 1: General," International Electrotechnical Commission, Geneva, 2011.
- [5] "IEEE Std 141-1993 (Red Book): IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants," IEEE, New York, 1993.
- [6] "IEEE Std C57.91-2011: IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers and Step-Voltage Regulators," IEEE, New York, 2011.
- [7] "SPLN D3.002-1: Spesifikasi Transformator Distribusi Bagian 1: Transformator Fase Tiga 20 kV–400 V dan Transformator Fase Tunggal 20 kV–231 V dan $20/\sqrt{3}$ kV–231 V," PT PLN (Persero), Jakarta, 2007.
- [8] "SPLN Standar Transformator Distribusi," PT PLN (Persero), Jakarta, 2010.
- [9] -. Al-Farouq, "Analisis Rencana Pemasangan Transformator Distribusi Sisipan pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV di Penyulang Kijing," *Jurnal Teknik Elektro*, 2021.
- [10] A. R. O. Bachtiar, "Konstruksi Gardu Distribusi Tiang dan Bagan Satu Garis," (isi), (isi), 2010.
- [11] J. J. Grainger and W. D. Stevenson, *Power System Analysis*, New York: McGraw-Hill, 1994.

- [12] H. Harahap, "Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 kV Mengurangi Beban Overload dan Jatuh Tegangan Pada Trafo BL 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etab 12.6.0," *RELE: Rekayasa Elektrikal dan Energi*, 2019.
- [13] -. IPM2KPE, "Analisis Penambahan Trafo Sisip Pada Jaringan 20 kV Dalam Meningkatkan Mutu Tegangan," *INTECOM*, 2024.
- [14] A. Kadir, *Distribusi Tenaga Listrik*, Yogyakarta: Andi Offset, 2006.
- [15] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, New York: McGraw-Hill, 1994.
- [16] F. D. Petruzella, *Electric Motors and Control Systems*, New York: McGraw-Hill, 2010.
- [17] R. Prihanto, "Analisis Dampak Overload pada Penyulang Distribusi Listrik dan Solusinya," *Jurnal Teknik Elektro*, 2017.
- [18] H. Saadat, *Power System Analysis*, New York: McGraw-Hill, 2002.
- [19] -. Suhadi, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik Tegangan Menengah dan Rendah*, (isi): (isi), 2008.
- [20] -. Yasa, "Mengatasi Overload Pada Transformator dengan Metode *Uprating*," *Jurnal Keteknikan Elektro*, 2023.
- [21] Z. Zefanya Cergio Halitopo, "Analisis Penambahan Transformator Sisipan Guna Mengatasi Beban Lebih (Overload) Pada Gardu Distribusi di PT. PLN (Persero) ULP Abepura," *Teletronic: Jurnal Teknik Elektro*, 2023.

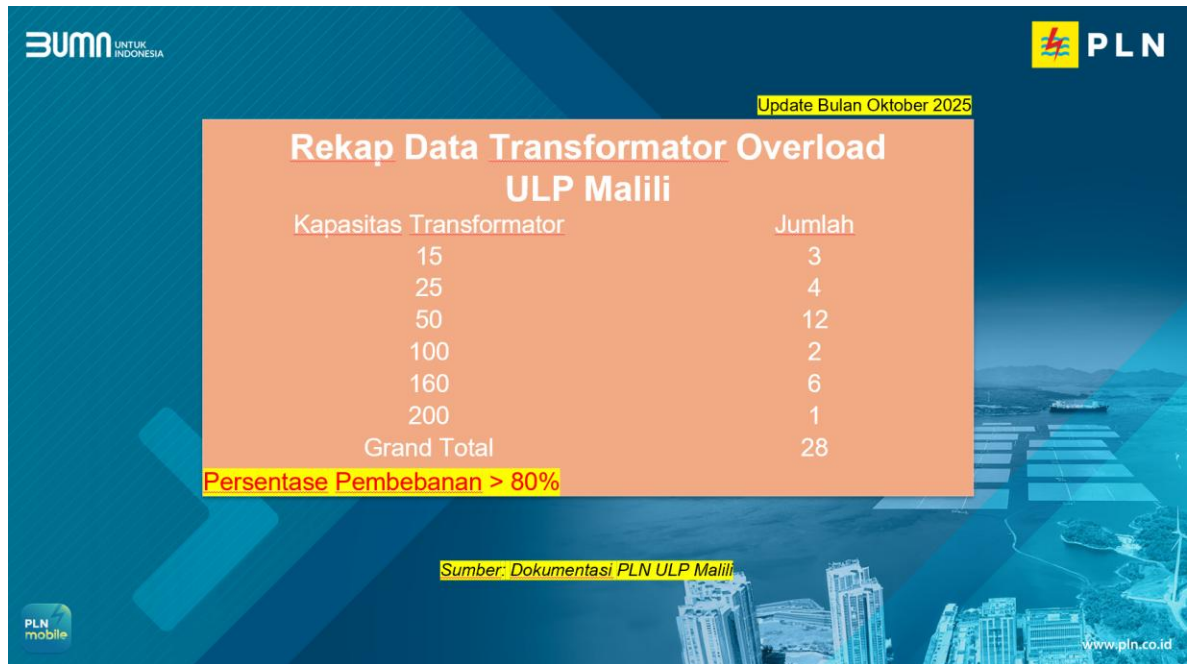
Lampiran 1 Single Line Transformator ULP Malili



Tabel 3. 2 Jadwal Penelitian

No.	Kegiatan	2025												2026											
		Oktober				November				Desember				Januari				Februari				Maret			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Studi Literatur																								
2.	Penyusunan Proposal																								
3.	Penumpukan Proposal																								
4.	Sidang Proposal																								
5.	Pengumpulan Data																								
5.	Pengolahan Data																								
6.	Penyelesaian Laporan																								
7.	Pengumpulan Skripsi																								
8.	Sidang Skripsi																								
9.	Yudisium																								

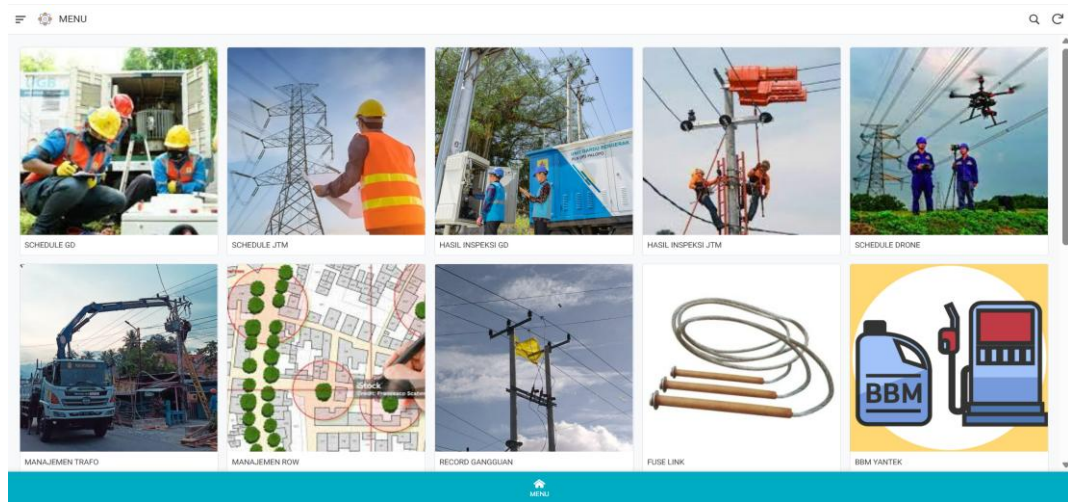
Lampiran 2 Report Transformator Overload ULP Malili



Lampiran 3 Detail Transformator Overload ULP Malili

ULP	NAMA GARDU	KAPASITAS	LONGLAT	FASA	IR	IS	IT	IN	VFN	VFF	PEMBILANG PEMBEBANAN	% PEMBEBANAN	RENCANA PERBAIKAN
MALILI	GD 630.BM	100	-2.616372, 121.104397	3	91	120	89	37	229	395	69,3	69,30%	
MALILI	GD 635.AK	50	-2.523669, 121.362636	3	100	103	103	34	215	374	70,7	141,37%	SISIP TRAF0 11KV 50 KVA
MALILI	GD 634.AG	160	-2.581708, 121.278769	3	201	289	271	126	222	386	175,8	109,87%	
MALILI	GD 631.AW	50	-2.604640, 120.944816	3	76	56	90	45	235	391	51,3	102,56%	
MALILI	GD 634.AN	160	-2.585589, 121.284786	3	276	180	272	126	232	408	168,2	105,11%	
MALILI	GD 634.AQ	15	-2.595844, 121.323433	1	84	0	0	75	226	455	19,4	129,36%	UPRATING TRAF0 KE 3 FASA 50 KVA
MALILI	GD 634.AR	15	-2.600033, 121.340433	1	67	0	0	70	223	0	15,5	103,18%	
MALILI	GD 636.AQ	50	-2.508767, 120.917739	3	116	58	82	59	222	386	59,1	118,27%	
MALILI	GD 631.BN	25	-2.614828, 120.904848	3	45	64	43	43	214	380	35,1	140,45%	SUDAH KELUAR SPBJ MANAGEMENT TRAF0 KE 50 KVA
MALILI	GD 630.BD	160	-2.634289, 121.090758	3	228	118	124	120	222	390	108,6	67,86%	
MALILI	GD 632.AR	160	-2.840255, 121.377450	3	255	266	214	83	228	398	169,8	106,12%	
MALILI	GD 631.AQ	50	-2.599154, 120.976807	1	124	133	0	0	223	470	59,4	118,73%	UPRATING TRAF0 KE 3 FASA 50 KVA
MALILI	GD 631.AH	50	-2.587904, 121.002991	3	75	60	96	48	232	410	53,4	106,72%	
MALILI	GD 631.CF	50	-2.585407, 120.994451	3	49	87	85	43	223	280	51,1	102,10%	
MALILI	GD 636.AD	25	-2.562547, 120.965659	3	75	46	47	54	220	381	38,8	156,23%	SISIP TRAF0 DAN MANAGEMENT
MALILI	GD 631.AB	25	-2.575697, 121.051018	1	70	50	0	0	250	481	27,7	110,88%	
MALILI	GD 636.AD	25	-2.562547, 120.965659	3	92	16	20	58	219	374	29,6	118,27%	
MALILI	GD 633.AX	50	-2.785792, 121.625265	3	4	8	11	5	222	388	5,3	10,63%	
MALILI	GD 634.AE	200	-2.588450, 121.278283	3	280	196	229	101	232	401	162,9	81,43%	
MALILI	GD 631.AF	50	-2.584105, 121.005898	1	109	59	0	0	232	460	38,8	77,62%	
MALILI	GD 636.AD	50	-2.562547, 120.965659	3	82	39	42	54	226	384	37,7	75,31%	UPRATING TRAF0 KE 3 FASA
MALILI	GD 634.AR	15	-2.600033, 121.340433	1	71	0	0	75	220	0	16,4	109,34%	
MALILI	GD 632.AR	160	-2.840255, 121.377450	3	250	250	255	72	223	380	174,4	109,00%	
MALILI	GD 632.AP	100	-2.638953, 121.372158	3	162	199	190	106	223	385	127,3	127,28%	
MALILI	GD 630.AE	50	-2.892933, 121.144467	3	160	45	59	47	234	409	61,0	121,97%	
MALILI	GD 631.AN	50	-2.601595, 120.990752	3	47	77	126	2	224	392	57,8	115,50%	
MALILI	GD 630.CZ	50	-2.612775, 121.118075	3	54	88	79	39	236	406	51,1	102,10%	
MALILI	GD 630.BO	160	-2.61139, 121.1100	3	198	241	232	100	244	417	155,0	96,88%	

Lampiran 4 Aplikasi Pendukung Via Appsheet



Lampiran 5 Transformator Sisipan GD 630 FD



Lampiran 6 Lokasi Penelitian PT PLN (Persero) ULP Malili



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama Mahasiswa : Ivan Saputra
Program Studi : D-III Teknologi Listrik
NIM : 202371607
Tempat, tanggal lahir : Klaten, 10 September 1998
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
No HP : 082292773558
Email : ivansaputra1933@gmail.com / ivan2371607@itpln.ac.id
Alamat Rumah : BTN Kanza JL Boulevard LR SMA 10, Kel Mokoau, Kec Kambu Kota Kendari Prov. Sulawesi Tenggara

Pendidikan
SD : SDN Pandes Tahun Lulus 2010
SMP : SMPN 2 Wedi Tahun Lulus 2013
SMA : SMAN 3 Klaten Tahun Lulus 2016
Diploma III : -
Sarjana : -

Demikianlah daftar riwayat hidup ini dibuat dengan sebenarnya.

Jakarta, 25 Januari 2026



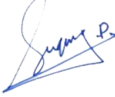
Ivan Saputra



INSTITUT TEKNOLOGI-PLN
INSTITUT TEKNOLOGI PLN

LEMBAR BIMBINGAN PROYEK AKHIR

Nama : Ivan Saputra
NIM : 202371607
Program Studi : DIII-Teknologi Listrik
Fakultas : Sekolah Vokasi
Judul Proyek Akhir : ANALISIS PEMASANGAN TRANSFORMATOR
DISTRIBUSI 20 KV SISIPAN PADA PENYULANG TRANS SEBAGAI UPAYA
PENANGGULANGAN *OVERLOAD* DI PT PLN (PERSERO) ULP MALILI.

No.	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Pembimbing
1	3 November 2025	Konsultasi Judul Tugas Akhir	
2	10 November 2025	Konsultasi Penulisan Tugas Akhir yang tepat	
3	17 November 2025	Koreksi Bab 1 – 3	
4	23 November 2025	Pelaksanaan Sidang Proposal	

5	24 November 2025	Revisi Sidang Proposal	
6	01 Desember 2025	Konsultasi Bab 4	
7	08 Desember 2025	Konsultasi Bab 5	
8	15 Desember 2025	Koreksi Bab 4 dan 5 dan Revisi Penulisan	
9	21 – 23 Januari 2026	Permantapan Materi dan Koreksi Bab 1 sampai 5	

Formulir 6

	INSTITUT TEKNOLOGI PLN	Kode	FO-PD-A03-2-003-3-012
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG TUGAS AKHIR	Level	2
		Revisi ke-	3

PERBAIKAN NASKAH TUGAS AKHIR

Tanggal ujian sidang : **23 Februari 2026**
 Nama mahasiswa : **Ivan Saputra**
 NIM : **202371607**
 Program Studi : **D-III Teknologi Listrik**
 Sekolah : **Sekolah Vokasi**
 Judul Tugas Akhir : **Analisis Pemasangan Transformator Distribusi 20 Kv Sisipan Pada Penyulang Trans Sebagai Upaya Penanggulangan Overload Di Pt Pln (Persero) Ulu Malili**
 Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut:

6format-format penulisan di sesuaikan pada laporan

flowchart

kesimpulan

Jangka waktu perbaikan naskah tugas akhir diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal

27 Februari 2026

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI tugas akhirnya**, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang.

Mahasiswa


Ivan Saputra

Ketua Penguji



**Muchamad Nur Qosim, S.T.,
M.T.**

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal **25 Februari 2026**

Mahasiswa


Ivan Saputra

Ketua Penguji


**Muchamad Nur Qosim, S.T.,
M.T.**

Formulir 7

	INSTITUT TEKNOLOGI PLN	Kode	FO-PD-A03-2-003-3-012
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG TUGAS AKHIR	Level	2
		Revisi ke-	3

PERBAIKAN NASKAH TUGAS AKHIR

Tanggal ujian sidang : **23 Februari 2026**
 Nama mahasiswa : **Ivan Saputra**
 NIM : **202371607**
 Program Studi : **D-III Teknologi Listrik**
 Sekolah : **Sekolah Vokasi**
 Judul Tugas Akhir : **Analisis Pemasangan Transformator Distribusi 20 Kv Sisipan Pada Penyulang Trans Sebagai Upaya Penanggulangan Overload Di Pt Pln (Persero) Ulp Malili**

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut:

Hitung kapasitas trafo berdasarkan daya terpasang

Hasil penelitian harus masuk di abstrak

Daftar Isi dirapikan

Penelitian relevan-->2.1; Landasan Teori -->2.2

Lihat buku laporan TA

Jangka waktu perbaikan naskah tugas akhir diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal

27 Februari 2026

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI tugas akhirnya**, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang.

Mahasiswa



Ivan Saputra

Anggota Penguji



Ir. Ibnu Hajar, S.T., M.Sc., IPU.

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal **25 Februari 2026**

Mahasiswa



Ivan Saputra

Anggota Penguji

Ibnu Hajar

Digitally signed by Ibnu Hajar
 DN: cn=Ibnu Hajar, o=IT PLN,
 ou,
 email=ibnu.hajar@itpln.ac.id,
 c=ID
 Date: 2026.02.25 09:42:33
 +07'00'

Ir. Ibnu Hajar, S.T., M.Sc., IPU.

Formulir 8

	INSTITUT TEKNOLOGI PLN	Kode	FO-PD-A03-2-003-3-012
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG TUGAS AKHIR	Level	2
		Revisi ke-	3

PERBAIKAN NASKAH TUGAS AKHIR

Tanggal ujian sidang : **23 Februari 2026**
 Nama mahasiswa : **Ivan Saputra**
 NIM : **202371607**
 Program Studi : **D-III Teknologi Listrik**
 Sekolah : **Sekolah Vokasi**
 Judul Tugas Akhir : **Analisis Pemasangan Transformator Distribusi 20 Kv Sisipan Pada Penyulang Trans Sebagai Upaya Penanggulangan Overload Di Pt Pln (Persero) Ulp Malili**

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut:

Jangka waktu perbaikan naskah tugas akhir diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal

27 Februari 2026

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI tugas akhirnya**, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang.

Mahasiswa

 Ivan Saputra

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal **25 Februari 2026**

Dosen Pembimbing

 Sugeng Purwanto, S.T.,
 M.Sc.

Mahasiswa

 Ivan Saputra

Dosen Pembimbing

 Sugeng Purwanto, S.T.,
 M.Sc.

Formulir 9

	INSTITUT TEKNOLOGI PLN	Kode	FO-PD-A03-2-003-3-011
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG TUGAS AKHIR	Level	2
		Revisi ke-	3

RINGKASAN PERBAIKAN NASKAH TUGAS AKHIR

Tanggal ujian sidang : **23 Februari 2026**
 Nama mahasiswa : **Ivan Saputra**
 NIM : **202371607**
 Program Studi : **D-III Teknologi Listrik**
 Sekolah : **Sekolah Vokasi**
 Judul Tugas Akhir : **Analisis Pemasangan Transformator Distribusi 20 Kv Sisipan Pada Penyulang Trans Sebagai Upaya Penanggulangan Overload Di Pt Pln (Persero) Ulp Malili**

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut:

Kerjakan sesuai dengan koreksi dan refisian dari para penguji

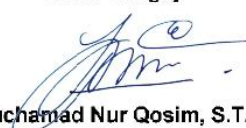
Jangka waktu perbaikan naskah tugas akhir diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal

27 Februari 2026

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI tugas akhirnya**, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang.

Mahasiswa  Ivan Saputra	Dosen Pembimbing  Sugeng Purwanto, S.T., M.Sc.	Ketua Penguji  Muchamad Nur Qosim, S.T., M.T.
--	---	--

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal **25 Februari 2026**

Mahasiswa  Ivan Saputra	Dosen Pembimbing  Sugeng Purwanto, S.T., M.Sc.	Ketua Penguji  Muchamad Nur Qosim, S.T., M.T.
--	---	--