

**ANALISIS PEMBANGUNAN GARDU SISIPAN NBR 287 UNTUK
MENGATASI TRANSFORMATOR *OVERLOAD* PADA PENYULANG
PINUS DI PT PLN (PERSERO) ULP NABIRE KOTA**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT MEMPEROLEH
GELAR SARJANA STRATA SATU (S1) PADA PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG



DISUSUN OLEH:

**ERINE PUSPITA SARI
NIM: 30602300054**

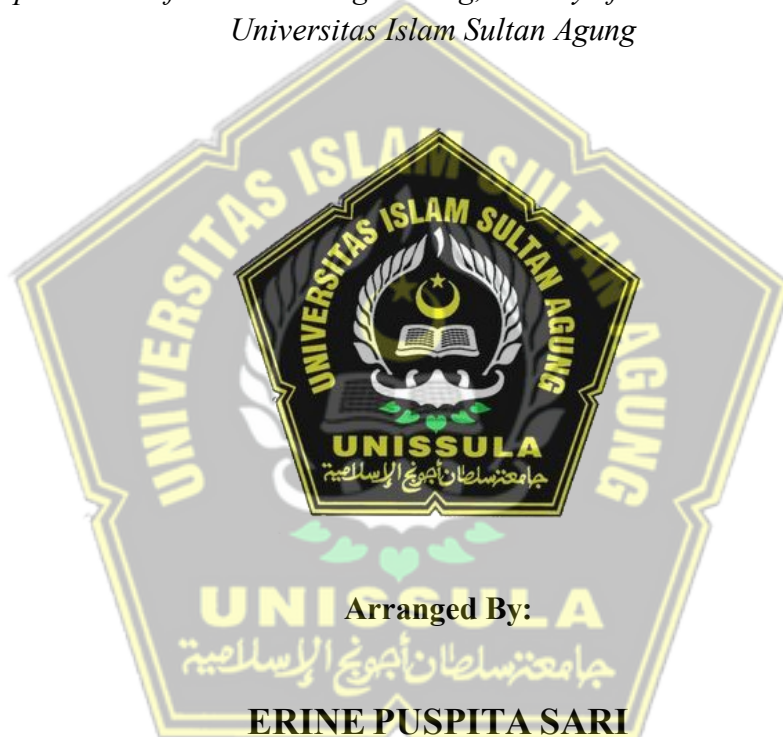
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

**SEMARANG
2025**

FINAL PROJECT

***ANALYSIS OF THE INSTALLATION OF NBR 287
ADDITIONAL DISTRIBUTION SUBSTATION TO MITIGATE
TRANSFORMER OVERLOAD ON THE PINUS FEEDER AT PT
PLN (PERSERO) ULP NABIRE KOTA***

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1)
at Departement of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Universitas Islam Sultan Agung*



Arranged By:

ERINE PUSPITA SARI

NIM: 30602300054

**MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2025**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PEMBANGUNAN GARDU SISIPAN NBR 287 UNTUK MENGATASI TRANSFORMATOR OVERLOAD PADA PENYULANG PINUS DI PT PLN (PERSERO) ULP NABIRE KOTA” ini disusun oleh:

Nama : Erine Puspita Sari
NIM : 30602300054
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh Dosen Pembimbing pada:

Hari : Jum'at
Tanggal : 29 Agustus 2025

Pembimbing



Ir. Ida Widiastuti, M.T.
NIDN. 0005036501

Mengetahui,



 010925
Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.
NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PEMBANGUNAN GARDU SISIPAN NBR 287 UNTUK MENGATASI TRANSFORMATOR OVERLOAD PADA PENYULANG PINUS DI PT PLN (PERSERO) ULP NABIRE KOTA” ini telah dipertahankan di depan Dosen Penguji Tugas Akhir pada:

Hari : Jum'at

Tanggal : 29 Agustus 2025

Ketua Penguji

Tanda Tangan

Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T., IPM.

NIDN. 0628086501

Penguji 1

Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Arttini Dwi P., M.Si.

NIDN. 0620026501

Penguji 2

Ir. Ida Widiastuti, M.T.

NIDN. 0005036501

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Erine Puspita Sari
NIM : 30602300054
Judul Tugas Akhir : ANALISIS PEMBANGUNAN GARDU SISIPAN
NBR 287 UNTUK MENGATASI
TRANSFORMATOR OVERLOAD PADA
PENYULANG PINUS DI PT PLN (PERSERO) ULP
NABIRE KOTA

Dengan bahwa ini saya menyatakan bahwa judul da isi Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, dan apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, Kamis 07 Agustus 2025

معن سلطان أبجوي الإسلامية Yang Menyatakan,



Erine Puspita Sari

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

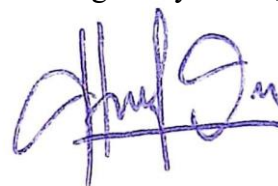
Nama : Erine Puspita Sari
NIM : 30602300054
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul:
**ANALISIS PEMBANGUNAN GARDU SISIPAN NBR 287 UNTUK
MENGATASI TRANSFORMATOR OVERLOAD PADA PENYULANG
PINUS DI PT PLN (PERSERO) ULP NABIRE KOTA**

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan diinternet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan agung.

Semarang, Kamis, 07 Agustus 2025

Yang Menyatakan,



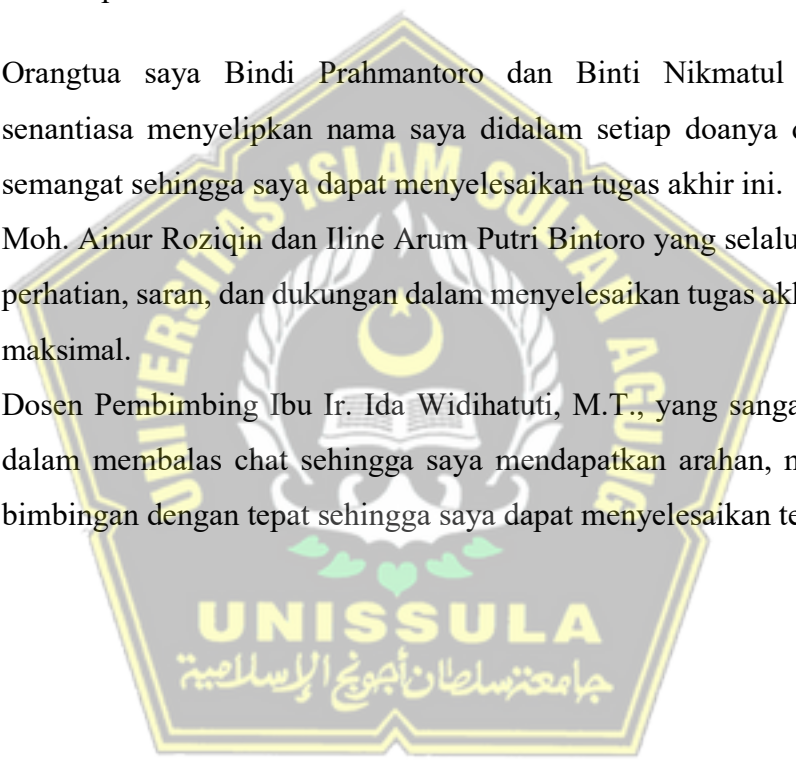
Erine Puspita Sari

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puja dan puji syukur kepada Allah SWT atas nikmat iman, sehat, serta akal yang diberikan kepada saya. Sholawat serta salam semoga senantiasa terlimpah curahkan kepada Baginda Rasulullah Muhammad SAW, semoga kita diberikan keberkahan dan memperoleh syafa'at Beliau di Yaumul Akhir.

Dengan diselesaikannya Tugas Akhir ini, penulis mempersembahkan ucapan terima kasih kepada:

1. Orangtua saya Bindi Prahmantoro dan Binti Nikmatul Janah yang senantiasa menyelipkan nama saya didalam setiap doanya dan memberi semangat sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Moh. Ainur Roziqin dan Iline Arum Putri Bintoro yang selalu memberikan perhatian, saran, dan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan maksimal.
3. Dosen Pembimbing Ibu Ir. Ida Widihatuti, M.T., yang sangat fast respon dalam membalas chat sehingga saya mendapatkan arahan, masukan, dan bimbingan dengan tepat sehingga saya dapat menyelesaikan tepat waktu.



HALAMAN MOTTO

“Tidak ada pencapaian yang lahir dari kemalasan. Setiap tetes keringat, setiap waktu yang terbuang untuk belajar, dan setiap kegagalan yang dihadapi, adalah batu bata yang membangun jalan menuju keberhasilan.”



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji bagi Allah SWT atas hidayah, berkah, serta rahmat -Nya sehingga kami mampu menuntaskan Laporan Akhir dengan judul **“ANALISIS PEMBANGUNAN GARDU SISIPAN NBR 287 UNTUK MENGATASI TRANSFORMATOR OVERLOAD PADA PENYULANG PINUS DI PT PLN (PERSERO) ULP NABIRE KOTA”** sebagai persyaratan untuk mendapatkan gelar Strata I Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung.

Pada penyusunan Laporan Akhir ini, kami mendapatkan bantuan berupa bimbingan, pengarahan, dan motivasi dari banyak pihak baik secara moral maupun spiritual. Dengan demikian, kami mengungkapkan terimakasih terhadap:

1. Ibu Jenny Putri Hapsary, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung.
2. Ibu Ir. Ida Widiastuti, M.T., selaku dosen Pembimbing yang telah mengarahkan, memberi masukan dan membimbing pada penyusunan tugas akhir hingga selesai.
3. Semua pihak yang terlibat dan berperan besar dalam penyusunan tugas akhir ini yang tidak dapat saya sebut satu persatu.

Penulis sadar bahwasanya laporan akhir ini masih memiliki kekurangan yang tak terhindarkan, disebabkan oleh keterbatasan pengalaman dan wawasan penulis. Oleh karenanya, penulis berharap akan saran ataupun kritik yang konstruktif dari para pembaca. Penulis juga memohon maaf bilamana didapati perkataan atau isi tulisan yang kurang berkenan di hati para pembaca. Semoga laporan ini bisa menghadirkan manfaat, termasuk untuk penulis khususnya maupun bagi para pembaca pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
HALAMAN MOTTO	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan.....	4
1.4. Batasan Masalah	4
BAB II.....	6
2.1. Penelitian Terdahulu.....	6
2.2. Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik	8
2.3. Transformator Distribusi	8
2.4. Satuan KVA dalam Transformator Distribusi	9
2.5. Pembebanan Transformator.....	10
2.6. Manajemen Transformator	11
2.7. Transformator Sisipan	12
2.8. Perencanaan Tata Letak Gardu Distribusi Sisipan.....	13
2.9. Pemasangan Trafo Sisipan Paralel	13
2.10. Teknis Perhitungan	14
2.11. Rugi Tegangan.....	16

2.12. Pengaruh Transformator Sisipan terhadap Beban Lebih dan Kualitas Tegangan	17
BAB III.....	18
3.1. Lokasi dan Waktu Pelaksanaan Penelitian	18
3.2. Prosedur Penelitian	18
3.2.1. Metode Interview	18
3.2.2. Metode Observasi	18
3.2.3. Metode Literatur	18
3.2.4. Metode Analisa.....	19
3.2.5. Metode Konsultasi	19
3.2.6. Kerangka konseptual rancangan	20
3.2.7. Analisis Data.....	21
BAB IV.....	22
4.1. Single Line Diagram Penyulang Pinus.....	22
4.2. Gardu Distribusi NBR 062 Sebelum Dipasang Transformator Sisipan.....	23
4.2.1. Spesifikasi Teknis Transformator pada Gardu Distribusi NBR 062 24	
4.2.2. Data Pengukuran Gardu NBR 062 Sebelum Penambahan Gardu Sisipan NBR 284 (Pengukuran WBP)	25
4.2.3. Perhitungan Drop Tegangan	26
4.3. Gardu Distribusi Sisipan NBR 287.....	27
4.3.1. Perencanaan Tata Letak Gardu Distribusi Sisipan NBR 287	29
4.3.2. Perhitungan Kapasitas Transformator Gardu Sisipan.....	30
4.3.3. Data Pembebanan Transformator Sisipan NBR 287	31
4.4. Perhitungan Setelah Pemasangan Gardu Sisipan.....	32
BAB V	36
5.1. Kesimpulan.....	36
5.2. Saran.....	36
DAFTAR PUSTAKA.....	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Penelitian Terdahulu.....	7
Tabel 4. 1. Hasil Pengukuran Beban NBR 062	25
Tabel 4. 2. Hasil Perhitungan Beban NBR 062.....	26
Tabel 4. 3. Hasil Perhitungan Drop Tegangan Gradus Distribusi NBR 026	26
Tabel 4. 4. Hasil Pengukuran Beban Gardu Sisipan NBR 287	31
Tabel 4. 5. Hasil Pengukuran Beban NBR 062 Setelah Dipasang Gardu Sisipan	32
Tabel 4. 6. Hasil Perhitungan Drop Tegangan Gradus Distribusi NBR 062 Setelah Dipasang Gardu Sisipan.....	34



DAFTAR GAMBAR

Gambar 4. 1. Single Line Diagram Penyulang Pinus ULP Nabire Kota	22
Gambar 4. 2. Foto Gardu Distribusi NBR 062	24
Gambar 4. 3. Foto Nameplate Transformator Gardu Distribusi NBR 062.....	25
Gambar 4. 4. Foto Gardu Distribusi Sisipan NBR 287	28
Gambar 4. 5. Denah Rencana Pemasangan Gardu Distribusi Sisipan NBR 287 ...	29
Gambar 4. 6. Foto Nameplate Transformator Gardu Sisipan NBR 287.....	31
Gambar 4. 7. Grafik Persentase Pembebanan Transformator NBR 062 Sebelum dan Sesudah Dipasang Gardu Sisipan.....	33
Gambar 4. 8. Grafik Perbandingan Beban Transformator NBR 062 Sebelum dan Sesudah Dipasang Gardu Sisipan.....	33
Gambar 4. 9. Grafik Perbandingan Persentase Drop Tegangan Transformator NBR 062 Sebelum dan Sesudah Dipasang Gardu Sisipan	34



ABSTRAK

Pesatnya pertumbuhan penduduk di Kabupaten Nabire menyebabkan peningkatan kebutuhan energi listrik, sehingga berdampak pada beban transformator distribusi, khususnya pada Penyulang Pinus di PT PLN (Persero) ULP Nabire Kota. Transformator pada Gardu Distribusi NBR 062 mengalami kondisi overload dengan beban mencapai 90,98% dari kapasitas 250 kVA. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis solusi efektif guna mengurangi beban berlebih melalui pemasangan gardu sisipan NBR 287. Metode penelitian yang digunakan meliputi observasi lapangan, wawancara, studi literatur, serta perhitungan teknis kelistrikan. Hasil analisis menunjukkan bahwa setelah pemasangan gardu sisipan berkapasitas 100 kVA, persentase pembebanan pada gardu NBR 062 menurun menjadi 71,41%. Selain itu, drop tegangan pada sisi pelanggan juga turun dari 13,3% menjadi 4,7%, sesuai dengan batas toleransi standar PLN. Dengan demikian, pemasangan gardu sisipan terbukti mampu meningkatkan keandalan sistem distribusi dan kualitas tegangan, serta menjadi solusi efektif dalam menangani beban lebih pada jaringan distribusi.

Kata kunci: transformator overload, gardu sisipan, drop tegangan.

ABSTRACT

The rapid population growth in Nabire Regency has led to increased electricity demand, impacting the load on distribution transformers, particularly on the Pinus Feeder at PT PLN (Persero) ULP Nabire Kota. The transformer at Distribution Substation NBR 062 experienced an overload condition with a load reaching 90.98% of its 250 kVA capacity. This study aims to analyze an effective solution to reduce the excessive load by installing an additional substation (NBR 287). The research methods include field observation, interviews, literature review, and technical electrical calculations. The results show that after installing a 100 kVA support transformer, the load percentage on NBR 062 decreased to 71.41%. Additionally, the voltage drop on the customer side decreased from 13.3% to 4.7%, meeting PLN's standard tolerance limits. Therefore, the installation of the additional substation proved effective in improving the reliability of the distribution system and voltage quality, and serves as a practical solution for addressing overload issues in distribution networks.

Keywords: *transformer overload, additional substation, voltage drop.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pesatnya pertumbuhan jumlah penduduk di Kabupaten Nabire, Provinsi Papua Tengah menyebabkan meningkatnya kebutuhan energi listrik. Sumber daya yang paling mendesak saat ini dalam kebutuhan Masyarakat yakni sumber daya Listrik. Dalam penyaluran listrik hingga ke tangan konsumen atau masyarakat, kerap muncul berbagai gangguan yang mengganggu kelancaran penyaluran energi listrik. Salah satu jenis gangguan yang muncul adalah penggunaan trafo distribusi yang melampaui kapasitas maksimumnya yang sering disebut dengan trafo *overload*. Trafo dikatakan *overload* ketika pemakaian dayanya melebihi 80% dari kapasitas maksimalnya (Sudiarta, Sutawinaya, Ta, & Firman, 2017). Jika keadaan ini berlangsung secara terus-menerus, isolasi pada trafo akan rusak karena panas berlebih karena pemakaian yang dapat menyebabkan kerusakan pada trafo itu sendiri. Selain itu, penurunan tegangan juga bisa disebabkan oleh transformator distribusi yang bekerja melebihi kapasitas atau biasa disebut dengan *drop* tegangan (Adam & Prabowo, 2019). Hal tersebut harus diselesaikan dengan menyeimbangkan aliran beban dan meningkatkan stabilitas transien dalam sebuah jaringan yang terjadi *overload*. Untuk memenuhi standar sistem tenaga Listrik harus memiliki proteksi dan peralatan yang handal (Akbar & Wrahatnolo, 2023).

Jika transformator mengalami beban berlebih atau *overload*, maka akan menyebabkan beberapa kerugian, seperti terhambatnya distribusi energi listrik. Hal ini terjadi karena usia transformator akan berkurang dan transformator dapat rusak karena panas berlebihan. Pada akhirnya, perbaikan yang diperlukan dapat mengganggu penyaluran daya listrik ke konsumen.

Sebaliknya, jika transformator memiliki kapasitas besar namun pembebanannya rendah, hal tersebut juga dapat mempengaruhi kinerjanya, akibatnya, PT PLN (Persero) akan menanggung kerugian secara ekonomi. Transformator yang terpasang mengalami beban melebihi batas dari daya yang disarankan atau *overload* yaitu mencapai atau lebih 80% dari kapasitasnya. Hal ini melampaui kapasitas beban maksimal berdasarkan pedoman yang terdapat pada SPLN 50/1982 dan D3.002-1:2007, yang memberikan batasan bahwa penggunaan transformator secara terus-menerus tidak boleh melampaui 80% dari kapasitas daya normalnya. Selain itu, SPLN 50/1997 tahun 1997 menjelaskan bahwa masalah beban berlebih pada transformator distribusi dapat diatasi menggunakan metode seperti pemasangan gardu distribusi tambahan, penyesuaian beban antar trafo, atau pemindahan unit transformator (Marsudi, 2006). Pembebanan pada transformator distribusi didasarkan pada ketentuan teknis PLN (SPLN) yang menjadi pedoman dalam pengoperasian dan perawatannya. Menurut standar operasional PLN dalam SPLN No. 1 Tahun 1995, salah satu syarat agar sistem tetap andal, transformator tidak boleh dibebani melebihi 80% dari kapasitas normalnya. Di samping itu, batas toleransi penurunan tegangan di sisi pelanggan harus berada dalam rentang +5% hingga -10% dari tegangan standar. Untuk mencegah potensi gangguan atau kerusakan pada transformator distribusi, PT PLN (Persero) mengambil langkah dengan memasang gardu sisipan. Kehadiran gardu sisipan ini diharapkan mampu meningkatkan kualitas distribusi energi listrik dan memberikan pelayanan yang lebih optimal kepada pelanggan.

PLN ULP Nabire Kota merupakan unit bagian yang bertugas dalam mendistribusikan listrik, dengan melayani dan menyalurkan energi listrik kepada konsumen dilakukan dari jaringan tegangan menengah 20 kV hingga mencapai tegangan rendah 400/230 V. ULP Nabire Kota memiliki 10 penyulang yang menerima pasokan listrik dari Gardu Hubung Kota (Delta 10) dan Gardu Hubung Kalibobo (Delta 20), salah satunya adalah Penyulang Pinus. Penyulang Pinus merupakan penyulang terpanjang di ULP Nabire

Kota, dengan panjang jaringan mencapai 141,18 kms. Penyulang ini menyuplai listrik ke arah barat Kabupaten Nabire dan memiliki 52 unit gardu distribusi. Berdasarkan Surat Edaran Direksi PT PLN (Persero) No. 0017/2014 tahun 2014, diketahui bahwa kapasitas kerja transformator dalam menerima beban antara 80% hingga <100% melebihi kapasitas transformator sehingga tergolong dalam kondisi *overload*. Mengacu pada standar yang berlaku, dari total 52 unit transformator pada Penyulang Pinus, ditemukan 1 transformator yang berada dalam kondisi kelebihan beban (*overload*), yaitu transformator pada gardu distribusi NBR 062 dengan pembebanan sebesar 90,98% dari kapasitas transformator sebesar 250 kVA.

Terdapat beberapa metode untuk mengatasi kondisi *overload* pada transformator, antara lain dengan melakukan peningkatan kapasitas daya (*uprating*), pemindahan atau mutasi transformator, pembagian beban jaringan tegangan rendah (JTR), serta pemasangan transformator sisipan sebagai pendukung distribusi. Berdasarkan Surat Keputusan General Manager PT PLN (Persero) UID Jatim No. 0026.K Tahun 2021, kapasitas maksimal transformator distribusi tipe outdoor ditetapkan sebesar 250 kVA, sehingga peningkatan kapasitas daya (*uprating*) tidak dapat dilakukan. Alternatif kedua, yaitu pemecahan beban JTR, juga tidak dapat dilakukan karena beban yang harus dipindahkan terlalu besar, khususnya pada transformator NBR 062. Selain itu, transformator di sekitar area tersebut telah terisi lebih dari 60% kapasitasnya. Oleh sebab itu, solusi yang paling efektif untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan melakukan pemasangan transformator sisipan.

Sistem Jaringan Distribusi PLN Nabire Kota memiliki 13 penyulang, terdiri dari 3 jaringan *express*, 9 penyulang yang *grid* dalam 1 sistem, dan 1 penyulang (Kenanga) diluar sistem atau *off grid*. Berdasarkan data asset penyulang PLN ULP Nabire Kota, dapat diketahui bahwa Penyulang Pinus memiliki panjang 141,18 kms yang merupakan penyulang dengan jaringan terpanjang.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis melakukan analisis terhadap pembangunan gardu sisipan, khususnya pada Penyulang Pinus di PLN ULP Nabire Kota.

1.2. Perumusan Masalah

Dengan mempertimbangkan fokus pembahasan dalam judul, maka perumusan masalah Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa persentase pembebanan pada Gardu Distribusi NBR 062 saat sebelum dan sesudah dipasang gardu sisipan?
2. Bagaimana pengaruh pemasangan Gardu Sisipan NBR 287 terhadap pengurangan beban pada transformator yang mengalami *overload*?

1.3. Tujuan

Penulisan Tugas Akhir ini bertujuan untuk mencapai hal-hal berikut:

1. Mengetahui besarnya persentase beban yang terjadi pada transformator Gardu Distribusi NBR 062 sebelum dan sesudah dipasang Gardu Distribusi Sisipan dengan merencanakan penambahan Gardu Sisipan NBR 287 pada Penyulang Pinus.
2. Mengetahui pengaruh pemasangan gardu sisipan NBR 287 terhadap pengurangan beban pada transformator yang mengalami *overload*.

1.4. Batasan Masalah

Untuk memastikan penelitian ini tetap berada dalam koridor yang sesuai, maka batasan-batasan berikut ditetapkan dalam Tugas Akhir ini:

1. Membahas upaya yang dilakukan untuk transformator *overload* pada Gardu Distribusi NBR 062 di Penyulang Pinus, ULP Nabire Kota.
2. Membahas besar presentase pembebanan pada transformator Gardu Distribusi NBR 062 sebelum dan sesudah pemasangan Gardu Distribusi Sisipan NBR 287.

3. Membahas pengaruh pemasangan gardu sisipan NBR 287 terhadap pengurangan beban pada transformator yang mengalami *overload*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya dapat digunakan sebagai acuan dan tolak ukur dalam menganalisis permasalahan yang sama, terutama yang berkaitan dengan peningkatan kualitas tegangan dan pengurangan beban berlebih pada jaringan distribusi listrik. Pada tabel 1.1 berikut ini merupakan tampilan ringkasan dari beberapa penelitian sebelumnya yang relevan, termasuk deskripsi singkat, metode yang diterapkan, serta hasil yang diperoleh.

Penelitian terkait transformator sisipan telah banyak dilakukan sebagai alternatif penyelesaian masalah kelebihan beban dan penurunan tegangan pada sistem distribusi. Studi yang dilakukan oleh Hermawan dkk. (2023) pada penyulang Lamhotma menunjukkan bahwa pemasangan transformator sisipan berhasil menurunkan tingkat pembebanan dari 90% menjadi 64% serta meningkatkan kualitas tegangan di sisi pelanggan. Temuan tersebut membuktikan bahwa penggunaan trafo sisipan efektif dalam membagi arus secara lebih seimbang sehingga transformator utama tidak lagi beroperasi melebihi kapasitas yang seharusnya.

Berdasarkan hasil sejumlah penelitian, penggunaan transformator sisipan dinyatakan efektif sebagai solusi teknis dalam mengatasi masalah beban berlebih sekaligus meningkatkan mutu tegangan pada jaringan distribusi. Kajian terdahulu juga menekankan bahwa penentuan lokasi dan kapasitas trafo sisipan perlu dilakukan melalui analisis beban, evaluasi profil tegangan, serta prediksi pertumbuhan kebutuhan listrik, sehingga implementasinya dapat menghasilkan kinerja optimal sesuai standar keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

Tabel 2. 1. Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Tahun	Deskripsi	Metode	Hasil
1.	“Perencanaan Pemasangan Gardu Sisip P117 di PT PLN (Persero) Area Bangka” (Lisma & Hakimah, Y., 2013)	2013	Mengatasi drop tegangan pada jurusan 1 Gardu P117 di Area Bangka dengan merancang pemasangan gardu sisip pada tiang P117D30.	Data pengukuran, perhitungan, dan analisis.	Tegangan pada ujung jaringan bertambah dan regulasi tegangan turun secara drastis hingga mencapai standar yang ditentukan.
2.	“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 Etap 12.6.0” (Harahap, P., dkk., 2019)	2019	Mengurangi beban lebih dan jatuh tegangan pada trafo distribusi BL11 di Rayon Tanah Jawa dengan menambahkan trafo sisip.	Data pengukuran dan simulasi ETAP 12.6.0.	Beban pada trafo turun, tegangan pada ujung jaringan bertambah, dan rugi-rugi daya turun yang sesuai dengan standar PLN.
3.	“Mengatasi Beban Lebih Transformator Gardu Distribusi dengan Menggunakan Trafo Sisip di PT PLN (Persero) ULP Langsa Kota” (Muhammad dkk., 2022)	2022	Mengatasi beban lebih pada trafo TC-7 ULP Langsa Kota dengan pemasangan trafo sisip.	Data pengukuran dan simulasi ETAP 12.6.0.	Beban pada trafo turun dan drop tegangan berkurang yang sudah sesuai dengan standar PLN.
4.	“Analisis Penambahan Trafo Sisip pada Jaringan 20 kV dalam Meningkatkan Mutu Tegangan” (Rahma, E., dkk., 2024)	2024	mengatasi drop tegangan dan beban lebih pada trafo PR 072 di Dusun Nangka dengan penambahan trafo sisip agar mutu tegangan sesuai standar.	Data pengukuran, perhitungan, dan analisis.	Drop tegangan dan pembebanan pada trafo turun sesuai dengan standar PLN.

2.2. Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

PT PLN (Persero) memiliki beberapa jenis sektor pelanggan diantaranya yaitu pelanggan rumah tangga, bisnis, industri, dan pemerintahan. Keandalan sistem distribusi listrik mengacu pada kemampuan sistem tersebut untuk dapat memberikan suplai listrik kepada pelanggan secara stabil dan terus-menerus dengan gangguan seminimal mungkin. Keandalan ini sangat penting untuk memastikan bahwa energi listrik dapat tersedia secara terus-menerus tanpa adanya gangguan.

Keandalan sistem distribusi listrik tergantung pada beberapa faktor, salah satunya adalah kemampuan dalam mendistribusikan atau menyuplai energi listrik secara efisien. Jika suplai energi listrik berjalan baik, maka sistem distribusinya juga akan menjadi lebih andal. Penyaluran energi listrik sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya beban pada jaringan distribusi. Semakin tinggi beban yang ditanggung oleh jaringan, maka semakin besar pula arus listrik yang harus dihantarkan. (Muhammad dkk, 2022).

Sebuah sistem dapat dianggap andal jika sistem tersebut mampu menyuplai energi secara terus-menerus selama satu tahun kepada setiap pelanggan. Masalah terbesar dalam sistem distribusi listrik terletak pada kualitas, kelanjutan, dan ketersediaan pelayanan listrik kepada pelanggan (Zaki dkk, 2022). Berdasarkan data gangguan penyulang di ULP Nabire Kota tahun 2024 khususnya pada penyulang pinus, dalam kurun waktu satu tahun terdapat sebanyak 25 kali gangguan. Hal tersebut dapat mempengaruhi penilaian keandalan pada sistem distribusi tersebut dinilai kurang andal.

2.3. Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan peralatan pada sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari tingkat tegangan yang lebih tinggi ke tingkat tegangan yang lebih rendah dengan frekuensi tetap. Jenis transformator distribusi yang digunakan adalah transformator *step*

down, yaitu perangkat yang menurunkan tegangan menengah 20 kV menjadi tegangan rendah 400/230 V (Mukti Harrij K, dkk, 2022).

Transformator distribusi memiliki peran vital dalam jaringan distribusi tenaga listrik. Perangkat ini berfungsi untuk menurunkan reduksi tegangan dari menengah ke rendah untuk keperluan distribusi ke konsumen. Umumnya, jenis transformator distribusi yang digunakan adalah transformator *step-down* dengan spesifikasi tegangan 20 kV/400 V. Dalam sistem jaringan tegangan rendah, tegangan antara fasa ke fasa adalah 380V (Sya'roni Zainal, 2019).

Ada dua jenis trafo yang digunakan untuk mengubah besarnya tegangan, yaitu trafo *step-up* dan trafo *step-down*. Trafo *step-up* berfungsi untuk meningkatkan tegangan, sedangkan trafo *step-down* digunakan untuk menurunkan tegangan. Tujuan dari penggunaan trafo distribusi adalah untuk mengatur besarnya tegangan dalam sistem distribusi listrik agar sesuai dengan kebutuhan pengguna. Transformator distribusi yang paling banyak dipakai merupakan tipe *step-down* dengan tegangan *input* 20 kV dan *output* 400 V (Sahidanto dkk, 2023).

2.4. Satuan KVA dalam Transformator Distribusi

Transformator pada dasarnya diberi rating dalam satuan kVA (kilo Volt-Ampere), bukan dalam kW. Hal ini dikarenakan kapasitas transformator dipengaruhi oleh besarnya tegangan dan arus yang mengalir, di mana kedua parameter tersebut menjadi penentu besarnya rugi-rugi. Rugi-rugi inti sangat bergantung pada tegangan, sedangkan rugi-rugi tembaga dipengaruhi oleh arus. Dengan demikian, kemampuan transformator lebih tepat dinyatakan dalam daya semu (*apparent power*), yaitu hasil kali tegangan dan arus, sehingga satuannya digunakan VA atau kVA yang tidak dipengaruhi oleh variasi faktor daya beban (Electrical4U, 2024).

Apabila rating transformator ditentukan dalam kW, maka nilainya akan berubah-ubah mengikuti faktor daya, padahal faktor daya merupakan karakteristik beban yang tidak bisa dipastikan saat perancangan. Misalnya,

pada beban resistif faktor daya mendekati 1 sehingga kVA hampir sama dengan kW, sedangkan pada beban induktif atau kapasitif faktor daya bisa rendah sehingga kW jauh lebih kecil meskipun tegangan dan arus tetap sama. Oleh karena itu, untuk menjaga konsistensi penentuan kapasitas serta memastikan batas termal transformator tidak terlampaui, digunakanlah kVA sebagai satuan rating (Electrical Technology, 2012).

Selain itu, pemberian rating dalam kVA juga mencerminkan keterbatasan termal yang terkait dengan sistem pendinginan dan isolasi transformator. Dengan demikian, kapasitas transformator dapat diaplikasikan pada berbagai kondisi beban tanpa bergantung pada variasi faktor daya, sehingga metode ini dinilai lebih tepat dan konsisten (Taishan Transformer, 2023).

2.5. Pembebanan Transformator

Berdasarkan ketentuan PT PLN tahun 1997 yang dijelaskan dalam SPLN No. 50, transformator distribusi idealnya dioperasikan dalam kisaran beban antara 40% hingga 80% dari kapasitasnya. Apabila beban yang diterima melebihi atau berada di bawah batas tersebut, maka transformator dapat diklasifikasikan sebagai mengalami kondisi overload (kelebihan beban) atau underload (beban terlalu rendah). Oleh karena itu, penggunaan transformator di luar rentang beban yang disarankan sebaiknya dihindari untuk menjaga keandalan dan efisiensi operasionalnya. Transformator tersebut mengalami kelebihan beban (*overload*) dapat terjadi karena:

1. Tidak dilakukan pengukuran beban transformator secara teratur untuk mengetahui beban yang sebenarnya.
2. Rencana pengurangan beban transformator yang tidak cukup baik melalui manajemen beban JTR maupun manajemen transformator itu sendiri.

Solusi untuk mengatasi transformator yang mengalami beban *overload* adalah dengan memasang gardu sisipan. Metode gardu sisip yang dimaksud adalah dengan menambahkan gardu baru dengan syarat transformator yang ada sebelum gardu sisip dipasang mengalami beberapa

kondisi seperti penurunan tegangan, beban berlebih, dan tegangan tidak seimbang. Dengan adanya transformator sisipan yang dipasang, sebagian beban dari transformator eksisting dapat dialihkan ke transformator yang baru dipasang. Dengan pemasangan gardu sisipan tersebut, diharapkan beban berlebih pada transformator utama dapat berkurang (Wabes dkk, 2023).

Menurut Surat Edaran Direksi PT PLN (Persero) Nomor 0017/2014 tahun 2014, diketahui bahwa transformator yang teridentifikasi beban kerjanya kurang dari 80% dari total daya yang tersedia maksimalnya termasuk dalam kondisi cukup. Jika beban transformator mencapai 80% hingga 100%, maka transformator tersebut dalam kondisi *overload* atau kurang. Sementara itu, apabila beban transformator melebihi 100%, maka transformator tersebut berada dalam kondisi buruk. Menurut Mukti dkk, 2022 rumus berikut digunakan sebagai acuan untuk mengetahui kapasitas trafo yang digunakan:

$$\text{a.) Kapasitas trafo (kVA)} = \frac{(IR \times VR - N) + (IS \times VS - N) + (IT \times VT - N)}{1000} \quad 2.1$$

$$\text{b.) Pembebanan trafo (\%)} = \frac{\text{kVA Beban}}{\text{kVA Transformator}} \times 100\% \quad 2.2$$

2.6. Manajemen Transformator

Manajemen transformator merupakan kegiatan yang dilakukan dengan tujuan untuk melakukan perawatan terhadap transformator distribusi pada jaringan guna menjaga kondisi transformator agar kondisi transformator tetap dalam keadaan baik dan dapat beroperasi secara optimal. Hal ini bertujuan untuk memastikan keandalan sistem distribusi tenaga listrik tetap terjaga. Beberapa metode yang dapat dilakukan dalam melakukan manajemen transformator distribusi antara lain:

1. Uprating transformator adalah kegiatan mengganti transformator *overload* dengan penambahan daya atau kapasitas transformator menjadi lebih besar.

2. Melakukan *manuver* JTR atau memindahkan beban dari transformator yang *overload* ke transformator lain disekitarnya.
3. Menukar transformator atau mengalihkan transformator antar gardu yang mengalami beban berlebih dan telah terpasang beban yang sesuai.
4. Memasukkan transformator baru / trafo sisip di antara transformator yang mengalami beban berlebih dengan beban terjauh dari gardu tersebut sendiri atau dari sisi pelanggan (Halitopo, Z. C. dkk, 2023).

2.7. Transformator Sisipan

Transformator sisipan, yang juga disebut transformator sekunder atau pendukung penyaluran daya, termasuk dalam bagian sistem distribusi listrik yang dimanfaatkan untuk memperluas daya salur atau mengatasi kelebihan beban pada transformator utama. Alat ini dipasang dan dihubungkan ke jaringan distribusi dengan tujuan menyeimbangkan beban pada sistem distribusi listrik, sehingga tidak seluruhnya ditanggung oleh transformator utama. Pembagian beban ini dilakukan dengan memperhatikan nilai tegangan di awal dan akhir jaringan. Peran utama transformator sisipan adalah memperbesar kemampuan sistem distribusi listrik dengan menambahkan suplai daya. Ketika beban melebihi batas kemampuan transformator utama, transformator sisipan akan bekerja untuk membantu menyeimbangkan distribusi daya antara keduanya (Muhammad dkk, 2022).

Transformator sisipan adalah gardu tambahan yang difungsikan untuk menangani masalah kelebihan beban (*overload*) dan penurunan tegangan (*voltage drop*) pada transformator yang sudah terpasang sebelumnya. Perangkat ini menjadi solusi alternatif dengan cara membagi sebagian beban dari transformator yang telah kelebihan daya dialihkan ke dalam transformator baru yang ditambahkan ke dalam sistem distribusi. Dengan penambahan transformator ini, cakupan layanan dari transformator distribusi yang lama menjadi lebih pendek, sehingga panjang jaringan tegangan rendah dapat dikurangi dan rugi-rugi tegangan pun menjadi lebih kecil (Mukti dkk, 2022).

2.8. Perencanaan Tata Letak Gardu Distribusi Sisipan

Penempatan transformator yang tidak proporsional, khususnya jika transformator ditempatkan terlalu jauh dari pusat beban, berpotensi menimbulkan rugi tegangan signifikan.. Penentuan posisi transformator dapat dilakukan dengan metode perhitungan berdasarkan persamaan berikut:

$$L_{ideal} = \frac{10\% \times V}{I \text{ beban puncak} \times R \text{ saluran}} \quad 2.3$$

Dengan demikian, penentuan jarak optimum antara transformator distribusi dan pelanggan menjadi aspek penting dalam perencanaannya

2.9. Pemasangan Trafo Sisipan Paralel

Dalam sistem distribusi tenaga listrik, transformator sisipan biasanya dipasang paralel dengan transformator utama untuk membagi beban secara proporsional. Konfigurasi ini bertujuan menurunkan pembebanan lebih pada trafo eksisting sehingga tidak beroperasi di atas kapasitas nominal. Jika transformator bekerja secara overload, maka suhu operasi meningkat, isolasi cepat menurun, dan keandalan pasokan listrik terganggu (Hasanah & Ezwarsyah, 2024). Dengan menambahkan transformator sisipan paralel, kapasitas suplai meningkat tanpa perlu mengganti trafo lama, sehingga lebih efisien secara teknis dan ekonomis.

Secara prinsip, pembagian beban pada dua trafo paralel dipengaruhi oleh impedansi masing-masing. Trafo dengan impedansi lebih kecil akan menanggung proporsi beban lebih besar, sedangkan trafo dengan impedansi lebih tinggi menanggung beban lebih kecil. Oleh karena itu, kesesuaian impedansi per unit, rasio tegangan, urutan fasa, dan rasio X/R sangat penting agar distribusi daya berjalan seimbang. Apabila persyaratan ini tidak terpenuhi, akan timbul arus sirkulasi yang mengakibatkan rugi-rugi daya tambahan bahkan arus hubung singkat (Sutjipto dkk., 2022).

Menurut teori sistem tenaga yang dijelaskan oleh Sutjipto dkk. (2022), dua transformator dapat dipasang secara paralel dengan aman apabila memenuhi sejumlah ketentuan tertentu. Pertama, rasio tegangannya harus identik agar tidak terjadi perbedaan potensial yang berpotensi menimbulkan arus sirkulasi antar transformator. Kedua, nilai impedansi per unit perlu memiliki keseragaman agar pembagian daya berlangsung sebanding dengan kapasitas nominal masing-masing. Jika terdapat selisih yang signifikan, salah satu transformator bisa mengalami kelebihan beban meskipun total daya yang dilayani masih di bawah kapasitas gabungan. Selanjutnya, polaritas serta urutan fasanya wajib sama, sebab perbedaan sudut fasa meskipun kecil dapat mengakibatkan arus hubung singkat internal. Terakhir, kesamaan rasio X/R juga penting untuk memastikan bahwa sudut fasa beban pada kedua trafo hampir serupa sehingga distribusi daya reaktif tetap proporsional.

Operasi paralel transformator sisipan memberikan sejumlah keuntungan penting dalam sistem distribusi tenaga listrik. Pertama, mampu mengurangi kondisi overload karena beban yang semula ditanggung satu transformator dapat terbagi secara proporsional, sehingga arus maupun suhu operasi menjadi lebih rendah (Hermawan dkk., 2023). Kedua, profil tegangan pada sisi pelanggan membaik karena adanya titik suplai tambahan yang lebih dekat dengan pusat beban sehingga penurunan tegangan dapat diminimalisir (Sahidanto dkk., 2025). Selain itu, pemasangan transformator secara paralel juga meningkatkan keandalan jaringan, sebab ketika salah satu transformator mengalami gangguan, unit lainnya masih dapat menyalurkan sebagian daya sehingga kontinuitas pasokan listrik tetap terjaga. Terakhir, efisiensi energi meningkat karena rugi-rugi daya pada penghantar berkurang seiring distribusi arus yang lebih merata serta jarak penyaluran yang lebih pendek.

2.10. Teknis Perhitungan

Dalam proses perhitungan transformator *overload*, langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan studi pustaka serta wawancara terkait objek penelitian, sehingga diperoleh informasi mengenai data pembebanan

transformator yang akan diteliti. Setelah data tersebut dikumpulkan, selanjutnya pengolahan data dilakukan dengan menerapkan sejumlah rumus, antara lain untuk menghitung tegangan rata-rata, daya yang dikonsumsi, arus beban penuh, beban yang terdistribusi, temperatur lilitan, serta estimasi dan analisis penurunan usia pakai transformator. Menurut Santoso dkk, 2022 pengolahan data-data diatas dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan dengan rumus-rumus sebagai berikut:

1.) Perhitungan Daya yang Digunakan

Besarnya arus rata-rata dapat dihitung dengan:

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad 2.4$$

Besarnya arus beban dapat dihitung dengan:

$$I_{max} = \frac{Daya\ Terpasang}{\sqrt{3} \times V} \quad 2.5$$

2.) Perhitungan Beban yang Digunakan

Nilai dalam satuan persen pembebanan dapat dihitung dengan:

$$\text{Beban Terpakai \%} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{max}} \times 100\% \quad 2.6$$

3.) Perhitungan Tegangan Rata-Rata

Nilai tegangan rata-rata dapat dihitung dengan:

$$V_{rata-rata} = \frac{(V_{R-S}) + (V_{S-T}) + (V_{T-R})}{3} \quad 2.7$$

4.) Perhitungan Suhu Lilitan

Perhitungan dilakukan berdasarkan standar IEC 60354-1 tahun 1991. Suhu rata-rata di Nabire sekitar 30°C. Daya beban yang diperbolehkan berbeda tergantung suhu sekitarnya. Pada suhu sekitar 30°C, kenaikan suhu *hotspot* pada belitan transformator distribusi dengan jenis pendingin ONAN mencapai 98°C saat faktor beban berlaku.

Periode Waktu Beban Puncak (WBP) berlangsung selama 4 jam, yakni dari pukul 18.00 WIB hingga 22.00 WIB, sementara Waktu Luar

Beban Puncak (LWBP) berlangsung selama 20 jam, dimulai dari pukul 22.01 WIB hingga 17.59 WIB. Proses perhitungan mengacu pada referensi dari Nugroho (2019) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{a.) Suhu lilitan LWBP} = 98^{\circ}\text{C} - (100\% - \% \text{ Beban LWBP}) \times 98^{\circ}\text{C} \quad 2.8$$

$$\text{b.) Suhu lilitan WBP} = \% \frac{\% \text{ Beban WBP}}{100\%} \times 98^{\circ}\text{C} \quad 2.9$$

2.11. Rugi Tegangan

Mengacu pada SPLN 1 tahun 1995 mengenai batas toleransi variasi tegangan pelayanan, ditetapkan bahwa tegangan dapat mengalami deviasi maksimum sebesar +5% dan minimum -10% dari nilai tegangan nominal. Tegangan jatuh, yang dikenal juga sebagai drop voltage atau rugi tegangan, merupakan selisih antara tegangan pada titik asal pengaliran dan tegangan yang diterima di titik akhir jaringan, yang terjadi akibat nilai impedansi yang dimiliki oleh saluran penghantar. Menurut Rizki & Ervianto (2019), penurunan tegangan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain arus beban (A) yang mengalir di dalam jaringan, tegangan output transformator distribusi yang terlalu rendah, nilai tahanan (R) dan reaktansi (XL) pada saluran distribusi, panjang kabel penghantar, serta tingkat faktor daya yang memengaruhi performa sistem. Semua faktor ini turut mempengaruhi besarnya persentase penurunan tegangan yang terjadi. Besarnya *drop voltage* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta V (\%) = \frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100\% \quad 2.10$$

Penjelasan:

ΔV = Penurunan tegangan (*drop voltage*) dalam satuan volt (V)

V_S = Tegangan pada titik awal atau sumber (V)

V_R = Tegangan pada titik akhir atau beban (V)

2.12. Pengaruh Transformator Sisipan terhadap Beban Lebih dan Kualitas Tegangan

Transformator sisipan sering digunakan sebagai solusi untuk mengatasi masalah beban berlebih atau *overload* serta turunnya tegangan yang terjadi pada jaringan distribusi listrik. Penambahan transformator sisipan bertujuan untuk membagi beban dari transformator utama yang telah melebihi kapasitas optimalnya, sekaligus dapat meningkatkan kualitas tegangan di sisi pelanggan agar tetap berada dalam rentang toleransi yang standar.

Transformator sisipan dipasang dengan tujuan untuk mengurangi beban berlebih yang terjadi pada gardu distribusi utama dengan cara mengalihkan sebagian beban ke gardu distribusi tambahan yang dipasang dalam jaringan (Lisma & Yusro H, 2013). Selain itu, dengan memasang transformator sisip baru maka jarak pelayanan dari transformator distribusi utama ke pelanggan semakin berkurang, sehingga rugi tegangan yang dihasilkan dapat menurun (Sutjipto R., dkk., 2023).

BAB III

METODOLOGI

3.1. Lokasi dan Waktu Pelaksanaan Penelitian

- a. Lokasi pelaksanaan : Gardu Distribusi NBR 062 yang terletak di Jl. SP 2, Kabupaten Nabire, pada Penyulang Pinus
- b. Waktu pelaksanaan : Bulan Desember 2024 – Mei 2025

3.2. Prosedur Penelitian

Metode-metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

3.2.1. Metode Interview

Metode interview atau wawancara dilakukan dengan cara mengajukan pertanyaan secara langsung kepada narasumber yang memiliki keahlian dan pemahaman di bidangnya, guna memperoleh data yang dibutuhkan terkait transformator *overload* dan transformator sisipan.

3.2.2. Metode Observasi

Pendekatan observasi dilakukan melalui proses pengumpulan data secara langsung di lapangan secara langsung, yaitu data tegangan, daya yang digunakan, arus beban penuh, beban yang terpakai, beban WBP, dan beban LWBP. Observasi dilakukan dengan cara melihat langsung kondisi di lokasi yang menjadi fokus penelitian, yaitu di wilayah kerja PLN ULP Nabire Kota.

3.2.3. Metode Literatur

Dilakukan melalui studi literatur dan analisis berbagai sumber referensi yang relevan dengan topik pembahasan, khususnya mengenai transformator *overload* dan transformator sisipan, yang berperan dalam mendukung penyusunan Tugas Akhir ini.

3.2.4. Metode Analisa

Metode ini dilakukan dengan penyelesaian model matematik dengan rumus- rumus matematik yang sudah baku digunakan.

3.2.5. Metode Konsultasi

Metode ini dilakukan dengan mendiskusikan topik laporan akhir dengan dosen pembimbing, dan para dosen lainya yang kompeten dalam topik laporan yang dibahas.



3.2.6. Kerangka konseptual rancangan



Berikut merupakan penjelasan dari setiap tahapan diagram alir penelitian diatas:

1. Pengerjaan tugas akhir dimulai dengan melakukan konsultasi dengan beberapa pihak seperti dosen, narasumber dan lainnya yang akan diangkat sebagai bahasan tugas akhir.
2. Mengidentifikasi masalah yang ada di PT PLN (Persero) ULP Nabire Kota. Permasalahan yang akan dianalisis adalah mengenai keandalan penyaluran energi listrik dari pembangkitan hingga ke pelanggan. Dari hal tersebut, juga dapat menganalisis pembebanan transformator distribusi.
3. Mengumpulkan data yang diperlukan untuk mengatasi masalah, data yang diperlukan meliputi *Single Line Diagram*, data beban harian saat WBP, tegangan panel, tegangan ujung jaringan, dan spesifikasi transformator gardu distribusi NBR 062.
4. Melakukan perhitungan persentase pembebanan pada transformator gardu distribusi NBR 062.
5. Melakukan perhitungan drop tegangan pada pelanggan yang disupply oleh gardu distribusi NBR 062.
6. Melakukan identifikasi apakah besar persentase pembebanan dan persentase drop tegangan sudah sesuai standar PLN? Apabila hasilnya sesuai, proses diteruskan ke kesimpulan dan saran, jika belum, maka dilanjutkan ke langkah berikutnya.
7. Melakukan pemasangan gardu sisipan NBR 287 untuk menangani beban berlebih dan penurunan tegangan pada transformator gardu distribusi NBR 062.
8. Menganalisa dan membandingkan setelah dipasang gardu sisipan NBR 287.
9. Membuat kesimpulan dan saran.
10. Selesai

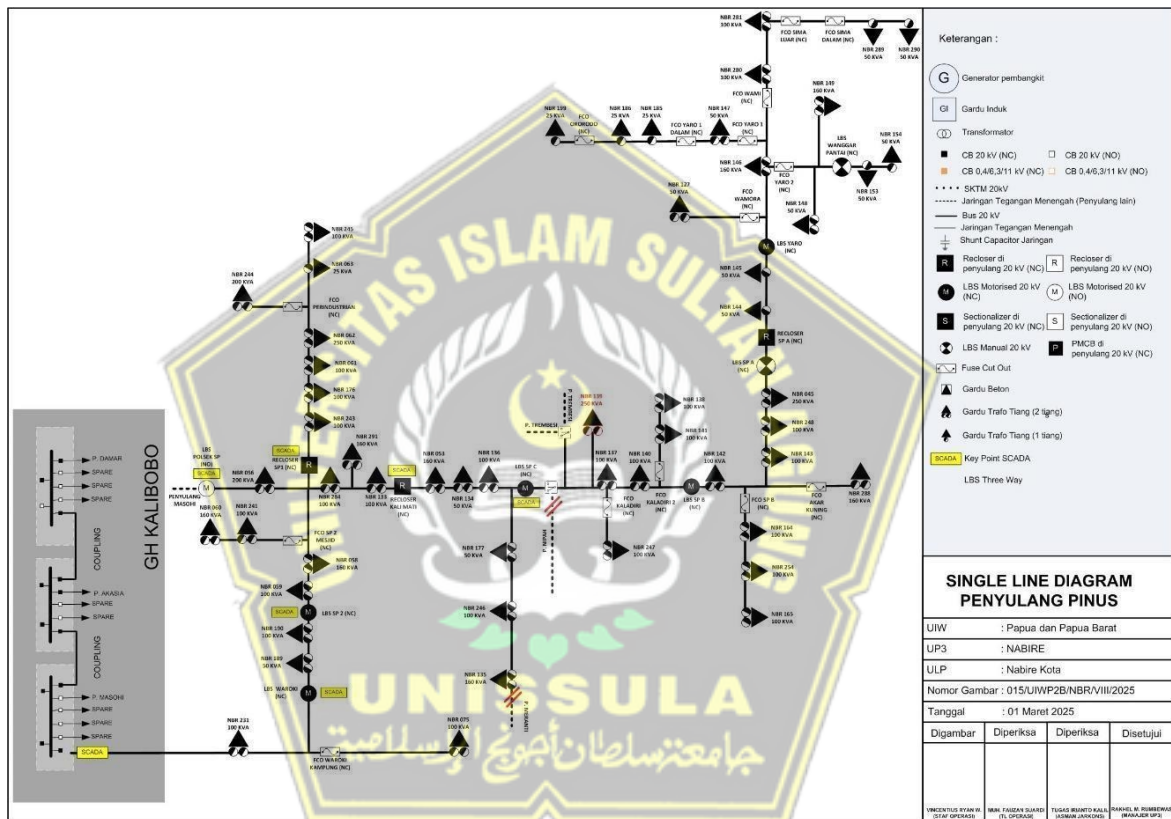
3.2.7. Analisis Data

Analisa data menggunakan rumus matematik yang sudah baku berdasarkan data yang telah dikumpulkan untuk mendapatkan perbandingan keuntungan dan kerugian dari segi elektrikalnya.

BAB IV

DATA DAN ANALISA

4.1. Single Line Diagram Penyulang Pinus



Gambar 4. 1. *Single Line Diagram* Penyulang Pinus ULP Nabire Kota

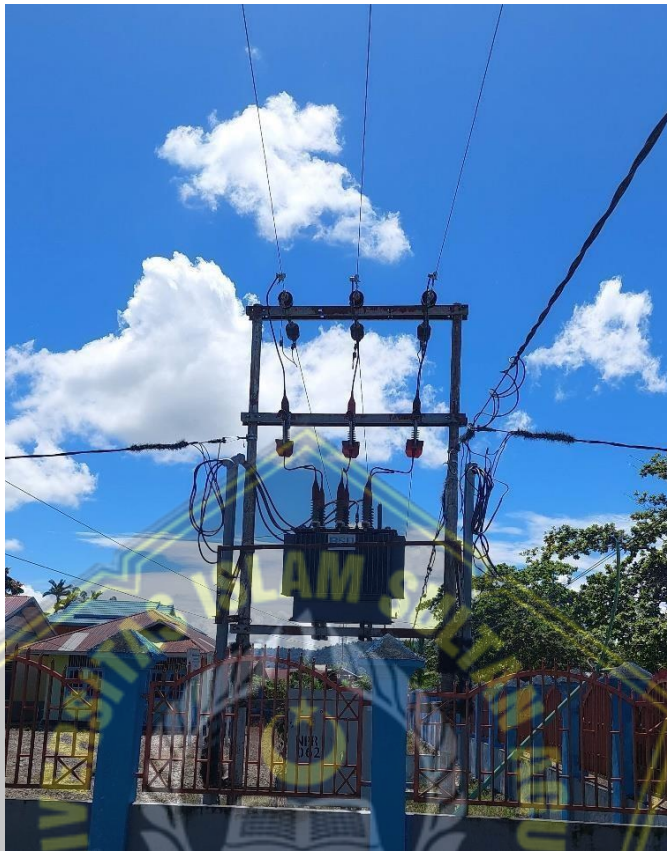
Gambar *Single Line Diagram* (SLD) Penyulang Pinus di ULP Nabire Kota menampilkan susunan jaringan distribusi tegangan menengah (20 kV) yang terdiri dari jalur utama (*main feeder*) yang didayakan langsung dari Gardu Hubung Kalibobo Nabire. Penyulang Pinus merupakan penyulang terpanjang di ULP Nabire Kota dengan Panjang jaringan sepanjang 141,18 Kms yang memiliki beberapa gardu distribusi yang tersebar di sepanjang jaringan Penyulang Pinus untuk menyuplai listrik ke pelanggan.

4.2. Gardu Distribusi NBR 062 Sebelum Dipasang Transformator Sisipan

Gardu Distribusi NBR 062 adalah salah satu gardu trafo distribusi yang menangani tegangan menengah (TM) dan berlokasi di Penyulang Pinus, dalam area kerja PLN ULP Nabire Kota. Gardu ini berfungsi sebagai titik penurunan tegangan dari 20 kV ke 400/230 V untuk melayani kebutuhan pelanggan tegangan rendah (TR) di wilayah sekitarnya.

Gardu NBR 062 terpasang di kawasan dengan karakteristik beban dominan berupa rumah tangga dan beberapa usaha kecil menengah (UKM), sehingga memiliki pola beban yang cukup fluktuatif dengan puncak beban terjadi pada sore hingga malam hari.

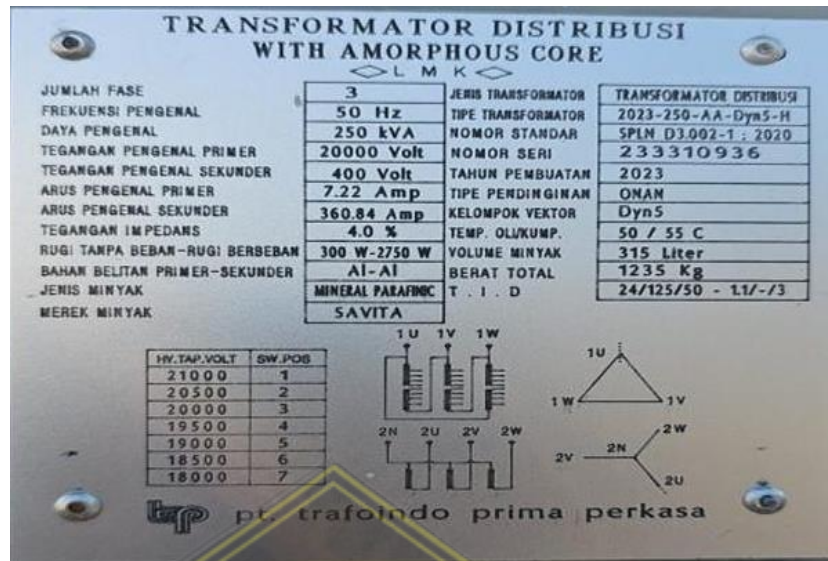
Akibat beban yang terlalu tinggi, kinerja gardu distribusi dapat menurun, yang berdampak pada penurunan kualitas pelayanan listrik kepada pelanggan PLN ULP Nabire Kota. Gardu Distribusi NBR 062 mengalami situasi kelebihan beban (*overload*) yang terjadi selama periode Waktu Beban Puncak (WBP). Untuk mengatasinya, dipasang gardu distribusi sisipan guna membantu mengurangi beban yang berlebihan pada Gardu NBR 062. Gardu ini memiliki kapasitas sebesar 250 kVA, melayani 4 jurusan, dan terletak di Jl. SP 2, Kabupaten Nabire, pada jaringan Penyulang Pinus. Berikut ini merupakan gambar Gardu NBR 062:



Gambar 4. 2. Foto Gardu Distribusi NBR 062

Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa tipe gardu NBR 062 merupakan gardu pasang luar tipe portal. Berdasarkan konstruksinya, gardu NBR 062 menggunakan sistem gardu pasang luar dengan dua tiang besi. Jika mengacu pada Buku Standar Konstruksi Distribusi PLN Wilayah Papua dan Papua Barat Tahun 2018, konstruksi ini dapat dikategorikan sebagai konstruksi M-21, yaitu konstruksi trafo portal 3 phasa yang berada di pertengahan.

4.2.1. Spesifikasi Teknis Transformator pada Gardu Distribusi NBR 062



Gambar 4. 3. Foto Nameplate Transformator Gardu Distribusi NBR 062

Spesifikasi teknis transformator pada gardu NBR 062 dapat dilihat pada gambar nameplate 4.3. Dari nameplate tersebut dapat diketahui bahwa transformator yang terpasang di gardu NBR 062 merupakan jenis transformator *step down*, yang berperan dalam menurunkan tegangan dari sistem distribusi menengah 20/11 kV ke tingkat tegangan rendah 400/230 V untuk keperluan konsumen akhir.

4.2.2. Data Pengukuran Gardu NBR 062 Sebelum Penambahan Gardu Sisipan NBR 284 (Pengukuran WBP)

Tabel 4. 1. Hasil Pengukuran Beban NBR 062

No	Tgl Ukur	Jam Ukur	Beban (KVA)	Prosen (%)	Beban Total (A)				Tegangan (V)		
					R	S	T	N	R-N	S-N	T-N
1	29/05/2024	19.12	183,72	73,49%	316	280	312	89	222	225	229
2	26/07/2024	18.10	200,54	80,22%	300	309	354	67	221	220	228
3	04/12/2024	18.58	227,45	90,98%	356	352	379	90	226	228	225

Dari data diatas maka dapat dihitung arus rata-rata dari ketiga fasa tersebut yang merujuk pada persamaan 2.4 sehingga dapat diperoleh perhitungan arus total

rata-rata dengan merujuk persamaan 2.4. Besarnya arus beban maksimum dapat dihitung dengan merujuk persamaan 2.5 sehingga dapat diketahui persentase beban terpakai pada transformator Gardu Distribusi NBR 062 dengan merujuk persamaan 2.6 yang disajikan pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4. 2. Hasil Perhitungan Beban NBR 062

No Gardu	Arus Rata-Rata (A)			Arus Rata- Rata Total (A)	Arus Beban Maksimum (A)	Persentase Beban Terpakai (%)
	R	S	T			
NBR 062	324	314	348	328,67	361,27	90,98

Dengan mengacu pada Surat Edaran Direksi PT PLN (Persero) Nomor 0017/2014 tahun 2014, diketahui bahwa beban yang ada pada transformator di gardu NBR 062 termasuk dalam kondisi beban berlebih atau kondisi beban kurang.

4.2.3. Perhitungan Drop Tegangan

Terdapat laporan dari pelanggan ULP Nabire Kota yang disupply oleh gardu distribusi NBR 062 yang mengalami drop tegangan. Rumah pelanggan tersebut dengan gardu berjarak sekitar 1,20 Kms. Untuk dapat mengetahui berapa persentase jatuh tegangan yang terjadi pada gardu tersebut, maka bisa dilakukan pengukuran tegangan pada pelanggan yang berada jarak paling jauh dari transformator NBR 062.

Berdasarkan hasil pengukuran tegangan panel dan pengukuran tegangan ujung jaringan transformator NBR 062 pada saat waktu beban puncak (WBP), maka didapatkan hasil pengukuran tegangan sebagai berikut:

Tabel 4. 3. Hasil Perhitungan Drop Tegangan Gardu Distribusi NBR 026

Fasa	Vpanel (Volt)	Vujung (Volt)	ΔV (Volt)	Persentase
				Drop Tegangan (%)

R	226	200	26	11,5
S	228	210	18	7,9
T	225	195	30	13,3

Merujuk pada SPLN 1:1995, batas toleransi tegangan pada Saluran Pelayanan (SP) ditetapkan sebesar +5% dari nilai standar tegangan rendah di sisi pangkal, dan -10% di sisi ujung jaringan. Dengan demikian, jatuh tegangan pada transformator NBR 062 sudah hampir mencapai kondisi yang tidak memenuhi syarat. Berdasarkan dengan regulasi tegangan yang ditetapkan oleh PLN, perancangan sistem jaringan dilakukan sedemikian rupa agar penurunan tegangan di sisi ujung tidak melebihi 10%.

4.3. Gardu Distribusi Sisipan NBR 287

Pemasangan gardu distribusi sisipan NBR 287 menggunakan jenis gardu portal. Gardu distribusi tipe portal adalah salah satu dari beberapa jenis gardu distribusi dengan tegangan 20 kV yang digunakan sebagai titik penyisipan dengan menggunakan struktur tiang dua kaki dengan rangka atas (*cross arm*) berbentuk seperti portal, biasanya menggunakan tiang besi galvanis atau beton bertulang pada konstruksinya. Berikut merupakan gambar gardu distribusi sisipan NBR 287 :

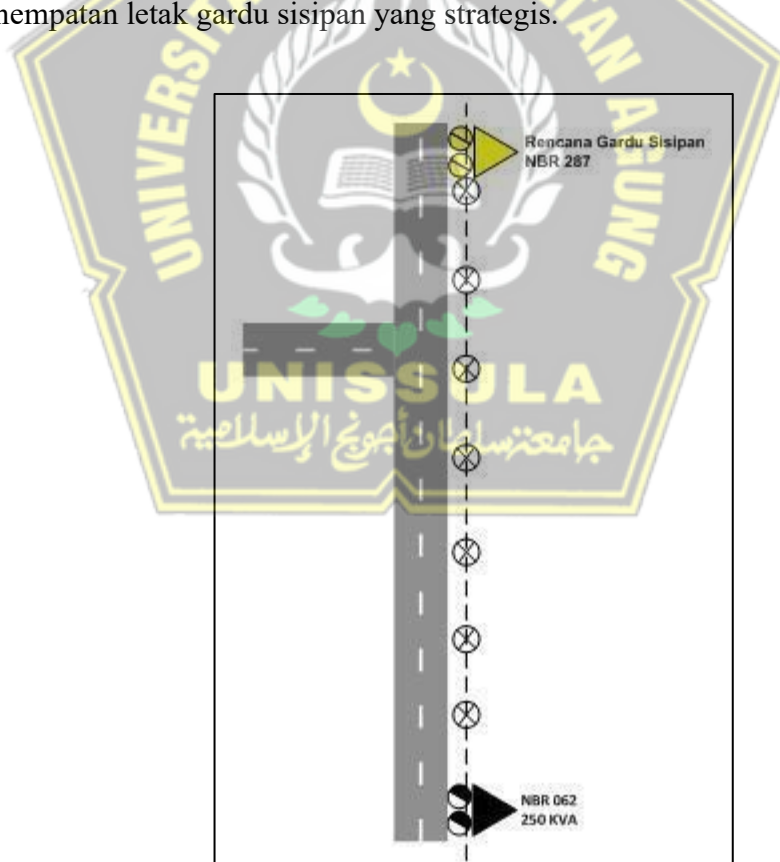


Gambar 4. 4. Foto Gardu Distribusi Sisipan NBR 287

4.3.1. Perencanaan Tata Letak Gardu Distribusi Sisipan NBR 287

Dalam menempatkan letak transformator gardu sisipan secara ideal dapat ditentukan berdasarkan perhitungan yang merujuk pada rumus 2.3 dengan nilai tegangan pada penghantar yaitu 440 V, arus yang mengalir pada penghantar sebesar 374,67 A, dan tahanan penghantar 0,443 Ω /m, sehingga menghasilkan nilai jarak penempatan yang ideal yaitu sepanjang 0,313 km atau 313 m.

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka secara teoretis dapat ditentukan letak ideal penempatan pemasangan gardu sisipan adalah sejauh 313 m atau sekitar tujuh gawang dari gardu NBR 062. Akan tetapi dengan mempertimbangkan kondisi yang terjadi di lapangan dan disesuaikan dengan kepadatan penduduk sekitar maka dapat dilakukan analisa kembali terkait penempatan letak gardu sisipan yang strategis.



Gambar 4. 5. Denah Rencana Pemasangan Gardu Distribusi Sisipan NBR 287

4.3.2. Perhitungan Kapasitas Transformator Gardu Sisipan

Berdasarkan hasil perhitungan persentase pembebanan gardu distribusi NBR 062 didapatkan sebesar 90,98% yang artinya transformator tersebut sudah overload, sedangkan ketentuan yang diperbolehkan PT PLN bahwa beban maksimum transformator distribusi sebesar 80%. Sehingga dapat dilakukan perhitungan kelebihan beban transformator tersebut untuk dapat menentukan kapasitas transformator sisip yang akan dipasang.

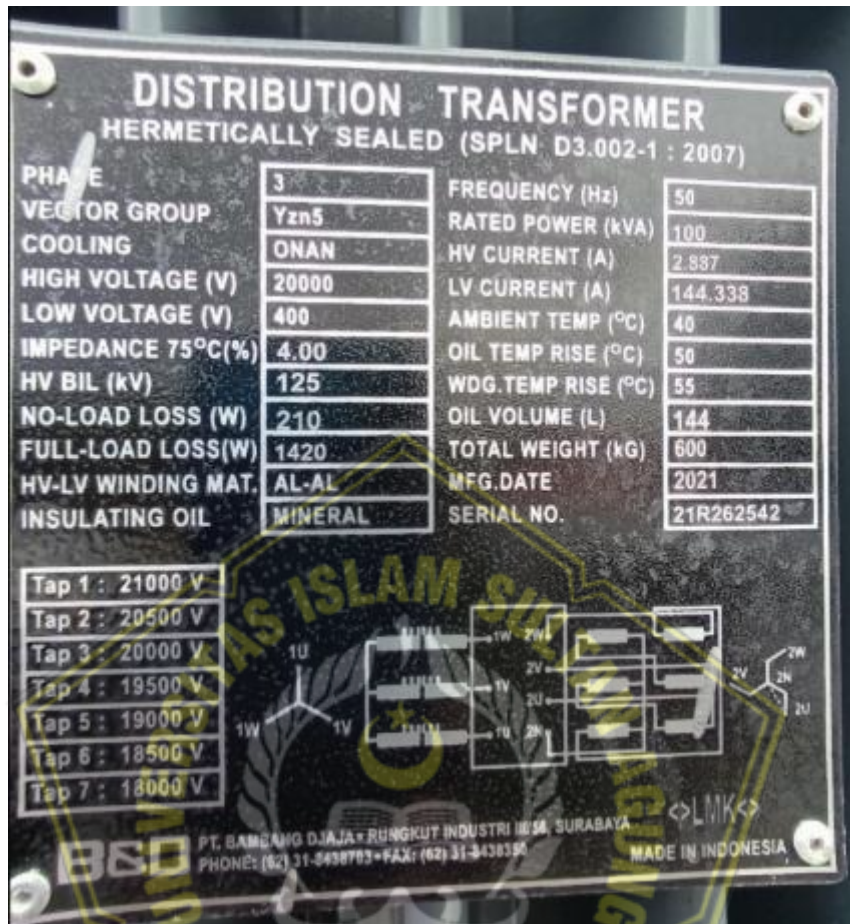
$$\begin{aligned}\text{Kelebihan beban} &= 90,98\% - 80\% \\ &= 10,98\%\end{aligned}$$

Didapatkan 10,98% dari 250 KVA yaitu sebesar:

$$\begin{aligned}\text{Kelebihan beban} &= \left(\frac{10,98\%}{100\%}\right) \times 250 \\ &= 27,45 \text{ KVA}\end{aligned}$$

Proses pemilihan kapasitas kVA transformator distribusi mempertimbangkan hasil analisis beban yang saat ini terpasang, perkiraan peningkatan beban pada periode mendatang, dan ketentuan standar mengenai batas pembebanan transformator. Kondisi pembebanan sekitar 80% dari kapasitas nominal dipandang sebagai titik operasi yang optimal, karena dapat menjaga kontinuitas dan keandalan layanan listrik sekaligus memberikan toleransi apabila terjadi peningkatan kebutuhan daya di masa depan.

Berdasarkan perhitungan kelebihan beban dengan mempertimbangan kondisi beban saat ini, proyeksi kenaikan beban, jumlah kepadatan penduduk dan peningkatan jumlah beban kedepannya, maka transformator pada gardu sisipan yang akan dipasang pada gardu sisipan NBR 287 adalah sebesar 100 KVA.



Gambar 4. 6. Foto Nameplate Transformator Gardu Sisipan NBR 287

4.3.3. Data Pembebanan Transformator Sisipan NBR 287

Tabel 4. 4. Hasil Pengukuran Beban Gardu Sisipan NBR 287

No	Tgl Ukur	Jam Ukur	Beban (KVA)	Prosen (%)	Beban Total (A)				Tegangan (V)		
					R	S	T	N	R-N	S-N	T-N
1	16/01 /2025	19.12	36,46	36,46%	21	68	70	52	230	230	228
2	13/02/2025	19.11	33,47	33,47%	51	43	53	24	228	226	229
3	10/04/2025	18.23	36,14	36,45%	52	38	68	24	228	230	229

Pada tabel 4.4 menunjukkan hasil pengukuran pembebanan transformator pada gardu distribusi sisipan NBR 287. Dapat dilihat bahwa hasil

pengukuran menunjukkan besar beban yang dialihkan dari transformator utama atau pada gardu distribusi NBR 062 sebesar kurang lebih 37 KVA.

Dengan melakukan perhitungan dari hasil pengukuran paling akhir pada tanggal sepuluh bulan April tahun 2025, maka didapatkan perhitungan arus rata-rata yang merujuk pada rumus 2.3 sebesar 52,67 A. dengan tegangan nominal 400 V merujuk pada rumus 2.4 didapatkan nilai arus maksimum sebesar 144,51 A. Sehingga besarnya persentase pembebanan pada gardu distribusi sisipan NBR 287 yang merujuk pada rumus 2.5 adalah sebesar 36,45%,

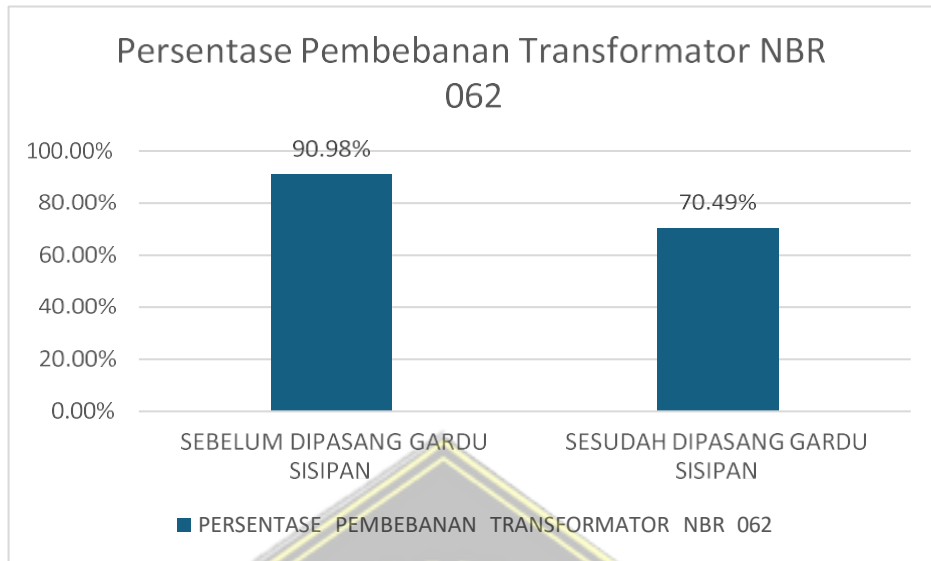
4.4. Perhitungan Setelah Pemasangan Gardu Sisipan

Setelah Gardu Sisipan NBR 287 terpasang, maka dilakukan kembali pengukuran dan perhitungan persentase beban dan drop tegangan pada Gardu Distribusi NBR 062. Hasil pengukuran didapatkan pada tabel sebagai berikut:

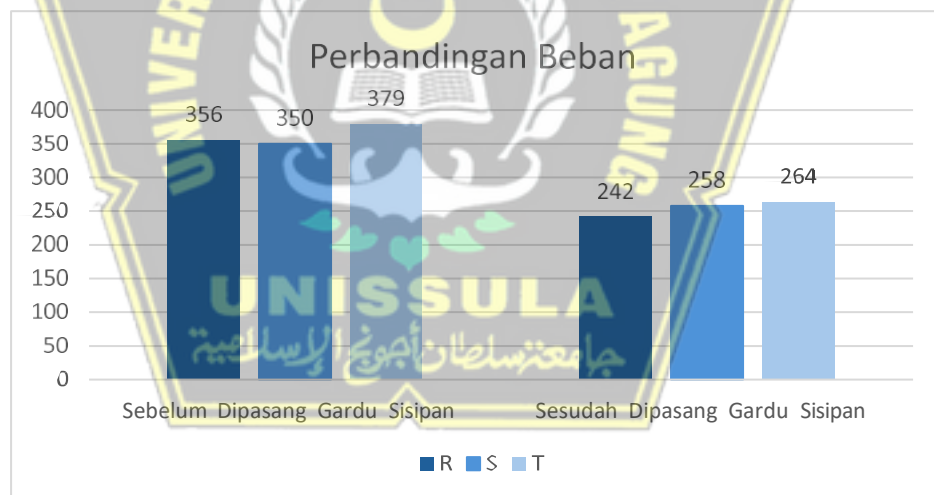
Tabel 4. 5. Hasil Pengukuran Beban NBR 062 Setelah Dipasang Gardu Sisipan

No	Tgl Ukur	Jam	Beban	Prosen	Beban Total (A)				Tegangan (V)		
		Ukur	(KVA)	(%)	R	S	T	N	R-N	S-N	T-N
1	24/03/2025	19.12	183,72	74,32%	256	280	258	90	233	232	232
2	10/04/2025	18.10	200,54	79,11%	265	292	283	71	233	232	233
3	12/05/2025	18.58	227,45	71,41%	242	258	264	88	234	234	234

Berdasarkan data pengukuran beban NBR 062 paling akhir pada tanggal dua belas bulan Mei tahun 2025, maka didapatkan perhitungan arus rata-rata yang merujuk pada persamaan 2.3 sebesar 254,67 A. Dengan tegangan nominal 400 V merujuk pada rumus 2.4 didapatkan nilai arus maksimum sebesar 361,27 A. Maka besarnya persentase pembebanan transformator NBR 062 setelah dipasang gardu sisipan dengan merujuk pada persamaan rumus 2.5 didapatkan sebesar 70,49%.



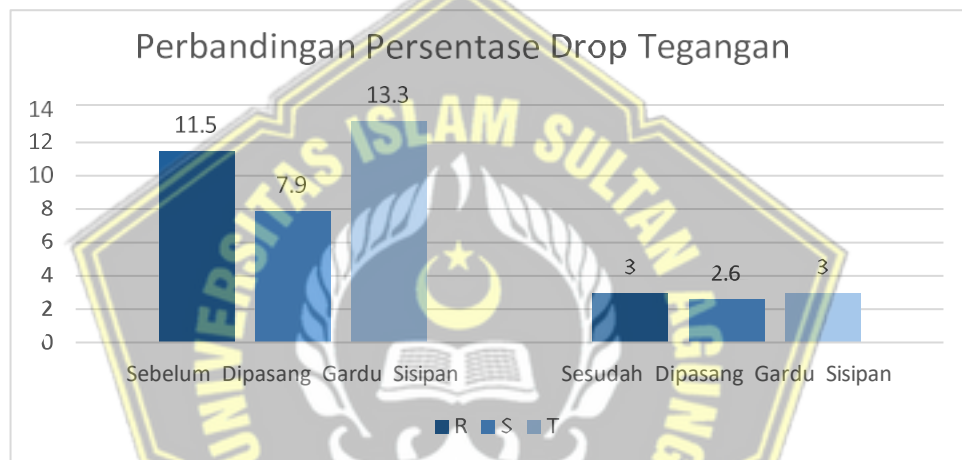
Gambar 4. 7. Grafik Persentase Pembebanan Transformator NBR 062 Sebelum dan Sesudah Dipasang Gardu Sisipan



Gambar 4. 8. Grafik Perbandingan Beban Transformator NBR 062 Sebelum dan Sesudah Dipasang Gardu Sisipan

Tabel 4. 6. Hasil Perhitungan Drop Tegangan Gradus Distribusi NBR 062 Setelah Dipasang Gardu Sisipan

Fasa	Vpanel (Volt)	Vujung (Volt)	ΔV (Volt)	Persentase Drop Tegangan (%)
R	234	227	7	3
S	234	228	6	2,6
T	234	227	7	3



Gambar 4. 9. Grafik Perbandingan Persentase Drop Tegangan Transformator NBR 062 Sebelum dan Sesudah Dipasang Gardu Sisipan

Dari perhitungan persentase pembabanan tansformator didapatkan bahwa pembebanan dibawah 80% sehingga dapat dikatakan bahwa pembebanan pada transformator tersebut sudah sesuai dengan standar PLN. Selanjutnya dilakukan pengukuran drop tegangan yang terjadi setelah dilakukan penambahan transformator sisipan dengan melakukan pengukuran kembali pada pelanggan terjauh dari gardu distribusi NBR 062 terukur tegangan sebesar 223 V, sehingga dapat dihitung nilai jatuh tegangan yang merujuk pada rumus 2.9 didapatkan sebesar 4,7%.

Dapat diketahui bahwa jatuh tegangan setelah dipasang gardu sisip sebesar 4,7% dan sesuai standart bahwasannya tegangan yang sampai ke

pelanggan terjauh harus tetap berada dalam batas toleransi, yaitu tidak turun lebih dari 10% dari standar tegangan.



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Merujuk pada hasil penelitian dan analisis yang telah dilaksanakan terkait penambahan gardu distribusi sisipan guna menangani transformator yang mengalami *overload*, dapat disimpulkan bahwa:

1. Persentase pembebanan pada gardu distribusi NBR 062 sebelum dipasang gardu sisipan yaitu sebesar 90,98% yang artinya transformator pada gardu tersebut sudah melebihi kapasitas atau sudah tidak sesuai dengan standar PLN. Setelah dipasang gardu sisipan NBR 287, persentase pembebanan pada gardu distribusi NBR 062 turun menjadi 71,41%. Hal ini menunjukkan bahwa pemasangan gardu sisipan bisa membantu mengurangi beban yang berlebih pada transformator utama.
2. Pemasangan gardu sisipan NBR 287 memberikan dampak yang positif dalam mengurangi beban berlebih (*overload*) pada transformator utama, khususnya gardu distribusi NBR 062. Transformator yang sebelumnya mengalami kelebihan beban kini memiliki beban yang lebih seimbang. Pemindahan sebagian beban ke gardu sisipan NBR 287 membantu mengurangi risiko kerusakan pada peralatan, meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik, serta menjaga kualitas tegangan pada sisi pelanggan agar tetap stabil. Dengan demikian, pemasangan gardu sisipan NBR 287 terbukti efektif dalam menangani masalah beban *overload* pada gardu distribusi NBR 062.

5.2. Saran

Dari penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa untuk memastikan sistem distribusi listrik tetap handal dan efisien, disarankan untuk memasang gardu sisipan seperti NBR 287 pada gardu-gardu distribusi lainnya yang mengalami beban berlebih (*overload*). Selain itu, perlu dilakukan juga pemantauan beban

transformator secara rutin agar dapat terdeteksi adanya risiko beban berlebih lebih dini. Serta melakukan evaluasi terhadap jaringan distribusi juga dilakukan secara teratur guna mempertahankan kestabilan sistem dan bisa menampung peningkatan beban di masa depan tanpa terjadi gangguan.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marsudi, Djiteng.(2006). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, ITB : Bandung.
- [2] Pabla, AS, (1994), *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [3] PT PLN (Persero) UIW P2B. *Buku Standard Konstruksi PLN UIW P2B*.
- [4] Wibowo, S.S. 2018. *Analisa Sistem Tenaga*. Malang; Polinema Press.
- [5] PT. PLN (Persero). 2010. *Buku 5 Standar Kontruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero)
- [6] PT. PLN (Persero). 2010. *Buku 1 Kriteria Desain Enjinering Konstruksi Jaringan distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero)
- [7] B. Kurniawan, "Studi Analisis Pemasangan Gardu Sisip Guna Mengurangi Beban Berlebih Pada Transfomator Distribusi Di PT. PLN (Persero) UP3 Yogyakarta," Institut Teknologi PLN, p. 76, 2020.
- [8] Nurjanah, Triani (2015) *Analisa Pengaruh Pemasangan Transformator Sisipan Di Gardu I.1913 Dan I.762 Pada Penyulang Kresna Pt Pln (Persero) Rayon Sukarami*. Other Thesis, Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [9] Muhammad, Muhammad, Selamat Meliala, and Damayanti Damayanti. "Mengatasi Beban Lebih Transformator Gardu Distribusi Dengan Menggunakan Trafo Sisip Di PT PLN (Persero) ULP Langsa Kota." *Jurnal Energi Elektrik* 11.1 (2022): 29-29.
- [10] Wabes, Willy Armando, I. Made Wartana, and Irrine Budi Sulistiawati. "PERENCANAAN PEMASANGAN GARDU SISIPAN PADA GARDU DISTRIBUSI MNK 008 PENYULANG KASUARI DI PT. PLN (PERSERO) ULP MANOKWARI KOTA." *Magnetika: Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro* 7.2 (2023): 288-293.
- [11] Halitopo, Zefanya Cergio, Ekawati M. Ohee, and Dultudes Mangopo. "ANALISIS PENAMBAHAN TRANSFORMATOR SISIPAN GUNA MENGATASI BEBAN LEBIH (*OVERLOAD*) PADA GARDU

- DISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO) ULP ABEPURA." *Jurnal teletronic 1.1* (2023): 56-63.
- [12] Mukti, Harrij, Muhammad Hadyan Farizan, and Muhammad Rafid Faiz Firmansyah. "Analisis Rencana Pemasangan Transformator Sisipan Untuk Mengatasi *Overload* dan Drop Voltage pada Penyulang Selogabus PT. PLN (Persero) ULP Bojonegoro Kota." *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan 9.3* (2022): 127-133.
- [13] Santoso, Asfari Hariz, Ernanda Rizka, and Harrij Mukti. "Analisis Pembebanan Terhadap Perkiraan Umur Transformator Distribusi 20 kV Penyulang Lowokwaru di PT. PLN (PERSERO) UP3 Malang." *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan 9.3* (2022): 121-126.
- [14] Setyo Adi Nugroho, A. J. (2019). Perhitungan Perkiraan Umur Transformator Akibat Pengaruh. *JURNAL RISET REKAYASA ELEKTRO*, Vol.1, 11-16.
- [15] Sutjipto, Rachmat, Heri Sungkowo, Epiwardi, Dhimas Dhesah Kharisma. 2023. "Analisis Penggunaan Transformator Sisipan Untuk Mengatasi Rugi Tegangan dan Pembebanan Lebih" *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan Vol 10 No. 3*.
- [16] Lisma, Yusro H. (2013). "Perencanaan Pemasangan Gardu Sisip P117 di PT PLN (Persero) Area Bangka" *Jurnal Desiminasi Teknologi*, Volume 1, Nomor 1, Hal 17-26