



TUGAS AKHIR

ANALISIS JATUH TEGANGAN DAN RUGI DAYA PADA JARINGAN TEGANGAN RENDAH GARDU DISTRIBUSI TG62H DI PLN UP3 CENGKARENG

DISUSUN OLEH :

ABD SYAKUR ROZI

NIM : 202371012

PROGRAM STUDI D-III TEKNOLOGI LISTRIK

SEKOLAH VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI PLN

JAKARTA 2026

**ANALISIS JATUH TEGANGAN DAN RUGI DAYA PADA
JARINGAN TEGANGAN RENDAH GARDU DISTRIBUSI TG62H
DI PLN UP3 CENGKARENG**



Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya

Disusun Oleh :

ABD SYAKUR ROZI

NIM : 202371012

PROGRAM STUDI D-III TEKNOLOGI LISTRIK

SEKOLAH VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI PLN

JAKARTA 2026

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Nama : Abd Syakur Rozi
NIM : 202371012
Program Studi : D-III Teknologi Listrik
Fakultas : Sekolah Vokasi
Judul Tugas Akhir : Analisis Jatuh Tegangan Dan Rugi Daya Pada Jaringan Tegangan Rendah Gardu Distribusi TG62H Di PLN UP3 Cengkareng

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana 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 memikul segala resiko jika ternyata pernyataan ini tidak benar.

Jakarta, 14 Juli 2026



Abd Syakur Rozi

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Judul Tugas Akhir : Analisis Jatuh Tegangan Dan Rugi Daya Pada Jaringan
Tegangan Rendah Gardu Distribusi TG62H Di PLN UP3
Cengkareng
Nama Mahasiswa : Abd Syakur Rozi
NIM : 202371012
Program Studi : D-III Teknologi Listrik
Sekolah : Sekolah Vokasi

Disetujui oleh,

Pembimbing

Aas Wasri Hasanah, S.Si., MT

0327107001



Diketahui oleh,

Kepala Program Studi D-III Teknologi

Listrik

Ir. Sandi Budi Kurniawan, S.ST., M.Tr.T.

0309089002



Direktur Sekolah Vokasi

Ir. Tony Koerniawan, S.T., M.T.

0325018402



Tanggal Ujian: Selasa, 18 Agustus 2026

Tanggal Lulus:

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Judul Tugas Akhir : Analisis Jatuh Tegangan Dan Rugi Daya Pada Jaringan Tegangan Rendah Gardu Distribusi TG62H Di PLN UP3 Cengkareng
Nama Mahasiswa : Abd Syakur Rozi
NIM : 202371012
Program Studi : D-III Teknologi Listrik
Sekolah : Sekolah Vokasi

Disetujui oleh,

Ketua Penguji

Albert Gifson Hutajulu, S.T., M.T.
0323067301



Anggota Penguji I

Christine Widyastuti, S.T., M.T.
0320128102



Ketua Penguji II/Pembimbing

Aas Wasri Hasanah, S.Si., M.T.
03271070001



Diketahui oleh,

Kepala Program Studi D-III Teknologi Listrik
Ir. Sandi Budi Kurniawan, S.ST., M.Tr.T.
0309089002



UCAPAN TERIMA KASIH

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

Aas Wasri Hasanah, S.Si., MT. 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. Terima kasih kepada Seluruh Dosen-dosen yang mengajar di Institut Teknologi PLN yang sudah mengajarkan saya dan sudah memberi ilmu kepada saya.
2. Orang tua saya yaitu yang sudah mendo'akan dan mensupport saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Terima kasih kepada Teman-teman saya yang sudah mendukung dan membantu saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir.

Jakarta, 22 Juli 2026



Abd Syakur Rozi

202371012

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai sivitas akademika Institut Teknologi PLN, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Abd Syakur Rozi
NIM : 202371012
Program Studi : D-III Teknologi Listrik
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis Karya : Tugas Akhir

Dalam 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 **Tugas Akhir** saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada tanggal : 22 Juli 2026

Yang menyatakan,



(Abd Syakur Rozi)

ANALISIS JATUH TEGANGAN DAN RUGI DAYA PADA JARINGAN TEGANGAN RENDAH GARDU DISTRIBUSI TG62H DI PLN UP3 CENGKARENG

Abd Syakur Rozi, 202371012

Dibawah bimbingan Aas Wasri Hasanah, S.Si., MT.

ABSTRAK

Jaringan Tegangan Rendah (JTR) merupakan bagian akhir sistem distribusi tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan pelanggan, sehingga rentan terhadap permasalahan jatuh tegangan dan rugi daya, terutama pada jurusan dengan panjang saluran yang jauh dari gardu distribusi serta pembebanan yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan menganalisis nilai jatuh tegangan dan rugi daya pada JTR Gardu Distribusi TG62H di PLN UP3 Cengkareng, mengevaluasi kesesuaiannya terhadap standar SPLN 72:1987 dan PUIL 2020, serta memberikan rekomendasi perbaikan teknis. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan studi kasus deskriptif analitis, memanfaatkan data primer hasil pengukuran tegangan ujung di lapangan dan data sekunder berupa *Single Line Diagram* serta spesifikasi teknis jaringan, yang dianalisis secara matematis menggunakan persamaan resistansi, jatuh tegangan, rugi daya, dan efisiensi penyaluran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari sepuluh titik pengukuran, nilai jatuh tegangan bervariasi antara 0,91% hingga 16,36%, dengan jurusan-jurusan menuju Gardu TG62H mengalami jatuh tegangan yang melebihi batas maksimum 5% yang ditetapkan SPLN 72:1987. Perhitungan rugi daya pada jurusan TG62H-4 mencapai 1.136,9 Watt dengan efisiensi penyaluran hanya 79,83%, jauh lebih rendah dibandingkan jurusan TG62S yang mencapai efisiensi 98,88%. Secara keseluruhan, total estimasi rugi daya aktif pada seluruh sepuluh titik pengukuran mencapai sekitar 4,53 kW. Penyebab utama kondisi tersebut adalah panjang saluran, pembebanan yang terkonsentrasi, serta kondisi fisik jaringan yang kurang optimal. Penelitian ini menyimpulkan perlunya perbaikan sambungan, pemerataan beban, dan penambahan gardu distribusi.

Kata Kunci : jatuh tegangan, rugi daya, jaringan tegangan rendah, SPLN 72:1987, efisiensi penyaluran, PUIL 2020

ANALYSIS OF VOLTAGE DROP IN LOW VOLTAGE NETWORK DEPARTMENT A PT. PLN (PERSERO) UP3 CENGKARENG

Abd Syakur Rozi, 202371012

Under the guidance of Aas Wasri Hasanah, S.Si., MT.

ABSTRACT

This Low Voltage Network (LVN) is the final segment of an electric power distribution system that connects directly to customers, making it susceptible to voltage drop and power loss issues, particularly on feeders with long conductor lengths from the distribution substation and high loading conditions. This study aims to calculate and analyze the voltage drop and power loss on the low voltage network of Distribution Substation TG62H at PLN UP3 Cengkareng, to evaluate its compliance with SPLN 72:1987 and PUIL 2020 standards, and to propose technical improvement recommendations. A quantitative method with a descriptive-analytical case study approach was applied, utilizing primary data from field voltage measurements and secondary data in the form of Single Line Diagrams and network technical specifications, which were analyzed mathematically using equations for resistance, voltage drop, power loss, and transmission efficiency. The results show that among the ten measurement points, voltage drop values ranged from 0.91% to 16.36%, with the feeders toward Substation TG62H exceeding the 5% maximum limit set by SPLN 72:1987. Power loss calculations on feeder TG62H-4 reached 1,136.9 Watts with a transmission efficiency of only 79.83%, considerably lower than feeder TG62S, which achieved an efficiency of 98.88%. Overall, the total estimated active power loss across all ten measurement points reached approximately 4.53 kW. The main causes of this condition are the long conductor length, concentrated loading, and suboptimal physical condition of the network. This study concludes that joint repairs, load balancing, and the addition of distribution substations.

Keywords : *voltage drop, power loss, low voltage network, SPLN 72:1987, transmission efficiency, PUIL 2020*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Landasan Teori.....	5
2.1.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	5
2.1.2 Jaringan Tegangan Rendah (JTR).....	6
2.1.3 Jatuh Tegangan (Voltage Drop)	7
2.1.4 Rugi Daya (Power Losses).....	7

2.1.5 Parameter Penghantar Jaringan	8
2.1.6 Transformator Distribusi	9
2.1.7 Standar Kualitas Tegangan dan Keselamatan Instalasi (SPLN 72:1987 dan PUIL 2020)	10
2.1.8 Klasifikasi Rugi-Rugi pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik	11
2.1.9 Faktor Daya (Power Factor) dan Pengaruhnya terhadap Jatuh Tegangan	12
2.1.10 Metode Perhitungan Jatuh Tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah	13
2.1.11 Ketidakseimbangan Beban (Unbalanced Load) pada Jaringan Tegangan Rendah	14
2.1.12 Sistem Pentanahan (Grounding) pada Jaringan Distribusi	15
2.1.13 Metode dan Instrumen Pengukuran Tegangan di Lapangan	16
2.1.14 Pengaruh Suhu Penghantar terhadap Resistansi dan Jatuh Tegangan	16
2.1.15 Pemeliharaan dan Inspeksi Jaringan Tegangan Rendah	17
2.1.16 Pengaruh Ukuran Penampang Penghantar terhadap Jatuh Tegangan	18
2.1.17 Sistem Tiga Fasa Empat Kawat	18
2.1.18 Tegangan Fasa dan Tegangan Antar Fasa	19
2.1.19 Arus Beban pada Jaringan Tegangan Rendah	20
2.1.20 Beban Puncak pada Sistem Distribusi	21
2.1.21 Hubungan Arus dengan Jatuh Tegangan	22
2.1.22 Beban Puncak pada Sistem Distribusi	23
2.2 Penelitian Terkait	24
2.3 Perbandingan Posisi Penelitian dengan Studi Terdahulu	27
2.4 Kerangka Pemikiran	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Jenis Penelitian	29
3.2 Populasi dan Sampel	29

3.3 Metode Pengumpulan Data	30
3.3.1 Data Primer	30
3.3.2 Data Sekunder	31
3.3.3 Flowchart Pengumpulan Data dan Analisis	31
3.4 Teknik Analisis Data.....	32
3.4.1 Rumus Perhitungan Resistansi Penghantar	32
3.4.2 Rumus Perhitungan Jatuh Tegangan	32
3.4.3 Rumus Perhitungan Rugi Daya Aktif	33
3.4.4 Rumus Perhitungan Rugi Daya Reaktif	33
3.4.5 Rumus Perhitungan Efisiensi Penyaluran	33
3.4.6 Rumus Perhitungan Estimasi Arus Beban	34
3.5 Kriteria Evaluasi dan Standar Acuan Penelitian	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Deskripsi Data.....	36
4.2 Spesifikasi Teknis Jaringan Tegangan Rendah Gardu TG62H.....	39
4.3 Perhitungan Resistansi dan Reaktansi Penghantar.....	41
4.4.1 Perhitungan pada Titik TG62S	42
4.4.2 Perhitungan pada Titik Jambu.....	43
4.4.3 Perhitungan pada Titik Mangga / Aftak Rantas	43
4.4.4 Perhitungan pada Titik Jurusan TG62H-1	44
4.4.5 Perhitungan pada Titik Jurusan TG62H-2	45
4.4.6 Perhitungan pada Titik Jurusan TG62H-3	46
4.4.7 Perhitungan pada Titik Jurusan TG62H-4	46
4.4.8 Perhitungan pada Titik Jurusan TG62H-5	47
4.4.9 Perhitungan pada Titik Ara-1	48

4.4.10 Perhitungan pada Titik Ara-2.....	49
4.4.11 Data Hasil Pengukuran Tegangan Ujung Jaringan Tegangan Rendah Gardu TG62H	50
4.5 Rekapitulasi Hasil Perhitungan	53
4.6 Pembahasan.....	54
4.6.1 Penyebab Terjadinya Jatuh Tegangan dan Rugi Daya pada Gardu TG62H	54
4.6.2 Rekomendasi Teknis Perbaikan	55
BAB V PENUTUP.....	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	62
DAFTAR LAMPIRAN.....	64

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Spesifikasi Teknis Jaringan Tegangan Rendah Gardu TG62H (Sumber: Hasil olah data inspeksi lapangan PLN UP3 Cengkareng)	33
Tabel 4.2 Rekapitulasi Temuan Kondisi Fisik Jaringan Gardu TG62H (Sumber: Hasil inspeksi lapangan PLN UP3 Cengkareng).....	34
Tabel 4.3 Rekapitulasi Estimasi Jatuh Tegangan, Arus, Rugi Daya, dan Efisiensi Penyaluran pada Seluruh Titik Pengukuran JTR Gardu TG62H (Sumber: Hasil olah data dan perhitungan penulis).....	47
Tabel 4.4 Rekapitulasi Hasil Analisis Jatuh Tegangan JTR Gardu TG62H dibandingkan dengan Standar SPLN 72:1987 dan PUIL 2020	49
Tabel 4.5 Prioritas Penanganan Jurusan Bermasalah pada JTR Gardu TG62H	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Umum Sistem Distribusi Tenaga Listrik	5
Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Tegangan Rendah Radial	6
Gambar 2.3 Parameter Penghantar pada Model Saluran Pendek	8
Gambar 2.4 Transformator Distribusi Tiang (Pole Mounted Transformer)	9
Gambar 2.5 Kerangka Pemikiran Penelitian	27
 Gambar 3.1 Flowchart Alur Penelitian.....	 30
 Gambar 4.1 Hasil Pengukuran beban pada gardu TG62H	 31
Gambar 4.2 SLD Asli Gardu TG62H Penyulang Samson (Sumber: PLN UP3 Cengkareng) ...	32
Gambar 4.3 Diagram Blok Perbandingan Jatuh Tegangan dan Rugi Daya Aktif Antar Titik Pengukuran JTR Gardu TG62H	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran. 1 Daftar Riwayat Hidup.....	63
Lampiran. 2 Lembar Bimbingan Skripsi	64
Lampiran. 3 Hasil Turnitin.....	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era modern, energi listrik menjadi kebutuhan yang sangat penting dan tidak dapat dipisahkan dari berbagai aktivitas sehari-hari, baik di lingkungan masyarakat, industri, maupun sektor komersial. Karena itu, penyediaan tenaga listrik yang andal, berkualitas, serta efisien merupakan salah satu fokus utama PT PLN (Persero) sebagai perusahaan ketenagalistrikan nasional dalam memberikan pelayanan kepada jutaan pelanggan yang tersebar di seluruh Indonesia.

Jaringan Tegangan Rendah (JTR) merupakan bagian akhir dari sistem distribusi tenaga listrik yang terhubung langsung dengan pelanggan. Umumnya jaringan ini beroperasi pada tegangan nominal 220/380 Volt dengan frekuensi 50 Hz. Dalam pengoperasiannya, salah satu permasalahan yang sering terjadi pada jaringan tegangan rendah adalah adanya jatuh tegangan (*voltage drop*) serta rugi daya (*power losses*) yang nilainya dapat melampaui batas standar yang telah ditentukan.

Jatuh tegangan merupakan selisih antara tegangan pada sisi pengirim di sumber, seperti gardu distribusi, dengan tegangan yang diterima pada sisi beban atau pelanggan. Apabila nilai jatuh tegangan terlalu besar, kondisi ini dapat mengakibatkan peralatan listrik bekerja kurang optimal dan dalam jangka tertentu berpotensi menimbulkan kerusakan. Berdasarkan standar yang ditetapkan PLN melalui SPLN 72:1987, batas maksimum jatuh tegangan yang diizinkan pada jaringan tegangan rendah adalah sebesar 5% dari tegangan nominal.

PLN UP3 Cengkareng merupakan salah satu unit pelaksana pelayanan pelanggan yang berada di wilayah Jakarta Barat. Berdasarkan hasil observasi awal dan informasi teknis dari pihak PLN, beberapa jaringan tegangan rendah di wilayah UP3 Cengkareng mengalami kondisi pembebanan yang cukup tinggi terutama pada waktu beban puncak malam hari. Selain itu, terdapat penyulang dengan panjang saluran yang relatif jauh dari gardu distribusi sehingga berpotensi menyebabkan terjadinya jatuh tegangan pada sisi

pelanggan. Kondisi tersebut menjadi dasar pemilihan lokasi studi kasus dalam penelitian ini karena dianggap mewakili permasalahan kualitas tegangan dan rugi daya pada jaringan tegangan rendah.

Pada tahap observasi awal, ditemukan pula sebuah anomali yang memperkuat urgensi penelitian ini, yaitu kesenjangan tegangan ujung yang mencolok antar jurusan dalam satu gardu distribusi yang sama. Pada Gardu TG62H, sebagian besar jurusan seperti TG62S, Jambu, dan Ara masih mencatat tegangan ujung mendekati nilai nominal 220 Volt dengan jatuh tegangan di bawah 5%, sedangkan jurusan menuju Gardu TG62G justru mencatat tegangan ujung yang anjlok hingga 184 Volt, setara jatuh tegangan 16,36%, atau lebih dari tiga kali lipat batas maksimum yang diizinkan SPLN 72:1987. Kesenjangan yang tidak wajar antar jurusan pada satu sumber gardu yang sama ini mengindikasikan adanya permasalahan yang bersifat lokal dan tidak merata, sehingga perlu ditelusuri lebih lanjut penyebabnya melalui penelitian ini.

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis secara komprehensif terhadap kondisi jatuh tegangan dan rugi daya pada jaringan tegangan rendah di wilayah kerja PLN UP3 Cengkareng. Selain itu, penelitian ini juga dimaksudkan untuk memberikan usulan perbaikan yang sesuai dan efisien guna meningkatkan kinerja jaringan distribusi.

Permasalahan jatuh tegangan dan rugi daya bukan hanya berdampak pada aspek teknis penyaluran energi listrik, tetapi juga berkaitan erat dengan kepuasan pelanggan dan citra pelayanan PLN di mata masyarakat. Tegangan yang tidak stabil atau terlalu rendah dapat menyebabkan peralatan elektronik rumah tangga bekerja tidak optimal, bahkan berisiko mengalami kerusakan dalam jangka panjang, sehingga penanganan permasalahan ini menjadi kepentingan bersama antara PLN sebagai penyedia layanan dan masyarakat sebagai pengguna energi listrik.

Selain itu, dari sisi perusahaan, tingginya rugi daya pada jaringan distribusi turut berdampak pada peningkatan biaya operasional, karena energi yang hilang pada saluran tetap harus dibangkitkan namun tidak dapat

ditagihkan kepada pelanggan. Oleh karena itu, upaya identifikasi dan penanganan jurusan-jurusan dengan tingkat jatuh tegangan dan rugi daya tinggi menjadi salah satu langkah strategis dalam efisiensi operasional PLN, sejalan dengan tujuan penelitian ini yang berfokus pada Gardu TG62H di wilayah kerja PLN UP3 Cengkareng.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa besar nilai jatuh tegangan pada jaringan tegangan rendah di PLN UP3 Cengkareng?
2. Berapa besar nilai rugi daya yang terjadi pada jaringan tegangan rendah di PLN UP3 Cengkareng?
3. Apakah nilai jatuh tegangan dan rugi daya yang terjadi masih dalam batas standar yang ditetapkan PLN?
4. Solusi apa yang dapat dilakukan untuk memperbaiki kondisi jaringan yang tidak memenuhi standar?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menghitung dan menganalisis nilai jatuh tegangan pada jaringan tegangan rendah di PLN UP3 Cengkareng.
2. Menghitung dan menganalisis nilai rugi daya pada jaringan tegangan rendah di PLN UP3 Cengkareng.
3. Mengevaluasi kesesuaian kondisi jaringan dengan standar yang ditetapkan PLN.
4. Memberikan rekomendasi solusi teknis untuk perbaikan jaringan yang tidak memenuhi standar.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Bagi PLN UP3 Cengkareng: Memberikan informasi teknis yang akurat mengenai kondisi jaringan tegangan rendah.
2. Bagi Institusi: Menambah referensi ilmiah di bidang sistem distribusi tenaga listrik.
3. Bagi Masyarakat: Meningkatkan kualitas pelayanan listrik kepada pelanggan di wilayah PLN UP3 Cengkareng.
4. Bagi Peneliti: Menerapkan ilmu yang diperoleh selama perkuliahan dalam permasalahan nyata di lapangan.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Untuk memperjelas batasan penelitian, ruang lingkup penelitian ini meliputi:

1. Penelitian dilakukan pada jaringan tegangan rendah di wilayah kerja PLN UP3 Cengkareng, Jakarta Barat.
2. Data yang digunakan meliputi data teknis jaringan, data beban, dan data pengukuran tegangan di lapangan.
3. Analisis dilakukan menggunakan metode perhitungan manual
4. Standar yang digunakan sebagai acuan adalah SPLN 72:1987 dan PUIL 2020.

BAB II

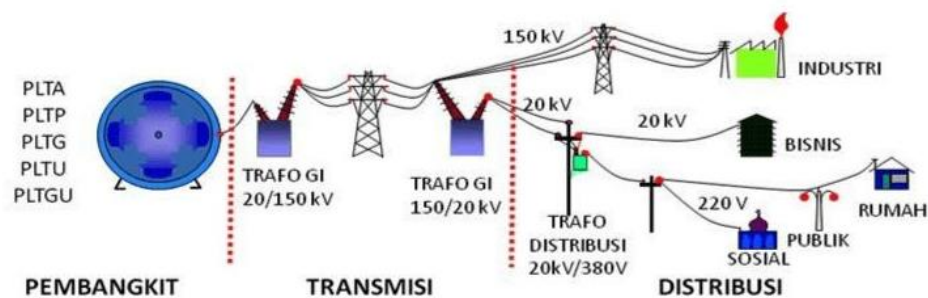
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berperan dalam menyalurkan energi listrik dari gardu induk menuju gardu distribusi, kemudian diteruskan hingga sampai ke pelanggan. Sistem ini termasuk subsistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan konsumen, karena posisinya paling dekat dengan pengguna energi listrik dibandingkan bagian sistem lainnya.

Sistem distribusi tenaga listrik dibagi menjadi dua bagian, yaitu jaringan distribusi primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan jaringan distribusi sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Jaringan distribusi primer umumnya beroperasi pada tegangan 20 kV, sedangkan jaringan distribusi sekunder bekerja pada tegangan 220/380 V yang digunakan untuk melayani kebutuhan listrik pelanggan perumahan, komersial, serta industri skala kecil.



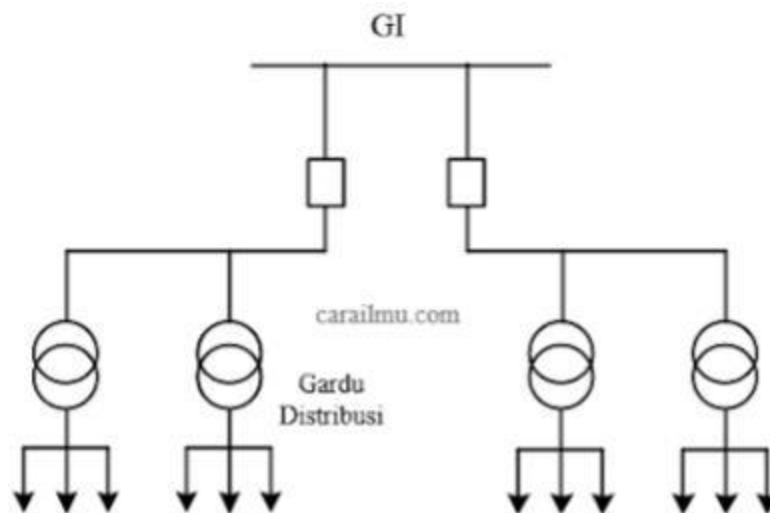
Gambar 2.1 Diagram Umum Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Komponen utama pada sistem distribusi tenaga listrik meliputi gardu induk, saluran penyaluran tenaga listrik, gardu distribusi atau transformator distribusi, jaringan tegangan menengah, jaringan tegangan rendah, serta beban pelanggan. Masing-masing komponen tersebut memiliki peranan tersendiri yang saling mendukung dalam menjaga kontinuitas dan keandalan penyaluran energi listrik kepada konsumen.

2.1.2 Jaringan Tegangan Rendah (JTR)

Jaringan Tegangan Rendah (JTR) merupakan jaringan distribusi tenaga listrik yang bekerja pada tegangan nominal di bawah 1.000 Volt. Di Indonesia, sistem tegangan rendah yang banyak diterapkan adalah sistem tiga fasa empat kawat, dengan tegangan antar fasa sebesar 380 V dan tegangan antara fasa dengan netral sebesar 220 V pada frekuensi 50 Hz.

Konfigurasi jaringan tegangan rendah yang umum digunakan terdiri dari beberapa bentuk, antara lain: (1) Jaringan radial, yaitu jaringan yang memiliki cabang-cabang yang berasal dari satu sumber, seperti gardu distribusi, kemudian menyalurkan daya secara satu arah menuju beban. Konfigurasi ini paling banyak diterapkan karena biaya pembangunannya relatif lebih ekonomis, meskipun tingkat keandalannya lebih rendah dibandingkan dengan konfigurasi lainnya. (2) Jaringan loop (*ring*), yaitu jaringan yang tersusun membentuk lingkaran sehingga beban dapat memperoleh suplai listrik dari dua arah. (3) Jaringan spindel, merupakan kombinasi antara konfigurasi radial dan *ring* yang umumnya digunakan pada wilayah perkotaan dengan kebutuhan listrik yang cukup tinggi.



Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Tegangan Rendah Radial

Penghantar pada jaringan tegangan rendah umumnya menggunakan kabel pilin atau twisted, seperti NFA2X, NYY, dan NAYY, serta dapat pula berupa penghantar udara tanpa isolasi. Pemilihan ukuran penghantar

disesuaikan dengan besarnya beban yang dilayani, yang umumnya berkisar antara 16 mm² sampai 150 mm² untuk konduktor berbahan aluminium.

2.1.3 Jatuh Tegangan (*Voltage Drop*)

Jatuh tegangan (*voltage drop*) merupakan perbedaan nilai tegangan antara sisi sumber (*sending end*) dan sisi beban (*receiving end*) pada suatu saluran yang dialiri arus listrik. Kondisi ini terjadi karena adanya impedansi penghantar, yang terdiri dari resistansi dan reaktansi, sehingga menimbulkan penurunan tegangan sepanjang saluran.

Jatuh tegangan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: besar arus yang mengalir, panjang penghantar, luas penampang penghantar, jenis bahan penghantar (resistivitas), faktor daya beban, dan konfigurasi jaringan. Semakin besar arus yang mengalir dan semakin panjang penghantar, maka semakin besar pula jatuh tegangan yang terjadi.

Besarnya jatuh tegangan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain arus yang mengalir, panjang penghantar, luas penampang konduktor, jenis bahan penghantar yang berkaitan dengan nilai resistivitas, faktor daya beban, serta konfigurasi jaringan yang digunakan. Semakin besar arus yang mengalir dan semakin panjang saluran penghantar, maka nilai jatuh tegangan yang terjadi juga akan semakin meningkat.

2.1.4 Rugi Daya (*Power Losses*)

Rugi daya (*power losses*) pada jaringan distribusi merupakan kehilangan daya yang terjadi akibat adanya resistansi pada penghantar yang dialiri arus listrik. Daya yang hilang tersebut tidak dapat dimanfaatkan oleh pelanggan dan termasuk dalam kerugian teknis (*technical losses*) yang perlu ditekan seminimal mungkin dalam pengoperasian sistem tenaga listrik.

Rugi daya pada jaringan distribusi umumnya terbagi menjadi dua komponen utama, yaitu rugi daya aktif (*P losses*) yang dinyatakan dalam satuan Watt atau kW, serta rugi daya reaktif (*Q losses*) yang dinyatakan dalam satuan VAR atau kVAR. Dalam analisis sistem distribusi, rugi daya aktif lebih

sering menjadi perhatian karena berhubungan langsung dengan tingkat efisiensi penyaluran energi listrik dan berpengaruh terhadap biaya operasional.

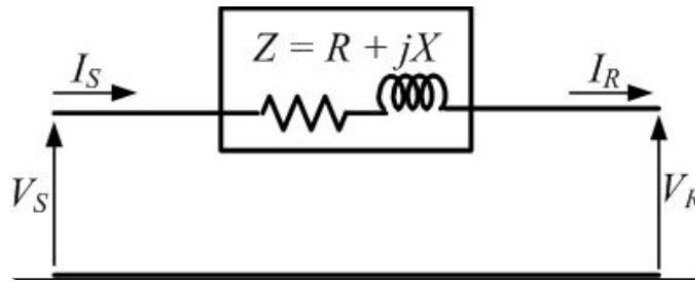
Rugi daya yang besar mengindikasikan efisiensi penyaluran yang rendah besarnya nilai rugi daya menunjukkan tingkat efisiensi penyaluran energi listrik, dimana rugi daya yang tinggi menandakan efisiensi jaringan yang rendah. Rugi daya terjadi akibat adanya hambatan/resistansi penghantar yang dialiri arus listrik. Ketika arus mengalir pada penghantar yang memiliki resistansi, sebagian energi listrik berubah menjadi panas sesuai hukum Joule. Semakin besar arus beban dan resistansi penghantar, maka rugi daya yang terjadi akan semakin besar.

2.1.5 Parameter Penghantar Jaringan

Setiap penghantar listrik memiliki parameter listrik yang berpengaruh terhadap kinerja penyaluran daya, yaitu resistansi, induktansi (reaktansi induktif), dan kapasitansi. Pada jaringan tegangan rendah dengan panjang saluran relatif pendek, umumnya kurang dari 10 km, pengaruh kapasitansi dapat diabaikan sehingga perhitungan biasanya hanya mempertimbangkan resistansi dan reaktansi induktif penghantar.

Nilai resistansi pada penghantar dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya jenis material yang digunakan seperti aluminium atau tembaga, luas penampang konduktor, panjang penghantar, serta suhu saat penghantar beroperasi.

Gambar 2.3 Parameter Penghantar pada Model Saluran Pendek



Nilai resistivitas aluminium pada suhu 20°C sekitar $2,82 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$, sedangkan tembaga memiliki resistivitas yang lebih kecil, yaitu sekitar $1,72 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$. Walaupun demikian, aluminium lebih sering digunakan sebagai penghantar karena memiliki berat yang lebih ringan serta biaya yang relatif lebih murah dibandingkan tembaga.

2.1.6 Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan salah satu peralatan penting dalam sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan tegangan menengah 20 kV menjadi tegangan rendah 220/380 V. Pada jaringan PLN, transformator distribusi yang digunakan umumnya memiliki kapasitas yang bervariasi, mulai dari 25 kVA hingga sekitar 1.600 kVA.

Kapasitas transformator perlu disesuaikan dengan besarnya beban yang dilayani. Apabila transformator mengalami pembebanan berlebih (*overload*), maka jatuh tegangan pada sisi sekunder akan meningkat dan rugi daya pada jaringan distribusi juga menjadi lebih besar. Untuk menjaga keandalan serta efisiensi pengoperasian, pembebanan transformator distribusi umumnya dijaga pada kisaran 70–80% dari kapasitas nominalnya.



Gambar 2.4 Transformator Distribusi Tiang (Pole Mounted Transformer)

2.1.7 Standar Kualitas Tegangan dan Keselamatan Instalasi (SPLN 72:1987 dan PUIL 2020)

SPLN 72:1987 merupakan Standar Perusahaan Listrik Negara yang mengatur spesifikasi desain untuk jaringan tegangan menengah dan jaringan tegangan rendah, termasuk di dalamnya batas toleransi jatuh tegangan yang diperbolehkan. Berdasarkan standar tersebut, jatuh tegangan pada sisi jaringan tegangan rendah tidak boleh melebihi 5% dari tegangan nominal, sedangkan pada jaringan tegangan menengah batas yang diizinkan adalah sebesar 5% hingga 10% tergantung pada karakteristik penyulang. Standar ini menjadi acuan utama PLN dalam merancang serta mengevaluasi kelayakan operasi jaringan distribusi tenaga listrik di seluruh wilayah kerja.

Selain SPLN 72:1987, acuan lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2020 yang ditetapkan melalui SNI 0225:2011. PUIL 2020 mengatur persyaratan teknis instalasi listrik secara umum, termasuk aspek keselamatan, kualitas pelayanan tenaga listrik, sistem pentanahan, serta kelaikan komponen jaringan seperti penghantar, sambungan, dan peralatan proteksi. Kesesuaian suatu jaringan distribusi dengan PUIL 2020 tidak hanya ditinjau dari besaran jatuh tegangan, tetapi juga dari kondisi fisik komponen jaringan yang berkaitan langsung dengan keselamatan pengguna dan keandalan penyaluran energi listrik.

Kedua standar tersebut saling melengkapi dalam proses evaluasi kinerja jaringan tegangan rendah. SPLN 72:1987 memberikan kriteria kuantitatif

berupa batas persentase jatuh tegangan, sementara PUIL 2020 memberikan kriteria kualitatif terkait kelaikan dan keselamatan instalasi. Dengan demikian, suatu jurusan pada jaringan tegangan rendah dapat dikategorikan tidak memenuhi standar apabila nilai $\% \Delta V$ melampaui 5% (SPLN 72:1987) dan/atau ditemukan kondisi fisik yang tidak laik seperti sambungan terkelupas, penghantar kendur, atau sistem pentanahan yang tidak berfungsi optimal (PUIL 2020).

Dalam praktiknya, PLN juga menetapkan indikator Tingkat Mutu Pelayanan (TMP) sebagai pelengkap SPLN 72:1987 dan PUIL 2020, yang mencakup aspek keandalan pasokan (frekuensi dan lama gangguan) serta kualitas tegangan pada titik sambungan pelanggan. Jaringan yang secara konsisten mengalami jatuh tegangan di luar batas SPLN 72:1987, seperti pada jurusan menuju TG62G dalam penelitian ini, berpotensi menurunkan capaian TMP dan berujung pada penurunan tingkat kepuasan pelanggan.

2.1.8 Klasifikasi Rugi-Rugi pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Rugi-rugi (*losses*) pada sistem distribusi tenaga listrik secara umum diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu rugi teknis (*technical losses*) dan rugi non-teknis (*non-technical losses*). Rugi teknis terjadi akibat karakteristik fisik peralatan dan penghantar yang dialiri arus listrik, misalnya rugi daya pada penghantar (I^2R losses), rugi inti pada transformator (*core losses/iron losses*), serta rugi akibat efek korona pada saluran tegangan tinggi. Pada jaringan

Rugi teknis itu sendiri dapat dibedakan menjadi rugi tetap (*fixed losses*) dan rugi variabel (*variable losses*). Rugi tetap terjadi terlepas dari besar kecilnya pembebanan, seperti rugi inti transformator distribusi, sedangkan rugi variabel berbanding lurus dengan kuadrat arus beban yang mengalir, sesuai dengan hukum Joule ($P_{losses} = I^2R$). Oleh karena itu, pada jurusan dengan pembebanan tinggi dan arus besar, kontribusi rugi variabel terhadap total rugi daya jaringan akan jauh lebih dominan dibandingkan rugi tetap.

Rugi non-teknis umumnya bersumber dari faktor non-fisik seperti pencurian tenaga listrik, kesalahan pencatatan meter, ketidaksesuaian rasio trafo arus/tegangan pada alat ukur, maupun kegagalan administrasi pencatatan

pemakaian energi. Berbeda dengan rugi teknis yang dapat dihitung secara analitis menggunakan parameter kelistrikan jaringan, rugi non-teknis umumnya dievaluasi melalui audit energi dan pemeriksaan administratif. Penelitian ini difokuskan pada analisis rugi teknis berupa rugi daya aktif dan reaktif yang timbul akibat resistansi dan reaktansi penghantar JTR.

Dari sisi operasional, rugi teknis yang tinggi pada suatu jurusan tidak hanya berdampak pada penurunan efisiensi penyaluran, tetapi juga berpotensi mempercepat penuaan (*aging*) komponen jaringan akibat panas berlebih pada penghantar dan titik sambungan. Oleh karena itu, identifikasi jurusan dengan rugi daya tinggi seperti dilakukan pada Bab IV penelitian ini penting sebagai dasar penentuan prioritas pemeliharaan jaringan.

2.1.9 Faktor Daya (*Power Factor*) dan Pengaruhnya terhadap Jatuh Tegangan

Faktor daya (*power factor*/ $\cos \phi$) merupakan perbandingan antara daya aktif (Watt) dengan daya semu (VA) yang diserap oleh suatu beban listrik. Nilai faktor daya berkisar antara 0 hingga 1, di mana semakin mendekati nilai 1 menunjukkan pemanfaatan daya listrik yang semakin efisien. Pada jaringan tegangan rendah PLN, beban pelanggan umumnya bersifat campuran antara resistif dan induktif, misalnya kombinasi lampu penerangan, peralatan elektronik, serta motor listrik berdaya kecil pada peralatan rumah tangga,

Faktor daya memiliki pengaruh langsung terhadap besarnya arus yang mengalir pada penghantar untuk menyalurkan daya aktif yang sama. Semakin rendah nilai $\cos \phi$, semakin besar arus yang dibutuhkan, sehingga jatuh tegangan dan rugi daya pada penghantar juga akan meningkat, sebagaimana tercermin pada persamaan $\Delta V = I(R \cos \phi + X \sin \phi)$, di mana komponen $R \cos \phi$ dan $X \sin \phi$ keduanya dipengaruhi oleh sudut faktor daya beban.

Perbaikan faktor daya, misalnya melalui pemasangan kapasitor bank atau kapasitor shunt pada titik beban induktif yang dominan, dapat menurunkan arus reaktif yang mengalir pada saluran sehingga turut menurunkan jatuh tegangan dan rugi daya tanpa perlu mengubah dimensi penghantar. Pendekatan ini umum digunakan sebagai solusi jangka pendek hingga menengah pada

jaringan distribusi yang mengalami permasalahan kualitas tegangan akibat beban induktif yang tinggi.

Pada penelitian ini, nilai $\cos \varphi = 0,85$ digunakan secara konsisten pada seluruh titik pengukuran sebagai bentuk penyederhanaan, mengingat data faktor daya aktual per pelanggan tidak tersedia secara individual. Asumsi ini merupakan pendekatan yang lazim digunakan pada studi jaringan tegangan rendah dengan keterbatasan data pengukuran langsung di lapangan.

2.1.10 Metode Perhitungan Jatuh Tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah

Secara umum terdapat dua pendekatan dalam menghitung jatuh tegangan pada saluran distribusi, yaitu metode eksak (*exact method*) dan metode pendekatan (*approximate method*). Metode eksak memperhitungkan hubungan fasor tegangan sisi kirim dan sisi terima secara lengkap, termasuk sudut fasa antar besaran, sehingga menghasilkan nilai yang lebih presisi namun memerlukan data pengukuran yang lebih kompleks seperti sudut fasa tegangan dan arus pada masing-masing titik.

Metode pendekatan, yang digunakan pada penelitian ini, menyederhanakan perhitungan dengan mengasumsikan bahwa sudut antara tegangan kirim dan tegangan terima relatif kecil, sehingga jatuh tegangan dapat dihitung menggunakan persamaan $\Delta V \approx I(R \cos \varphi + X \sin \varphi)$. Pendekatan ini valid untuk saluran distribusi dengan panjang relatif pendek seperti jaringan tegangan rendah, dan telah banyak digunakan pada studi-studi kelistrikan distribusi karena tingkat akurasi yang memadai dengan kompleksitas perhitungan yang jauh lebih sederhana.

Pada penelitian ini, oleh karena nilai arus beban aktual pada setiap jurusan JTR Gardu TG62H tidak tersedia dari hasil pengukuran langsung, maka digunakan pendekatan perhitungan terbalik (*reverse calculation*), yaitu nilai arus (I) diestimasi dari data jatuh tegangan hasil pengukuran (ΔV) yang telah tersedia, menggunakan persamaan $I = \Delta V / (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$. Arus hasil estimasi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan rugi

daya aktif, rugi daya reaktif, dan efisiensi penyaluran pada setiap titik pengukuran.

Konsekuensi dari penggunaan metode reverse-calculation ini adalah nilai arus yang diperoleh merupakan estimasi, bukan hasil pengukuran langsung dengan tang ampere. Meskipun demikian, pendekatan ini tetap relevan untuk tujuan analisis komparatif antar jurusan, karena parameter R dan X yang digunakan bersifat konsisten untuk seluruh titik pengukuran pada penyulang yang sama.

2.1.11 Ketidakseimbangan Beban (*Unbalanced Load*) pada Jaringan Tegangan Rendah

Ketidakseimbangan beban (*unbalanced load*) merupakan kondisi di mana besar arus pada masing-masing fasa (R, S, T) pada sistem tiga fasa tidak sama satu dengan yang lain. Kondisi ini umum terjadi pada jaringan tegangan rendah karena sifat beban pelanggan yang terhubung secara satu fasa (fasa-netral) dengan jumlah dan besar beban yang berbeda-beda pada tiap fasa, sehingga distribusi beban antar fasa sulit dijaga tetap seimbang sepanjang waktu operasi.

Ketidakseimbangan beban dapat dihitung dengan membandingkan penyimpangan arus pada tiap fasa terhadap arus rata-rata ketiga fasa, yang dinyatakan dalam persentase ketidakseimbangan (% unbalance). Dampak utama dari ketidakseimbangan beban adalah timbulnya arus pada penghantar netral yang seharusnya bernilai nol pada kondisi seimbang sempurna. Arus netral tersebut menimbulkan rugi daya tambahan (Setiawan & Rahman, 2021) serta berpotensi meningkatkan jatuh tegangan pada sisi beban, terutama pada fasa dengan pembebanan tertinggi.

Sebagai acuan operasional, PLN umumnya membatasi tingkat ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi tidak lebih dari 20-25% untuk menjaga umur peralatan dan kualitas tegangan yang disalurkan. Apabila ketidakseimbangan melebihi batas tersebut, diperlukan tindakan pemerataan beban antar fasa maupun antar jurusan sebagai langkah perbaikan.

Meskipun data arus per fasa tidak tersedia secara terperinci dalam penelitian ini, indikasi ketidakseimbangan beban dapat dilihat secara tidak

langsung dari variasi $\% \Delta V$ yang cukup besar antar jurusan (0,91% hingga 16,36%), yang mengindikasikan distribusi beban pelanggan antar jurusan dan kemungkinan antar fasa yang tidak merata pada JTR Gardu TG62H.

2.1.12 Sistem Pentanahan (*Grounding*) pada Jaringan Distribusi

Sistem pentanahan (*grounding/arde*) merupakan bagian penting dari instalasi jaringan distribusi tenaga listrik yang berfungsi untuk mengamankan peralatan dan manusia dari bahaya tegangan sentuh akibat kebocoran arus maupun gangguan hubung singkat ke tanah. Pada jaringan tegangan rendah PLN, sistem pentanahan umumnya diterapkan pada netral transformator distribusi (pentanahan sistem) serta pada badan peralatan dan tiang jaringan (pentanahan peralatan) sesuai konfigurasi sistem TN yang lazim digunakan.

Nilai tahanan pentanahan yang baik menjadi parameter penting dalam menjaga efektivitas sistem pentanahan. Berdasarkan PUIL 2020, nilai tahanan pentanahan yang direkomendasikan pada instalasi jaringan distribusi tegangan rendah adalah relatif kecil, idealnya di bawah 5 Ohm, agar mampu menyalurkan arus gangguan ke tanah secara efektif dan mengaktifkan sistem proteksi dengan cepat.

Kondisi sistem pentanahan yang tidak optimal, sebagaimana ditemukan pada beberapa titik jaringan JTR Gardu TG62H dalam penelitian ini, dapat mengurangi efektivitas proteksi terhadap gangguan tanah serta berpotensi menimbulkan ketidakstabilan tegangan netral pada sistem tiga fasa empat kawat (Nugraha & Santoso, 2020). Oleh karena itu, pemeriksaan dan perbaikan sistem pentanahan secara berkala merupakan bagian penting dari pemeliharaan jaringan tegangan rendah guna menjaga keandalan dan keselamatan operasional.

Pada penelitian ini, ditemukan 5 titik dengan kondisi arde tidak baik dari total 100 tiang penyangga yang diinspeksi, sebagaimana tercantum pada Tabel 4.2. Meskipun jumlah tersebut relatif kecil secara proporsi, perbaikannya tetap perlu diprioritaskan mengingat fungsi arde yang berkaitan langsung dengan keselamatan jiwa manusia, bukan hanya kualitas tegangan semata.

2.1.13 Metode dan Instrumen Pengukuran Tegangan di Lapangan

Pengukuran tegangan ujung (Vujung) pada jaringan tegangan rendah umumnya dilakukan menggunakan alat ukur multimeter digital atau voltmeter tang (*clamp meter*) pada titik sambungan pelanggan terjauh dari setiap jurusan. Pemilihan titik pengukuran pada pelanggan terjauh didasarkan pada prinsip bahwa titik tersebut merepresentasikan kondisi tegangan terburuk (*worst case*) pada jurusan yang bersangkutan, mengingat jatuh tegangan bersifat kumulatif sepanjang saluran dari sumber menuju beban.

Selain pengukuran tegangan, petugas PLN turut mencatat data pendukung seperti ID meter pelanggan sebagai referensi titik ukur serta waktu pengukuran, yang pada penelitian ini dilakukan pada kondisi pembebanan mendekati beban puncak agar hasil pengukuran mencerminkan kondisi jaringan yang paling kritis. Pendekatan ini konsisten dengan praktik umum PLN dalam melakukan asesmen kualitas tegangan jaringan tegangan rendah.

Akurasi hasil pengukuran tegangan sangat bergantung pada kalibrasi alat ukur serta kondisi cuaca dan beban saat pengukuran dilakukan. Oleh karena itu, data hasil pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data resmi yang telah didokumentasikan oleh petugas lapangan PLN UP3 Cengkareng, sehingga tingkat keandalannya dapat dipertanggungjawabkan sebagai dasar analisis jatuh tegangan dan rugi daya.

2.1.14 Pengaruh Suhu Penghantar terhadap Resistansi dan Jatuh Tegangan

Nilai resistansi penghantar tidak bersifat konstan, melainkan dipengaruhi oleh suhu operasional penghantar tersebut. Semakin tinggi suhu penghantar, semakin besar pula nilai resistansinya, sesuai dengan persamaan $R_t = R_{20} [1 + \alpha (T - 20)]$, dengan R_t adalah resistansi pada suhu T ($^{\circ}\text{C}$), R_{20} adalah resistansi pada suhu acuan 20°C , dan α adalah koefisien temperatur resistansi bahan penghantar (untuk aluminium, $\alpha \approx 0,00403/^{\circ}\text{C}$).

Pada kondisi pembebanan tinggi seperti yang terjadi pada Jurusan TG62H-4 dan TG62H-5 dengan estimasi arus mencapai 30,15 A, suhu penghantar berpotensi meningkat akibat panas yang timbul dari rugi daya I^2R ,

yang selanjutnya dapat meningkatkan nilai resistansi aktual di atas nilai $R = 1,2509 \Omega$ yang dihitung pada suhu acuan 20°C . Hal ini berarti nilai jatuh tegangan dan rugi daya aktual pada jurusan-jurusan tersebut berpotensi sedikit lebih tinggi dari hasil perhitungan pada penelitian ini.

Mengingat keterbatasan data suhu operasional penghantar secara langsung di lapangan, penelitian ini menggunakan nilai resistansi pada suhu acuan 20°C sebagaimana lazim digunakan pada studi-studi sejenis. Pengaruh suhu terhadap resistansi ini dapat menjadi salah satu arah pengembangan penelitian selanjutnya, khususnya untuk jurusan dengan pembebanan tinggi yang teridentifikasi pada penelitian ini.

2.1.15 Pemeliharaan dan Inspeksi Jaringan Tegangan Rendah

Pemeliharaan jaringan tegangan rendah merupakan kegiatan rutin yang bertujuan menjaga keandalan dan kualitas penyaluran tenaga listrik, mencakup inspeksi visual kondisi tiang, penghantar, dan sambungan, pengukuran tegangan ujung secara berkala, serta perbaikan atau penggantian komponen yang mengalami kerusakan. Kegiatan inspeksi lapangan sebagaimana menjadi sumber data utama penelitian ini merupakan salah satu bentuk pemeliharaan preventif yang dilakukan PLN untuk mendeteksi potensi gangguan sebelum berdampak pada pelanggan.

kualitas sambungan (baik/*bare joint*/*joint* rantas), serta kondisi sistem pentanahan, sebagaimana hasil temuannya disajikan pada Tabel 4.2 penelitian ini. Temuan-temuan tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar penyusunan rencana kerja pemeliharaan dan perbaikan jaringan oleh unit terkait di PLN UP3 Cengkareng.

Selain pemeliharaan preventif, PLN juga menerapkan pemeliharaan korektif yang dilakukan segera setelah ditemukan gangguan atau kondisi tidak laik pada jaringan, seperti perbaikan *bare joint* dan *joint* rantas yang berisiko menimbulkan titik panas. Kombinasi pemeliharaan preventif dan korektif yang terjadwal dengan baik diharapkan dapat menekan frekuensi gangguan serta menjaga jatuh tegangan dan rugi daya tetap berada dalam batas standar yang ditetapkan.

2.1.16 Pengaruh Ukuran Penampang Penghantar terhadap Jatuh Tegangan

Ukuran penampang penghantar (luas konduktor) memiliki pengaruh berbanding terbalik terhadap nilai resistansi, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan $R = \rho (L/A)$, di mana semakin besar luas penampang (A), semakin kecil nilai resistansi penghantar untuk panjang saluran yang sama. Konsekuensinya, penggunaan penghantar dengan penampang lebih besar akan menurunkan jatuh tegangan dan rugi daya, namun juga meningkatkan biaya investasi material.

Pada JTR Gardu TG62H, seluruh jaringan menggunakan konfigurasi penampang penghantar yang sama, yaitu $3 \times 70 \text{ mm}^2 + N$, sebagaimana tercantum pada Tabel 4.1. Dengan penampang yang seragam, variasi jatuh tegangan antar jurusan yang ditemukan pada penelitian ini (0,91% hingga 16,36%) murni disebabkan oleh perbedaan panjang saluran dan besar pembebanan pada masing-masing jurusan, bukan oleh perbedaan spesifikasi penghantar.

Sebagai salah satu alternatif solusi teknis jangka panjang, PLN dapat mempertimbangkan penggantian sebagian penghantar pada jurusan dengan jatuh tegangan tertinggi (TG62H-4 dan TG62H-5) menjadi penampang yang lebih besar, misalnya 95 mm^2 atau 120 mm^2 , sebagai pelengkap dari rekomendasi pemerataan beban dan perbaikan sambungan yang telah diuraikan pada sub-bab 4.10.2, meskipun opsi ini memerlukan kajian kelayakan biaya lebih lanjut.

2.1.17 Sistem Tiga Fasa Empat Kawat

Sistem tiga fasa empat kawat merupakan salah satu konfigurasi yang banyak digunakan pada jaringan distribusi tegangan rendah. Sistem ini terdiri dari tiga penghantar fasa, yaitu fasa R, S, dan T, serta satu penghantar netral. Konfigurasi tersebut memungkinkan sistem distribusi melayani beban tiga fasa

sekaligus beban satu fasa yang terhubung antara salah satu fasa dengan penghantar netral.

Pada jaringan tegangan rendah, sistem tiga fasa empat kawat memiliki peranan penting karena karakteristik beban pelanggan pada umumnya tidak sama. Pelanggan rumah tangga biasanya menggunakan suplai satu fasa, sedangkan pelanggan tertentu dapat menggunakan suplai tiga fasa. Dengan demikian, beban pada masing-masing fasa dapat mengalami perbedaan besar arus. Perbedaan tersebut dapat menyebabkan kondisi ketidakseimbangan beban.

Pada kondisi ideal, pembebanan ketiga fasa memiliki nilai yang sama sehingga jumlah vektor arus pada ketiga fasa menghasilkan arus netral yang mendekati nol. Namun, dalam kondisi operasi sebenarnya, distribusi pelanggan yang berbeda-beda menyebabkan arus pada fasa R, S, dan T tidak selalu sama. Akibatnya, penghantar netral tetap dialiri arus.

Ketidakseimbangan tersebut perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi kualitas tegangan dan rugi-rugi daya jaringan. Semakin besar ketidakseimbangan beban, semakin besar kemungkinan munculnya arus netral dan tambahan rugi daya pada penghantar. Kondisi ini menjadi salah satu aspek penting dalam evaluasi jaringan tegangan rendah.

Pada jaringan JTR Gardu TG62H, indikasi ketidakseimbangan dapat ditinjau melalui perbedaan kondisi tegangan antar titik pengukuran. Meskipun penelitian ini tidak memiliki data arus masing-masing fasa secara lengkap, variasi nilai jatuh tegangan dapat digunakan sebagai indikasi awal adanya perbedaan pembebanan antar jurusan.

2.1.18 Tegangan Fasa dan Tegangan Antar Fasa

Sistem tiga fasa empat kawat merupakan salah satu konfigurasi yang banyak digunakan pada jaringan distribusi tegangan rendah. Sistem ini terdiri dari tiga penghantar fasa, yaitu fasa R, S, dan T, serta satu penghantar netral. Konfigurasi tersebut memungkinkan sistem distribusi melayani beban tiga fasa

sekaligus beban satu fasa yang terhubung antara salah satu fasa dengan penghantar netral.

Pada jaringan tegangan rendah, sistem tiga fasa empat kawat memiliki peranan penting karena karakteristik beban pelanggan pada umumnya tidak sama. Pelanggan rumah tangga biasanya menggunakan suplai satu fasa, sedangkan pelanggan tertentu dapat menggunakan suplai tiga fasa. Dengan demikian, beban pada masing-masing fasa dapat mengalami perbedaan besar arus. Perbedaan tersebut dapat menyebabkan kondisi ketidakseimbangan beban.

Pada kondisi ideal, pembebanan ketiga fasa memiliki nilai yang sama sehingga jumlah vektor arus pada ketiga fasa menghasilkan arus netral yang mendekati nol. Namun, dalam kondisi operasi sebenarnya, distribusi pelanggan yang berbeda-beda menyebabkan arus pada fasa R, S, dan T tidak selalu sama. Akibatnya, penghantar netral tetap dialiri arus.

Ketidakseimbangan tersebut perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi kualitas tegangan dan rugi-rugi daya jaringan. Semakin besar ketidakseimbangan beban, semakin besar kemungkinan munculnya arus netral dan tambahan rugi daya pada penghantar. Kondisi ini menjadi salah satu aspek penting dalam evaluasi jaringan tegangan rendah.

Pada jaringan JTR Gardu TG62H, indikasi ketidakseimbangan dapat ditinjau melalui perbedaan kondisi tegangan antar titik pengukuran. Meskipun penelitian ini tidak memiliki data arus masing-masing fasa secara lengkap, variasi nilai jatuh tegangan dapat digunakan sebagai indikasi awal adanya perbedaan pembebanan antar jurusan.

2.1.19 Arus Beban pada Jaringan Tegangan Rendah

Tegangan pada sistem tiga fasa dapat dinyatakan sebagai tegangan fasa-netral dan tegangan antar fasa. Pada sistem tegangan rendah yang digunakan dalam penelitian ini, tegangan nominal fasa-netral adalah sekitar 220 Volt, sedangkan tegangan antar fasa sekitar 380 Volt.

Tegangan fasa merupakan tegangan yang diukur antara salah satu penghantar fasa dengan penghantar netral. Besaran ini menjadi sangat penting karena sebagian besar pelanggan rumah tangga memperoleh suplai melalui hubungan fasa-netral. Oleh sebab itu, perubahan tegangan fasa pada ujung jaringan secara langsung dirasakan oleh pelanggan.

Tegangan antar fasa merupakan tegangan yang diukur antara dua penghantar fasa. Nilainya lebih tinggi dibandingkan tegangan fasa-netral karena hubungan geometris dan sudut fasa dalam sistem tiga fasa. Dalam kondisi seimbang, hubungan antara tegangan antar fasa dan tegangan fasa dapat dinyatakan melalui faktor $\sqrt{3}$.

Dalam analisis jaringan tegangan rendah, pengukuran tegangan ujung umumnya difokuskan pada tegangan yang diterima pelanggan. Hal tersebut dilakukan karena kualitas tegangan pada titik pelanggan merupakan salah satu indikator keberhasilan penyaluran energi listrik.

Apabila tegangan pada sisi ujung mengalami penurunan yang besar, maka peralatan pelanggan akan menerima tegangan yang lebih rendah daripada kondisi nominal. Penurunan tersebut perlu dibandingkan dengan batas yang ditetapkan dalam standar agar dapat diketahui apakah kondisi jaringan masih dapat diterima.

2.1.20 Beban Puncak pada Sistem Distribusi

Eban puncak merupakan kondisi ketika penggunaan daya listrik pada suatu jaringan mencapai nilai yang relatif tinggi dibandingkan periode lainnya. Pada sistem distribusi tenaga listrik, kondisi beban puncak menjadi salah satu kondisi yang penting dalam evaluasi karena kemampuan jaringan harus mampu memenuhi kebutuhan pelanggan ketika permintaan listrik meningkat.

Pada pelanggan rumah tangga, beban puncak umumnya terjadi pada waktu ketika aktivitas masyarakat meningkat, misalnya pada sore hingga malam hari. Penggunaan penerangan, televisi, pendingin ruangan, pompa air, peralatan elektronik, serta peralatan rumah tangga lainnya dapat terjadi secara bersamaan.

Ketika beban meningkat, arus yang mengalir pada penghantar juga meningkat. Peningkatan arus tersebut menyebabkan rugi daya dan jatuh tegangan meningkat. Oleh karena itu, jaringan yang terlihat masih baik pada kondisi beban rendah belum tentu memiliki kondisi yang sama ketika berada pada beban puncak.

Dalam penelitian jaringan JTR Gardu TG62H, kondisi pengukuran tegangan ujung menjadi penting karena data tersebut menggambarkan keadaan jaringan pada saat dilakukan pengukuran. Nilai tegangan ujung yang rendah menunjukkan bahwa terdapat penurunan tegangan yang cukup besar sepanjang saluran.

Evaluasi pada kondisi beban tinggi diperlukan untuk menentukan apakah jaringan memiliki kapasitas yang memadai. Apabila suatu jurusan mengalami jatuh tegangan tinggi pada kondisi beban puncak, maka tindakan perbaikan perlu dipertimbangkan agar kualitas tegangan tetap terjaga.

2.1.21 Hubungan Arus dengan Jatuh Tegangan

Beban puncak merupakan kondisi ketika penggunaan daya listrik pada suatu jaringan mencapai nilai yang relatif tinggi dibandingkan periode lainnya. Pada sistem distribusi tenaga listrik, kondisi beban puncak menjadi salah satu kondisi yang penting dalam evaluasi karena kemampuan jaringan harus mampu memenuhi kebutuhan pelanggan ketika permintaan listrik meningkat.

Pada pelanggan rumah tangga, beban puncak umumnya terjadi pada waktu ketika aktivitas masyarakat meningkat, misalnya pada sore hingga malam hari. Penggunaan penerangan, televisi, pendingin ruangan, pompa air, peralatan elektronik, serta peralatan rumah tangga lainnya dapat terjadi secara bersamaan.

Ketika beban meningkat, arus yang mengalir pada penghantar juga meningkat. Peningkatan arus tersebut menyebabkan rugi daya dan jatuh tegangan meningkat. Oleh karena itu, jaringan yang terlihat masih baik pada kondisi beban rendah belum tentu memiliki kondisi yang sama ketika berada pada beban puncak.

Dalam penelitian jaringan JTR Gardu TG62H, kondisi pengukuran tegangan ujung menjadi penting karena data tersebut menggambarkan keadaan jaringan pada saat dilakukan pengukuran. Nilai tegangan ujung yang rendah menunjukkan bahwa terdapat penurunan tegangan yang cukup besar sepanjang saluran.

Evaluasi pada kondisi beban tinggi diperlukan untuk menentukan apakah jaringan memiliki kapasitas yang memadai. Apabila suatu jurusan mengalami jatuh tegangan tinggi pada kondisi beban puncak, maka tindakan perbaikan perlu dipertimbangkan agar kualitas tegangan tetap terjaga.

2.1.22 Beban Puncak pada Sistem Distribusi

Jatuh tegangan dan rugi daya merupakan dua parameter yang saling berkaitan dalam sistem distribusi tenaga listrik. Keduanya dipengaruhi oleh arus dan karakteristik penghantar. Ketika arus yang mengalir semakin besar, penurunan tegangan pada saluran dan daya yang hilang pada penghantar juga meningkat.

Rugi daya aktif dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$P_{loss} = I^2R$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa rugi daya meningkat secara kuadrat terhadap arus. Oleh sebab itu, jaringan yang mempunyai arus tinggi akan mengalami rugi daya lebih besar dibandingkan jaringan dengan arus rendah apabila nilai resistansinya sama.

Jatuh tegangan juga meningkat ketika arus bertambah. Dengan demikian, jurusan yang mempunyai nilai jatuh tegangan tinggi biasanya perlu diperiksa lebih lanjut karena dapat memiliki rugi daya yang tinggi pula.

Hubungan tersebut terlihat pada hasil penelitian JTR Gardu TG62H. Nilai jatuh tegangan pada beberapa jurusan menuju Gardu TG62G jauh lebih tinggi dibandingkan jurusan lainnya. Kondisi tersebut juga diikuti oleh peningkatan estimasi rugi daya.

Dari sudut pandang pengoperasian jaringan, tingginya rugi daya menunjukkan bahwa sebagian energi yang disalurkan tidak sampai menjadi

energi yang dapat dimanfaatkan pelanggan. Energi tersebut berubah menjadi panas pada penghantar akibat resistansi.

Oleh karena itu, analisis jatuh tegangan tidak cukup hanya melihat kualitas tegangan pelanggan. Analisis juga perlu dikaitkan dengan rugi daya agar kondisi efisiensi penyaluran dapat diketahui secara lebih menyeluruh.

2.2 Penelitian Terkait

Sejumlah studi terdahulu telah membahas analisis jatuh tegangan dan rugi daya pada jaringan distribusi tegangan rendah. Hasil dari penelitian-penelitian tersebut dijadikan sebagai bahan rujukan sekaligus dasar dalam pelaksanaan penelitian ini.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan dan Susanto (2021), dilakukan analisis jatuh tegangan pada jaringan tegangan rendah di wilayah Jakarta Selatan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa beberapa titik pada penyulang memiliki nilai jatuh tegangan yang melampaui 5%, terutama pada bagian ujung jaringan yang berjarak cukup jauh dari gardu distribusi. Sebagai upaya perbaikan, penelitian tersebut merekomendasikan pemerataan beban serta pemasangan kapasitor bank untuk menurunkan nilai jatuh tegangan.

Pratama et al. (2020) melakukan analisis terhadap rugi daya pada sistem distribusi 20 kV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingginya rugi daya terutama dipengaruhi oleh kondisi beban yang tidak seimbang pada masing-masing fasa. Ketidakseimbangan tersebut menyebabkan arus pada penghantar netral menjadi lebih besar, sehingga rugi daya yang terjadi ikut meningkat secara signifikan.

Hermawan (2022) melakukan penelitian dengan menerapkan metode Newton-Raphson pada simulasi aliran daya untuk mengevaluasi profil tegangan di jaringan tegangan rendah. Berdasarkan hasil simulasi, diketahui bahwa jaringan dengan panjang saluran melebihi 200 meter cenderung lebih mudah mengalami jatuh tegangan di atas batas yang diperbolehkan, terutama ketika sistem berada pada kondisi beban puncak.

Rahayu dan Wicaksono (2022) mengkaji pengaruh pemasangan kapasitor kompensasi terhadap penurunan jatuh tegangan dan rugi daya pada jaringan

distribusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penempatan kapasitor shunt pada titik yang sesuai mampu menurunkan jatuh tegangan hingga 3,2% serta mengurangi rugi daya aktif sampai 12,7%. Temuan tersebut dapat dijadikan rujukan dalam menentukan langkah perbaikan yang tepat.

Abduh dan Saodah (2020) melakukan analisis jatuh tegangan dan rugi daya pada jaringan distribusi tegangan rendah menggunakan metode load flow. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode load flow mampu memberikan estimasi jatuh tegangan yang mendekati hasil pengukuran lapangan, khususnya pada jurusan dengan panjang saluran yang bervariasi, sehingga metode ini direkomendasikan sebagai alat bantu evaluasi kualitas tegangan pada jaringan sekunder.

Arif, Budiman, dan Nugroho (2021) melakukan studi perbaikan jatuh tegangan pada jaringan tegangan rendah dengan pemasangan kapasitor bank di PLN UP3 Tangerang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan kapasitor bank pada titik beban induktif yang dominan mampu menurunkan jatuh tegangan secara signifikan tanpa perlu mengganti penghantar, menjadikannya solusi yang relatif ekonomis untuk jaringan dengan keterbatasan anggaran perbaikan fisik.

Diantoro, Supriyono, dan Wahyudi (2022) mengevaluasi kualitas tegangan dan efisiensi penyaluran daya pada jaringan distribusi 380 V. Penelitian tersebut menemukan bahwa efisiensi penyaluran menurun signifikan pada jurusan dengan jarak lebih dari 300 meter dari gardu distribusi, serta merekomendasikan pemendekan saluran melalui penambahan gardu sisipan sebagai solusi jangka panjang.

Firmansyah dan Wibowo (2020) menganalisis susut teknis pada jaringan tegangan rendah dengan studi kasus gardu distribusi di wilayah Jakarta Barat, lokasi yang berdekatan dengan objek penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi fisik jaringan yang kurang terawat, seperti sambungan yang longgar dan penghantar yang kendur, berkontribusi signifikan terhadap peningkatan susut teknis di luar faktor jarak dan pembebanan.

Harahap, Azis, dan Simatupang (2021) melakukan simulasi aliran daya pada jaringan distribusi tegangan rendah menggunakan perangkat lunak ETAP 16. Hasil simulasi dibandingkan dengan hasil perhitungan manual dan menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi, sehingga mengonfirmasi validitas penggunaan metode perhitungan manual berbasis persamaan jatuh tegangan pendekatan untuk studi jaringan tegangan rendah berskala kecil hingga menengah.

Mulyana, Suhendi, dan Nurhakim (2020) melakukan perencanaan jaringan distribusi tegangan rendah untuk mengurangi *losses* dan meningkatkan kualitas tegangan. Penelitian tersebut menekankan pentingnya pemilihan ukuran penampang penghantar yang sesuai dengan proyeksi pertumbuhan beban jangka panjang agar jatuh tegangan dan rugi daya tetap berada dalam batas standar meski beban pelanggan terus bertambah.

Saputra, Luthfi, dan Ridwan (2023) menganalisis kualitas tegangan dan rugi daya pada jaringan tegangan rendah dengan studi kasus di PLN UP3 Bekasi. Penelitian ini menemukan pola yang serupa dengan kondisi pada penelitian ini, yaitu jurusan dengan jumlah sambungan rumah yang terkonsentrasi dan jarak terjauh dari gardu distribusi cenderung mengalami jatuh tegangan dan rugi daya paling besar dibandingkan jurusan lainnya.

Suherman, Yulistia, dan Priyanto (2021) melakukan optimasi penempatan trafo distribusi untuk meminimalkan jatuh tegangan pada jaringan tegangan rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa relokasi atau penambahan gardu sisipan pada titik dengan pembebanan tinggi mampu menurunkan rata-rata jatuh tegangan jaringan secara keseluruhan, sejalan dengan salah satu rekomendasi teknis yang diusulkan pada penelitian ini.

Wijaya, Nurhadi, dan Purnomo (2022) melakukan studi analisis aliran daya sistem distribusi tegangan rendah menggunakan metode Gauss-Seidel. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode iteratif tersebut efektif digunakan pada jaringan dengan banyak percabangan (multi-jurusan) seperti pada konfigurasi radial, meskipun untuk kebutuhan evaluasi cepat di lapangan, metode perhitungan pendekatan tetap lebih praktis digunakan.

Yulianto, Mulyono, dan Amri (2020) menganalisis pengaruh panjang saluran terhadap jatuh tegangan dan rugi daya pada jaringan distribusi sekunder. Hasil penelitian menunjukkan adanya korelasi positif yang kuat antara panjang saluran dengan besarnya jatuh tegangan dan rugi daya, yang mengonfirmasi bahwa faktor jarak merupakan salah satu penyebab utama permasalahan kualitas tegangan pada jaringan tegangan rendah, sebagaimana juga ditemukan pada jurusan menuju TG62G dalam penelitian ini.

Secara keseluruhan, keempat belas studi terdahulu yang diuraikan di atas menunjukkan bahwa permasalahan jatuh tegangan dan rugi daya pada jaringan tegangan rendah secara konsisten dipengaruhi oleh faktor panjang saluran, besar pembebanan, ketidakseimbangan beban, serta kondisi fisik jaringan. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut hanya berfokus pada satu atau dua aspek analisis saja. Penelitian ini berupaya mengisi celah tersebut dengan melakukan analisis yang lebih menyeluruh, sebagaimana diuraikan pada sub-bab berikut.

2.3 Perbandingan Posisi Penelitian dengan Studi Terdahulu

Untuk memperjelas posisi dan kontribusi penelitian ini terhadap studi-studi terdahulu yang telah diuraikan pada sub-bab 2.2, Tabel 2.1 menyajikan perbandingan metode, objek, dan temuan utama antara penelitian ini dengan beberapa penelitian sejenis.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Ini

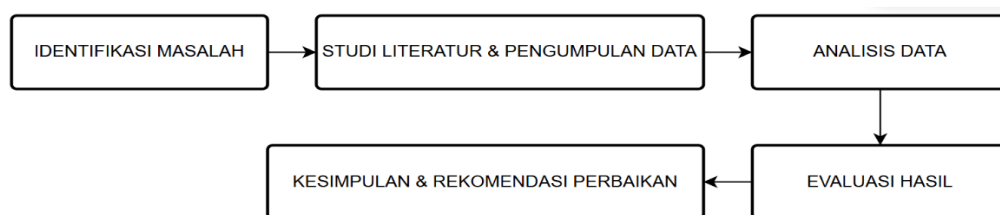
Peneliti (Tahun)	Metode	Objek Penelitian	Temuan Utama
Kurniawan & Susanto (2021)	Perhitungan manual + ETAP	JTR Jakarta Selatan	Titik ujung jaringan berjarak jauh mengalami $\% \Delta V > 5\%$
Pratama et al. (2020)	Perhitungan manual	Distribusi 20 kV	Ketidakseimbangan beban meningkatkan rugi daya
Hermawan (2022)	Simulasi Newton-Raphson	JTR simulasi	Saluran > 200 m rentan jatuh tegangan pada beban puncak
Firmansyah & Wibowo (2020)	Perhitungan manual	Gardu distribusi Jakarta Barat	Kondisi fisik jaringan berkontribusi pada susut teknis
Saputra et al.	Perhitungan manual	JTR PLN UP3	Jurusan dengan SR

(2023)				Bekasi	terkonsentrasi memiliki % ΔV tertinggi
Penelitian (2026)	ini	Perhitungan (pendekatan $I(R\cos\phi + X\sin\phi)$)	manual $\Delta V =$	JTR Gardu TG62H, PLN UP3 Cengkareng	Estimasi I , P_{losses} , Q_{losses} , dan η pada seluruh 10 titik pengukuran; jurusan TG62G tidak memenuhi SPLN 72:1987

Berdasarkan Tabel 2.1, penelitian-penelitian terdahulu umumnya berfokus pada satu aspek analisis, seperti jatuh tegangan saja atau rugi daya saja, serta sebagian besar menggunakan bantuan perangkat lunak simulasi seperti ETAP atau metode Newton-Raphson. Penelitian ini melengkapi kajian tersebut dengan melakukan analisis komprehensif secara manual, meliputi jatuh tegangan, estimasi arus, rugi daya aktif, rugi daya reaktif, dan efisiensi penyaluran secara sekaligus pada seluruh titik pengukuran yang tersedia, sehingga diperoleh gambaran yang lebih menyeluruh mengenai kondisi kelistrikan JTR Gardu TG62H.

2.4 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran disusun berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi serta hasil kajian pustaka yang telah dilakukan. Kerangka ini menunjukkan alur berpikir yang sistematis mulai dari identifikasi masalah hingga diperoleh kesimpulan dan rekomendasi dari penelitian.



Gambar 2.5 Kerangka Pemikiran Penelitian

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan studi kasus yang bersifat deskriptif analitis. Pelaksanaannya dilakukan melalui pengumpulan data teknis serta data lapangan pada jaringan tegangan rendah di PLN UP3 Cengkareng. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan perhitungan matematis untuk menentukan besarnya jatuh tegangan dan rugi daya yang terjadi.

Metode penelitian yang diterapkan meliputi observasi langsung di lapangan serta analisis dokumen. Observasi dilakukan untuk memperoleh data hasil pengukuran tegangan dan arus secara langsung, sementara analisis dokumen dimanfaatkan untuk mengumpulkan data teknis jaringan yang bersumber dari arsip PLN UP3 Cengkareng.

3.2 Populasi dan Sampel

Populasi pada penelitian ini mencakup seluruh jaringan tegangan rendah yang berada di area kerja PLN UP3 Cengkareng. Wilayah tersebut meliputi beberapa gardu distribusi yang tersebar di Kecamatan Cengkareng, Kalideres, Grogol Petamburan, Tambora, serta wilayah sekitarnya.

Metode pengambilan sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah purposive sampling, yaitu penentuan sampel berdasarkan pertimbangan tertentu yang disesuaikan dengan tujuan penelitian. Kriteria sampel yang ditetapkan meliputi: (1) gardu distribusi dengan tingkat pembebanan melebihi 70% dari kapasitas nominal, (2) penyulang yang memiliki panjang saluran lebih dari 150 meter, serta (3) wilayah yang menerima laporan keluhan tegangan rendah dari pelanggan.

Berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan, dipilih tiga sampel gardu distribusi beserta penyulang tegangan rendah yang dianggap mewakili kondisi jaringan di wilayah PLN UP3 Cengkareng, dengan menggambarkan variasi beban berat, sedang, dan ringan.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Kedua jenis data tersebut diperoleh melalui beberapa teknik pengumpulan data sebagai berikut:

3.3.1 Data Primer

Data primer diperoleh dari hasil pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan alat ukur yang telah dikalibrasi. Pengambilan data dilakukan pada saat beban puncak yang umumnya terjadi antara pukul 17.00–22.00 WIB, serta pada kondisi beban rendah (*off peak*) sekitar pukul 00.00–06.00 WIB. Adapun data primer yang dikumpulkan meliputi:

1. Pengukuran Tegangan (V):

Pengukuran tegangan dilakukan pada busbar sekunder transformator distribusi sebagai titik sumber, serta pada ujung saluran jaringan tegangan rendah sebagai titik beban terjauh. Pengambilan data menggunakan multimeter digital atau tang ampere yang dilengkapi fitur pengukuran tegangan AC. Nilai tegangan kemudian dicatat setiap 30 menit selama periode 24 jam guna memperoleh profil tegangan harian.

2. Pengukuran Arus Beban (I):

Pengukuran arus dilakukan dengan menggunakan tang ampere (*clamp meter*) pada setiap penghantar fasa R, S, dan T, serta pada penghantar netral (N) di panel utama sisi sekunder gardu distribusi. Pengambilan data ini bertujuan untuk mengetahui besarnya beban yang mengalir sekaligus mengidentifikasi tingkat ketidakseimbangan beban antar fasa.

3. Pengukuran Faktor Daya ($\cos \phi$):

Pengukuran faktor daya dilakukan menggunakan power meter atau power quality analyzer. Nilai faktor daya ini digunakan sebagai parameter pendukung agar perhitungan jatuh tegangan dan rugi daya dapat dilakukan dengan lebih akurat.

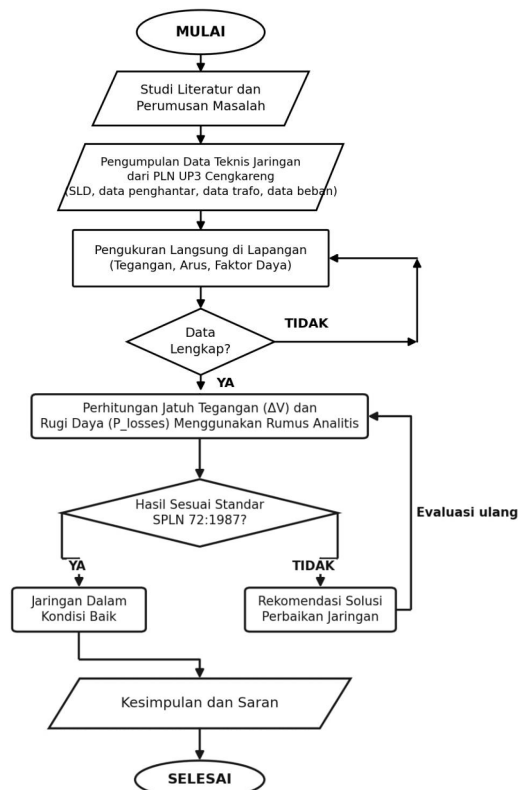
3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumen teknis yang tersedia di PLN UP3 Cengkareng serta berbagai sumber referensi pendukung lainnya. Adapun data sekunder yang dikumpulkan meliputi:

1. *Single Line Diagram* (SLD) Jaringan: Peta jaringan tegangan rendah yang menggambarkan konfigurasi, topologi, dan konektivitas setiap saluran dan beban pada jaringan.
2. Data Teknis Penghantar: Jenis penghantar (NFA2X, NYY, dll.), luas penampang, panjang saluran, dan nilai resistansi serta reaktansi per satuan panjang (Ω/km) dari setiap penyulang.
3. Data Transformator Distribusi: Kapasitas (kVA), tegangan nominal, impedansi trafo, dan data pembebanan rata-rata.

3.3.3 Flowchart Pengumpulan Data dan Analisis

Prosedur pengumpulan data dan analisis digambarkan dalam *flowchart* berikut:



Gambar 3.1 Flowchart Alur Penelitian

3.4 Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara matematis menggunakan persamaan-persamaan yang telah ditetapkan dalam teori sistem tenaga listrik. Berikut adalah rumus-rumus yang digunakan:

3.4.1 Rumus Perhitungan Resistansi Penghantar

Resistansi penghantar dihitung berdasarkan resistivitas bahan, panjang, dan luas penampang penghantar:

$$R = \rho \times \left(\frac{L}{A}\right) \quad (3.1)$$

Keterangan:

R = Resistansi penghantar (Ω)

ρ = Resistivitas bahan penghantar ($\Omega \text{ m}$); ρ aluminium = $2,82 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$

L = Panjang penghantar (m)

A = Luas penampang penghantar (m^2)

3.4.2 Rumus Perhitungan Jatuh Tegangan

Perhitungan jatuh tegangan pada saluran distribusi tegangan rendah menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta V = V_{nominal} - V_{ujung} \quad (3.2)$$

Keterangan:

ΔV = Jatuh tegangan (Volt)

$V_{nominal}$ = Tegangan Nominal Sistem (Volt)

V_{ujung} = Tegangan Diujung Jaringan (Volt)

Persentase jatuh tegangan dihitung dengan persamaan:

$$\% \Delta V = \left(\frac{\Delta V}{V_{nominal}} \right) \times 100\% \quad (3.3)$$

Standar batas yang diizinkan menurut SPLN 72:1987 adalah:

$\% \Delta V \leq 5\%$ dari tegangan nominal.

3.4.3 Rumus Perhitungan Rugi Daya Aktif

Rugi daya aktif pada setiap segmen saluran dihitung menggunakan persamaan:

$$P_{losses} = I^2 \times R \quad (3.4)$$

Keterangan:

P_{losses} = Rugi daya aktif (Watt)

I = Arus yang mengalir pada saluran (Ampere)

R = Resistansi saluran (Ω)

3.4.4 Rumus Perhitungan Rugi Daya Reaktif

Rugi daya reaktif pada saluran distribusi dihitung menggunakan persamaan:

$$Q_{losses} = I^2 \times X \quad (3.5)$$

Keterangan:

Q_{losses} = Rugi daya reaktif (VAR)

I = Arus yang mengalir pada saluran (Ampere)

X = Reaktansi saluran (Ω)

3.4.5 Rumus Perhitungan Efisiensi Penyaluran

Efisiensi penyaluran daya pada jaringan distribusi dihitung dengan persamaan:

$$P_{\text{ kirim }} = V \times I \times \cos \varphi \quad (3.6)$$

$$P_{\text{ diterima }} = P_{\text{ kirim }} - P_{\text{ losses }} \quad (3.7)$$

$$\eta = \left(\frac{P_{\text{ diterima }}}{P_{\text{ kirim }}} \right) \times 100\% \quad (3.8)$$

Keterangan:

V = Efisiensi penyaluran (%)

I = Arus yang mengalir pada saluran (Ampere)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

η = Efisiensi penyaluran (%)

$P_{\text{ diterima }}$ = Daya yang diterima di sisi beban (Watt)

$P_{\text{ kirim }}$ = Daya yang dikirim dari sisi sumber (Watt)

$P_{\text{ losses }}$ = Total rugi daya aktif (Watt)

3.4.6 Rumus Perhitungan Estimasi Arus Beban

Estimasi Arus Beban pada jaringan distribusi dihitung dengan persamaan:

$$I = \frac{\Delta V}{(R \cos \varphi + X \sin \varphi)} \quad (3.9)$$

Keterangan:

I = Arus yang mengalir pada saluran (Ampere)

ΔV = Jatuh tegangan (Volt)

$R \cos \varphi$ = Resistansi Penghantar (Ohm)

$X \sin \varphi$ = Reaktansi Penghantar (Ohm)

3.5 Kriteria Evaluasi dan Standar Acuan Penelitian

Untuk menilai kelayakan kondisi jaringan tegangan rendah hasil analisis, penelitian ini menggunakan dua kriteria evaluasi utama, yaitu kriteria kuantitatif berdasarkan persentase jatuh tegangan ($\% \Delta V$) mengacu pada SPLN 72:1987, dan kriteria kualitatif berdasarkan kondisi fisik jaringan mengacu pada PUIL 2020. Kedua kriteria tersebut digunakan secara bersamaan agar hasil evaluasi tidak hanya bersifat teoritis-matematis, tetapi juga mempertimbangkan kondisi nyata di lapangan.

Kriteria evaluasi berdasarkan $\% \Delta V$ dibagi menjadi dua kategori, yaitu “MEMENUHI” apabila $\% \Delta V \leq 5\%$ dan “TIDAK MEMENUHI” apabila $\% \Delta V > 5\%$, sebagaimana batas yang dipersyaratkan SPLN 72:1987. Sementara itu, kriteria evaluasi berdasarkan efisiensi penyaluran daya mengacu pada nilai ideal umum yang berlaku pada studi jaringan tegangan rendah, yaitu efisiensi di atas 95% dikategorikan baik, 90-95% dikategorikan cukup, dan di bawah 90% dikategorikan perlu perbaikan.

Ringkasan kriteria evaluasi yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3.1. Kriteria ini selanjutnya menjadi dasar dalam menentukan status setiap titik pengukuran serta menyusun prioritas rekomendasi perbaikan teknis pada Bab IV.

Tabel 3.1 Kriteria Evaluasi Kondisi Jaringan Tegangan Rendah dalam Penelitian

Parameter	Kriteria	Kategori
Jatuh Tegangan ($\% \Delta V$)	$\leq 5\%$; $> 5\%$	Memenuhi ; Tidak Memenuhi (SPLN 72:1987)
Efisiensi Penyaluran (η)	$> 95\%$; 90-95% ; $< 90\%$	Baik ; Cukup ; Perlu Perbaikan
Kondisi Fisik Jaringan	Sesuai / Tidak sesuai PUIL 2020	Baik ; Perlu Evaluasi

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data

Data teknis yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari dokumen *Single Line Diagram* (SLD) hasil inspeksi Jaringan Tegangan Rendah (JTR) Penyulang Samson yang diperoleh dari PLN UP3 Cengkareng, dengan titik asal penyulang dari Gardu Induk Duri Kosambi dan nomor identifikasi jaringan KMS 7394. Inspeksi lapangan pada jaringan tersebut dilaksanakan oleh petugas PLN, yaitu Puji dan Kamal, dengan tujuan untuk mendokumentasikan kondisi eksisting jaringan distribusi tegangan rendah yang disuplai oleh Gardu Distribusi TG62H. Dokumen SLD memuat informasi mengenai konfigurasi jaringan, percabangan saluran, panjang penghantar antar tiang, kondisi fisik jaringan, posisi titik pengukuran tegangan ujung, serta berbagai temuan lapangan yang digunakan sebagai dasar dalam pelaksanaan analisis jatuh tegangan dan rugi daya pada penelitian ini. Seluruh data yang digunakan merupakan data aktual hasil inspeksi lapangan sehingga dapat menggambarkan kondisi jaringan yang sebenarnya.

Sebagaimana telah dijelaskan pada sub-bab 1.5 mengenai ruang lingkup penelitian, objek yang menjadi fokus analisis pada penelitian ini dibatasi hanya pada Gardu Distribusi TG62H beserta jaringan tegangan rendah yang disuplainya. Seluruh proses analisis, mulai dari identifikasi konfigurasi jaringan, penentuan titik pengukuran, perhitungan jatuh tegangan, perhitungan rugi daya, hingga evaluasi hasil, dilakukan berdasarkan data yang berasal dari jaringan Gardu TG62H. Informasi yang terdapat pada SLD digunakan untuk mengidentifikasi kondisi teknis jaringan, seperti panjang penghantar, percabangan saluran, posisi beban, kondisi sambungan penghantar, serta lokasi titik pengukuran tegangan ujung yang menjadi dasar dalam proses analisis. Dengan pembatasan tersebut, hasil penelitian diharapkan mampu memberikan gambaran mengenai kondisi aktual jaringan tegangan rendah Gardu TG62H serta menjadi dasar dalam penyusunan rekomendasi teknis untuk meningkatkan kualitas tegangan dan mengurangi rugi daya pada jaringan distribusi tersebut.



PT PLN (Persero)
Distribusi Jakarta Raya
UP3 Cengkareng

LAPORAN PENGUKURAN BEBAN TRAF0

Gardu	TG62H	Jenis Gardu	BETON	Petugas	FIKRI/IMAN
Penyulang	SAMSON	Jenis Pelayanan	UMUM	Jam-Tgl Pengukuran	21:45:00 15/04/2026
GI	DAAN MOGOT	Alamat	JL. KARYA UTAMA PEDONGKELAN BELAKANG (PASAR DANGDUT) KAPUK CENGKARENG JAKARTA BARAT	Waktu Pengukuran	MALAM

Data Transformator

Merk TRAFINDO
Nomor 1313008532
Daya (kVA) 630
Elastimold

Nomor 2

Data Rak TR

Merk SOCOMEC
Kapasitas 1250
Jumlah Jurusan 6
Keterangan
Jurusan yang Aktif 5

Pengukuran Teg. di Rak TR (Volt)					
R-N	S-N	T-N	R-S	R-T	S-T
237	235	234	404	407	406
Pengukuran Arus Total					
R	S	T	R		% Daya Total
433	491	506	196		53

Jur.	Opstig Kabel		Beban dan Fuse Terpasang												Teg Ujung			Ketidak seimbangan(%)	Keterangan	
	Type	Penampang mm2	R			S			T			N			R-N Volt	S-N Volt	T-N Volt			
			Beban	Cos	Fuse	Beban	Cos	Fuse	Beban	Cos	Fuse	Beban	Cos	Fuse						
A	CU	4 x 95	98	0.965	250	133	0.956	250	164	0.955	250	73	211	210	209	40.24	-			
B	CU	4 x 95	28	0.98	250	13	0.981	250	6	0.989	250	12	214	216	217	78.57	SEIMBANGKAN BEBAN			
C	CU	4 x 95	223	0.951	315	230	0.956	315	206	0.953	315	56	209	211	210	10.43	TURUNKAN BEBAN R,S,T			
D	-	-	0	0		0	0		0	0		0	0	0	0	0	-			
E	CU	4 x 95	6	0.982	160	10	0.985	160	28	0.979	160	10	215	214	213	78.57	SEIMBANGKAN BEBAN			
F	CU	4 x 95	78	0.963	250	105	0.96	250	102	0.966	250	45	212	210	211	25.71	-			
Jumlah Beban per Fasa Trafo (A)			433			491			506			196			Jumlah Beban Fasa Max Trafo			506(A)	56.38(%)	
Jumlah Beban per Fasa Trafo (%)			48.87			54.95			56.38			20.53			Kondisi Beban Fasa Trafo Terbesar : PEMBEBANAN RENDAH					
Keseimbangan Fasa Trafo (%)			11.46			2.96			14.43			Kondisi Beban Trafo : PEMBEBANAN RENDAH								
Daya Trafo (kVA)			336.52			Presentase Daya Trafo (%) 53.42												Rekomendasi Trafo : MASIH LAYAK DIGUNAKAN		

Catatan :

Mengetahui

Diperiksa

10 Jul 2026
Petugas Pengukur

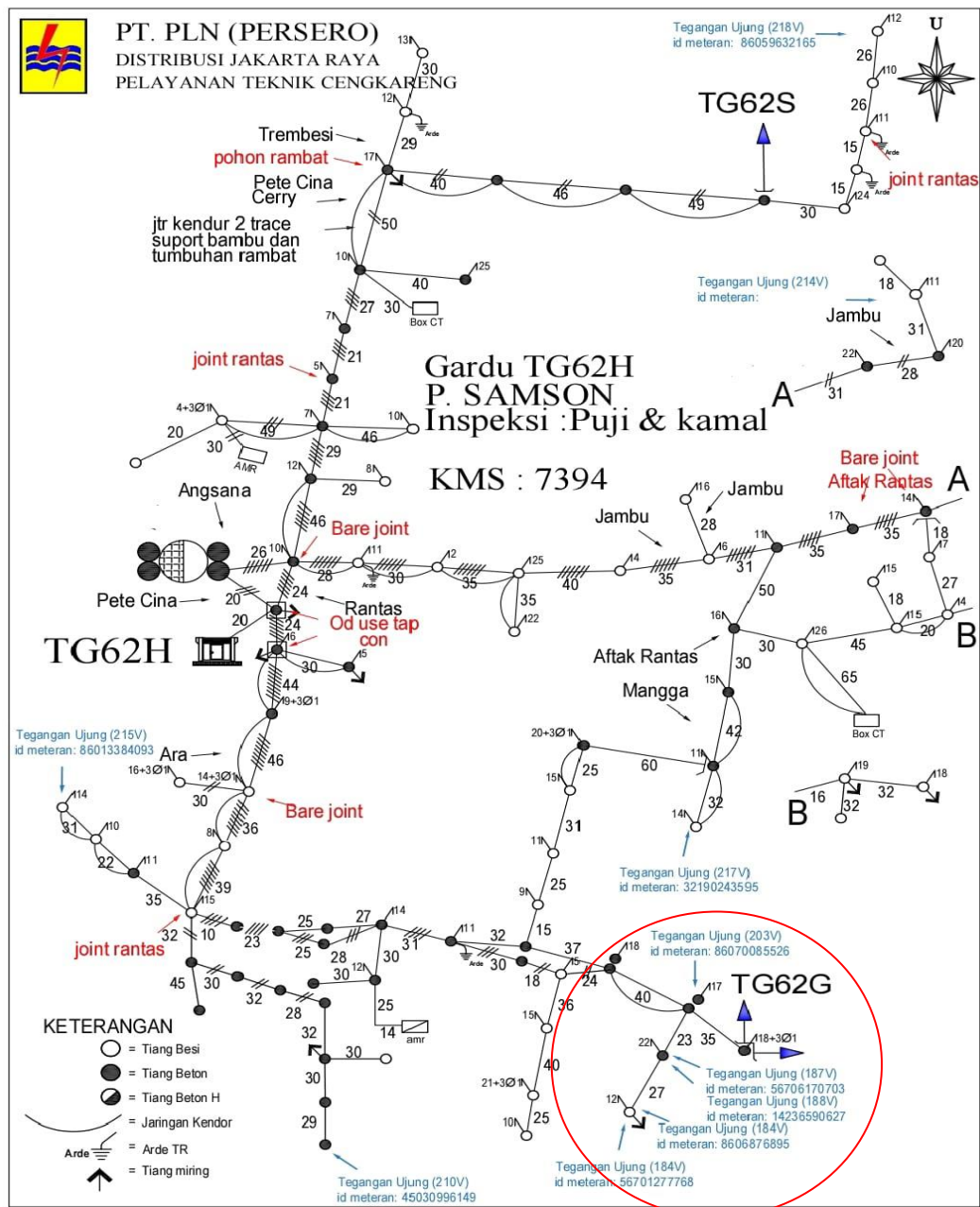
TRI EFENDI

SUPRIYANTO

FIKRI/IMAN

Gambar 4. 1 Hasil Pengukuran beban pada gardu TG62H

Pengukuran beban pada penelitian ini dilakukan pada saat kondisi beban puncak agar kondisi jaringan dapat diamati ketika menerima pembebanan maksimum. Berdasarkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada gambar, terlihat bahwa beban pada setiap jurusan tidak terdistribusi secara merata sehingga arus yang mengalir pada masing-masing jurusan berbeda. Perbedaan besarnya arus tersebut menjadi salah satu faktor yang memengaruhi besarnya jatuh tegangan pada jaringan. Semakin besar arus yang mengalir pada penghantar, maka semakin besar pula jatuh tegangan dan rugi daya yang terjadi akibat adanya hambatan penghantar. Oleh karena itu, hasil pengukuran beban pada kondisi beban puncak digunakan sebagai dasar dalam menganalisis pengaruh pembebanan terhadap jatuh tegangan dan rugi daya pada jaringan tegangan rendah Gardu Distribusi TG62H, sehingga kondisi aktual jaringan dapat dievaluasi dengan lebih akurat.



Gambar 4.2 SLD Asli Gardu TG62H Penyulang Samson (Sumber: PLN UP3 Cengkareng)

Gambar 4.2 menunjukkan *Single Line Diagram* (SLD) yang diperoleh dari PLN UP3 Cengkareng. SLD tersebut digunakan sebagai dasar analisis jaringan tegangan rendah Gardu Distribusi TG62H. Seluruh pembahasan pada bab ini difokuskan pada jaringan yang disuplai oleh Gardu TG62H.

4.2 Spesifikasi Teknis Jaringan Tegangan Rendah Gardu TG62H

Spesifikasi teknis jaringan tegangan rendah Gardu TG62H diperoleh dari hasil rekapitulasi data inspeksi lapangan (Excel Realisasi Inspeksi JTR Penyulang Samson). Data tersebut mencakup jumlah dan jenis tiang penyangga, jumlah gawang (*span*) saluran, panjang total jaringan, jenis dan luas penampang penghantar, serta kondisi fisik jaringan hasil temuan lapangan. Rekapitulasi spesifikasi teknis disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Spesifikasi Teknis Jaringan Tegangan Rendah Gardu TG62H
(Sumber: Hasil olah data inspeksi lapangan PLN UP3 Cengkareng)

Parameter	Keterangan / Nilai
Lokasi Gardu Induk	Duri Kosambi
Penyulang	Samson (KMS 7394)
Gardu Distribusi (objek penelitian)	TG62H (Portal Beton 9R)
Tegangan Nominal Sisi Sekunder	220/380 Volt, 50 Hz
Jenis Penghantar JTR	Kabel pilin (twisted cable) NFA2X, alumunium
Konfigurasi Penampang Penghantar	3 x 70 mm ² + N (3 fasa + netral)
Jumlah Tiang Penyangga	100 batang (47 tiang besi, 49 tiang beton, sisanya box CT/AMR)
Jumlah Gawang (<i>span</i>) Saluran	101 gawang
Panjang Total Jaringan JTR	± 3.105 meter (3,1 km)
Rata-rata Panjang Gawang	± 30,7 meter/gawang
Konfigurasi Jaringan	Radial dengan beberapa percabangan (jurusan)
Jumlah Jurusan Aktif	232 jurusan/sambungan aktif

Selain data spesifikasi umum, hasil inspeksi lapangan juga mencatat kondisi fisik komponen jaringan yang menjadi indikasi awal terhadap potensi terjadinya jatuh tegangan dan rugi daya. Rekapitulasi kondisi tiang dan penghantar disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rekapitulasi Temuan Kondisi Fisik Jaringan Gardu TG62H (Sumber: Hasil inspeksi lapangan PLN UP3 Cengkareng)

Temuan Kondisi Jaringan	Jumlah	Keterangan
Kondisi Tiang - Baik	97 titik	-
Kondisi Tiang - Miring	9 titik	Perlu diluruskan/ditegakkan kembali
Kondisi Penghantar - Baik	81 gawang	-
Kondisi Penghantar - Kendor (jaringan kendur)	25 gawang	Berpotensi menambah rugi-rugi mekanis dan risiko gangguan
Titik Bare Joint (sambungan terkelupas)	3 titik	Menambah resistansi sambungan
Titik Joint Rantas (sambungan hampir putus)	4 titik	Berisiko menimbulkan titik panas (<i>hot-spot</i>) dan pemutusan
Titik Aftak Rantas	1 titik	Sambungan percabangan hampir putus
Kondisi Arde Tidak Baik	5 titik	Sistem pentanahan tidak optimal
Gangguan Vegetasi (pohon rambat)	1 titik	Kontak pohon dengan penghantar JTR

Temuan-temuan pada Tabel 4.2, khususnya kondisi penghantar kendur, *bare joint*, dan *joint* rantas, merupakan indikasi teknis yang relevan untuk menjelaskan penyebab jatuh tegangan dan rugi daya yang akan dianalisis lebih lanjut pada sub-bab pembahasan.

4.3 Perhitungan Resistansi dan Reaktansi Penghantar

Perhitungan resistansi penghantar dilakukan menggunakan persamaan (3.1) berdasarkan data hasil inspeksi lapangan, yaitu panjang total jaringan JTR Gardu TG62H sepanjang 3.105 meter dengan luas penampang penghantar 70 mm² (aluminium, $\rho = 2,82 \times 10^{-8} \Omega m$), sebagaimana tercantum pada Tabel 4.1.

$$R = \rho \times \left(\frac{L}{A} \right)$$

$$R = (2,82 \times 10^{-8} \Omega m) \times \left(\frac{3.105 m}{70 \times 10^{-6} m^2} \right)$$

$$R = 1,2509 \Omega$$

Nilai reaktansi induktif penghantar tidak diperoleh dari hasil pengukuran langsung di lapangan, sehingga digunakan nilai tipikal reaktansi kabel pilin jenis NFA2X sebesar 0,08 Ω/km yang umum digunakan pada studi jaringan tegangan rendah PLN. Dengan panjang saluran 3,105 km, maka reaktansi total saluran adalah:

$$X = 0,08 \Omega/km \times 3,105 km = 0,2484 \Omega$$

Nilai resistansi ($R = 1,2509 \Omega$) dan reaktansi ($X = 0,2484 \Omega$) tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan jatuh tegangan dan rugi daya secara analitis pada sub-bab berikut.

4.4 Perhitungan Jatuh Tegangan, Estimasi Arus Beban, Rugi Daya, dan Efisiensi Penyaluran pada Seluruh Titik Pengukuran

Perhitungan berikut dilakukan pada seluruh titik pengukuran sebagaimana disajikan pada Tabel 4.3, dengan menggunakan pendekatan yang sama seperti pada persamaan (3.2) dan (3.3) untuk menghitung jatuh tegangan, menggunakan persamaan (3.4) dan (3.5) untuk menghitung rugi daya, menggunakan persamaan (3.6), (3.7) dan (3.8) untuk menghitung efisiensi penyaluran listrik dan Menggunakan persamaan (3.9) untuk menghitung estimasi arus. Nilai resistansi (R) dan reaktansi (X) penghantar yang digunakan

adalah $R = 1,2509 \, \Omega$ dan $X = 0,2484 \, \Omega$, dengan faktor daya $\cos \varphi = 0,85$ dan $\sin \varphi = 0,5268$.

4.4.1 Perhitungan pada Titik TG62S

Jatuh tegangan hasil pengukuran:

$$\Delta V = V_{nominal} - V_{ujung} = 220 - 218 = 2 \text{ Volt}$$

$$\% \Delta V = \left(\frac{\Delta V}{V_{nominal}} \right) \times 100\% = \left(\frac{2}{220} \right) \times 100\% = 0,91\%$$

Estimasi arus beban (I) yang mengalir pada titik ini:

$$I = \frac{\Delta V}{(R \cos \varphi + X \sin \varphi)}$$

$$I = \frac{2}{(1,2509 \times 0,85 + 0,2484 \times 0,5268)} = \frac{2}{1,1941} = 1,67 \text{ A}$$

Rugi daya aktif dan reaktif pada titik ini:

$$P_{losses} = I^2 \times R = (1,67)^2 \times 1,2509 = 3,49 \text{ Watt}$$

$$Q_{losses} = I^2 \times X = (1,67)^2 \times 0,2484 = 0,69 \text{ VAR}$$

Efisiensi penyaluran daya pada titik ini:

$$P_{ kirim} = V_{nominal} \times I \times \cos \varphi = 220 \times 1,67 \times 0,85 = 312,3 \text{ Watt}$$

$$P_{terima} = P_{ kirim} - P_{losses} = 312,3 - 3,49 = 308,8 \text{ Watt}$$

$$\eta = \left(\frac{P_{terima}}{P_{ kirim}} \right) \times 100\% = \left(\frac{308,8}{312,3} \right) \times 100\% = 98,88\%$$

4.4.2 Perhitungan pada Titik Jambu

Jatuh tegangan hasil pengukuran:

$$\Delta V = V_{nominal} - V_{ujung} = 220 - 214 = 6 \text{ Volt}$$

$$\% \Delta V = \left(\frac{\Delta V}{V_{nominal}} \right) \times 100\% = \left(\frac{6}{220} \right) \times 100\% = 2,73\%$$

Estimasi arus beban (I) yang mengalir pada titik ini:

$$I = \frac{\Delta V}{(R \cos \varphi + X \sin \varphi)}$$

$$I = \frac{6}{(1,2509 \times 0,85 + 0,2484 \times 0,5268)} = \frac{6}{1,1941} = 5,02 \text{ A}$$

Rugi daya aktif dan reaktif pada titik ini:

$$P_{losses} = I^2 \times R = (5,02)^2 \times 1,2509 = 31,52 \text{ Watt}$$

$$Q_{losses} = I^2 \times X = (5,02)^2 \times 0,2484 = 6,26 \text{ VAR}$$

Efisiensi penyaluran daya pada titik ini:

$$P_{ kirim } = V_{ nominal } \times I \times \cos \varphi = 220 \times 5,02 \times 0,85 = 938,7 \text{ Watt}$$

$$P_{ terima } = P_{ kirim } - P_{ losses } = 938,7 - 31,52 = 907,2 \text{ Watt}$$

$$\eta = \left(\frac{P_{ terima }}{P_{ kirim }} \right) \times 100\% = (907,2/938,7) \times 100\% = 96,64\%$$

4.4.3 Perhitungan pada Titik Mangga / Aftak Rantas

Jatuh tegangan hasil pengukuran:

$$\Delta V = V_{ nominal } - V_{ ujung } = 220 - 217 = 3 \text{ Volt}$$

$$\% \Delta V = \left(\frac{\Delta V}{V_{ nominal }} \right) \times 100\% = \left(\frac{3}{220} \right) \times 100\% = 1,36\%$$

Estimasi arus beban (I) yang mengalir pada titik ini:

$$I = \frac{\Delta V}{(R \cos \varphi + X \sin \varphi)}$$

$$I = \frac{3}{(1,2509 \times 0,85 + 0,2484 \times 0,5268)} = \frac{3}{1,1941} = 2,51 \text{ A}$$

Rugi daya aktif dan reaktif pada titik ini:

$$P_{losses} = I^2 \times R = (2,51)^2 \times 1,2509 = 7,88 \text{ Watt}$$

$$Q_{losses} = I^2 \times X = (2,51)^2 \times 0,2484 = 1,56 \text{ VAR}$$

Efisiensi penyaluran daya pada titik ini:

$$P_{ kirim} = V_{nominal} \times I \times \cos\varphi = 220 \times 2,51 \times 0,85 = 469,4 \text{ Watt}$$

$$P_{terima} = P_{ kirim} - P_{losses} = 469,4 - 7,88 = 461,5 \text{ Watt}$$

$$\eta = \left(\frac{P_{terima}}{P_{ kirim}} \right) \times 100\% = \left(\frac{461,5}{469,4} \right) \times 100\% = 98,32$$

4.4.4 Perhitungan pada Titik Jurusan TG62H-1

Jatuh tegangan hasil pengukuran:

$$\Delta V = V_{Nominal} - V_{Ujung} = 220 - 203 = 17 \text{ Volt}$$

$$\% \Delta V = \left(\frac{\Delta V}{V_{Nominal}} \right) \times 100\% = \left(\frac{17}{220} \right) \times 100\% = 7,73\%$$

Estimasi arus beban (I) yang mengalir pada titik ini:

$$I = \frac{\Delta V}{(R \cos\varphi + X \sin\varphi)}$$

$$I = \frac{17}{(1,2509 \times 0,85 + 0,2484 \times 0,5268)} = \frac{17}{1,194} = 14,24 \text{ A}$$

Rugi daya aktif dan reaktif pada titik ini:

$$P_{losses} = I^2 \times R = (14,24)^2 \times 1,2509 = 253,65 \text{ Watt}$$

$$Q_{losses} = I^2 \times X = (14,24)^2 \times 0,2484 = 50,37 \text{ VAR}$$

Efisiensi penyaluran daya pada titik ini:

$$P_{Kirim} = V_{Nominal} \times I \times \cos\phi = 220 \times 14,24 \times 0 = 2.662,9 \text{ Watt}$$

$$P_{Terima} = P_{Kirim} - P_{Losses} = 2.662,9 - 253,65 = 2.409,3 \text{ Watt}$$

$$\eta = \left(\frac{P_{Terima}}{P_{Kirim}} \right) \times 100\% = \left(\frac{2.409,3}{2.662,9} \right) \times 100\% = 90,48\%$$

4.4.5 Perhitungan pada Titik Jurusan TG62H-2

Jatuh tegangan hasil pengukuran:

$$\Delta V = V_{Nominal} - V_{Ujung} = 220 - 187 = 33 \text{ Volt}$$

$$\% \Delta V = \left(\frac{\Delta V}{V_{Nominal}} \right) \times 100\% = \left(\frac{33}{220} \right) \times 100\% = 15,00\%$$

Estimasi arus beban (I) yang mengalir pada titik ini:

$$I = \frac{\Delta V}{(R \cos\phi + X \sin\phi)}$$

$$I = \frac{33}{(1,2509 \times 0,85 + 0,2484 \times 0,5268)} = \frac{33}{1,194} = 27,64 \text{ A}$$

Rugi daya aktif dan reaktif pada titik ini:

$$P_{losses} = I^2 \times R = (27,64)^2 \times 1,2509 = 955,65 \text{ Watt}$$

$$Q_{losses} = I^2 \times X = (27,64)^2 \times 0,2484 = 189,77 \text{ VAR}$$

Efisiensi penyaluran daya pada titik ini:

$$P_{Kirim} = V_{Nominal} \times I \times \cos\phi = 220 \times 27,64 \times 0,85 = 5.168,7 \text{ Watt}$$

$$P_{Terima} = P_{Kirim} - P_{Losses} = 5.168,7 - 955,65 = 4.213,1 \text{ Watt}$$

$$\eta = \left(\frac{P_{Terima}}{P_{Kirim}} \right) \times 100\% = \left(\frac{4.213,1}{5.168,7} \right) \times 100\% = 81,51\%$$

4.4.6 Perhitungan pada Titik Jurusan TG62H-3

Jatuh tegangan hasil pengukuran:

$$\Delta V = V_{Nominal} - V_{Ujung} = 220 - 188 = 32 \text{ Volt}$$

$$\% \Delta V = \left(\frac{\Delta V}{V_{Nominal}} \right) \times 100\% = \left(\frac{32}{220} \right) \times 100\% = 14,55\%$$

Estimasi arus beban (I) yang mengalir pada titik ini:

$$I = \frac{\Delta V}{(R \cos \varphi + X \sin \varphi)}$$

$$I = \frac{32}{(1,2509 \times 0,85 + 0,2484 \times 0,5268)} = \frac{32}{1,194} = 26,80 \text{ A}$$

Rugi daya aktif dan reaktif pada titik ini:

$$P_{losses} = I^2 \times R = (26,80)^2 \times 1,2509 = 898,45 \text{ Watt}$$

$$Q_{losses} = I^2 \times X = (26,80)^2 \times 0,2484 = 178,41 \text{ VAR}$$

Efisiensi penyaluran daya pada titik ini:

$$P_{Kirim} = V_{Nominal} \times I \times \cos \varphi = 220 \times 26,80 \times 0,85 = 5.011,6 \text{ Watt}$$

$$P_{Terima} = P_{Kirim} - P_{Losses} = 5.011,6 - 898,45 = 4.113,2 \text{ Watt}$$

$$\eta = \left(\frac{P_{terima}}{P_{kirim}} \right) \times 100\% = \left(\frac{4.113,2}{5.011,6} \right) \times 100\% = 82,07\%$$

4.4.7 Perhitungan pada Titik Jurusan TG62H-4

Jatuh tegangan hasil pengukuran:

$$\Delta V = V_{Nominal} - V_{Ujung} = 220 - 184 = 36 \text{ Volt}$$

$$\% \Delta V = \left(\frac{\Delta V}{V_{Nominal}} \right) \times 100\% = \left(\frac{36}{220} \right) \times 100\% = 16,36\%$$

Estimasi arus beban (I) yang mengalir pada titik ini:

$$I = \frac{\Delta V}{(R \cos\phi + X \sin\phi)}$$

$$I = \frac{36}{(1,2509 \times 0,85 + 0,2484 \times 0,5268)} = \frac{36}{1,1941} = 30,15 \text{ A}$$

Rugi daya aktif dan reaktif pada titik ini:

$$P_{losses} = I^2 \times R = (30,15)^2 \times 1,2509 = 1.137,10 \text{ Watt}$$

$$Q_{losses} = I^2 \times X = (30,15)^2 \times 0,2484 = 225,80 \text{ VAR}$$

Efisiensi penyaluran daya pada titik ini:

$$P_{Kirim} = V_{Nominal} \times I \times \cos\phi = 220 \times 30,15 \times 0,85 = 5.638,1 \text{ Watt}$$

$$P_{Terima} = P_{Kirim} - P_{Losses} = 5.638,1 - 1.137,10 = 4.501,0 \text{ Watt}$$

$$\eta = \left(\frac{P_{terima}}{P_{kirim}} \right) \times 100\% = \left(\frac{4.501,0}{5.638,1} \right) \times 100\% = 79,83$$

4.4.8 Perhitungan pada Titik Jurusan TG62H-5

Jatuh tegangan hasil pengukuran:

$$\Delta V = V_{Nominal} - V_{Ujung} = 220 - 184 = 36 \text{ Volt}$$

$$\% \Delta V = \left(\frac{\Delta V}{V_{Nominal}} \right) \times 100\% = \left(\frac{36}{220} \right) \times 100\% = 16,36\%$$

Estimasi arus beban (I) yang mengalir pada titik ini:

$$I = \frac{\Delta V}{(R \cos\phi + X \sin\phi)}$$

$$I = \frac{36}{(1,2509 \times 0,85 + 0,2484 \times 0,5268)} = \frac{36}{1,1941} = 30,15 \text{ A}$$

Rugi daya aktif dan reaktif pada titik ini:

$$P_{losses} = I^2 \times R = (30,15)^2 \times 1,2509 = 1.137,10 \text{ Watt}$$

$$Q_{losses} = I^2 \times X = (30,15)^2 \times 0,2484 = 225,80 \text{ VAR}$$

Efisiensi penyaluran daya pada titik ini:

$$P_{Kirim} = V_{Nominal} \times I \times \cos\varphi = 220 \times 30,15 \times 0,85 = 5.638,1 \text{ Watt}$$

$$P_{terima} = P_{kirim} - P_{losses} = 5.638,1 - 1.137,10 = 4.501,0 \text{ Watt}$$

$$\eta = \left(\frac{P_{terima}}{P_{kirim}} \right) \times 100\% = \left(\frac{4.501,0}{5.638,1} \right) \times 100\% = 79,83\%$$

4.4.9 Perhitungan pada Titik Ara-1

Jatuh tegangan hasil pengukuran:

$$\Delta V = V_{Nominal} - V_{Ujung} = 220 - 215 = 5 \text{ Volt}$$

$$\% \Delta V = \left(\frac{\Delta V}{V_{Nominal}} \right) \times 100\% = \left(\frac{5}{220} \right) \times 100\% = 2,27\%$$

Estimasi arus beban (I) yang mengalir pada titik ini:

$$I = \frac{\Delta V}{(R \cos\varphi + X \sin\varphi)}$$

$$I = \frac{5}{(1,2509 \times 0,85 + 0,2484 \times 0,5268)} = \frac{5}{1,1941} = 4,19 \text{ A}$$

Rugi daya aktif dan reaktif pada titik ini:

$$P_{losses} = I^2 \times R = (4,19)^2 \times 1,2509 = 21,96 \text{ Watt}$$

$$Q_{losses} = I^2 \times X = (4,19)^2 \times 0,2484 = 4,36 \text{ VAR}$$

Efisiensi penyaluran daya pada titik ini:

$$P_{Kirim} = V_{Nominal} \times I \times \cos\varphi = 220 \times 4,19 \times 0,85 = 783,5 \text{ Watt}$$

$$P_{terima} = P_{kirim} - P_{losses} = 783,5 - 21,96 = 761,5 \text{ Watt}$$

$$\eta = \left(\frac{P_{terima}}{P_{kirim}} \right) \times 100\% = \left(\frac{761,5}{783,5} \right) \times 100\% = 97,19\%$$

4.4.10 Perhitungan pada Titik Ara-2

Jatuh tegangan hasil pengukuran:

$$\Delta V = V_{Nominal} - V_{Ujung} = 220 - 210 = 10 \text{ Volt}$$

$$\% \Delta V = \left(\frac{\Delta V}{V_{Nominal}} \right) \times 100\% = \left(\frac{10}{220} \right) \times 100\% = 4,55\%$$

Estimasi arus beban (I) yang mengalir pada titik ini:

$$I = \frac{\Delta V}{(R \cos \varphi + X \sin \varphi)}$$

$$I = \frac{10}{(1,2509 \times 0,85 + 0,2484 \times 0,5268)} = \frac{10}{1,1941} = 8,37 \text{ A}$$

Rugi daya aktif dan reaktif pada titik ini:

$$P_{losses} = I^2 \times R = (8,37)^2 \times 1,2509 = 87,63 \text{ Watt}$$

$$Q_{losses} = I^2 \times X = (8,37)^2 \times 0,2484 = 17,40 \text{ VAR}$$

Efisiensi penyaluran daya pada titik ini:

$$P_{Kirim} = V_{Nominal} \times I \times \cos \varphi = 220 \times 8,37 \times 0,85 = 1.565,2 \text{ Watt}$$

$$P_{terima} = P_{kirim} - P_{losses} = 1.565,2 - 87,63 = 1.477,6 \text{ Watt}$$

$$\eta = \left(\frac{P_{terima}}{P_{kirim}} \right) \times 100\% = \left(\frac{1.477,6}{1.565,2} \right) \times 100\% = 94,40\%$$

4.4.11 Data Hasil Pengukuran Tegangan Ujung Jaringan Tegangan Rendah Gardu TG62H

Tabel 4.3 Rekapitulasi Estimasi Jatuh Tegangan, Arus, Rugi Daya, dan Efisiensi Penyaluran pada Seluruh Titik Pengukuran JTR Gardu TG62H
(Sumber: Hasil olah data dan perhitungan penulis)

No	Titik Pengukuran	ΔV (V)	I (A)	P_{losses} (W)	Q_{losses} (VAR)	P_{kirim} (W)	P_{terima} (W)	η (%)
1	TG62S	2	1,67	3,49	0,69	312,3	308,8	98,88
2	Jambu	6	5,02	31,52	6,26	938,7	907,2	96,64
3	Mangga / Aftak Rantas	3	2,51	7,88	1,56	469,4	461,5	98,32
4	Jurusan TG62H-1	17	14,24	253,65	50,37	2.662,9	2.409,3	90,48
5	Jurusan TG62H-2	33	27,64	955,65	189,77	5.168,7	4.213,1	81,51
6	Jurusan TG62H-3	32	26,80	898,45	178,41	5.011,6	4.113,2	82,07
7	Jurusan TG62H-4	36	30,15	1.137,10	225,80	5.638,1	4.501,0	79,83
8	Jurusan TG62H-5	36	30,15	1.137,10	225,80	5.638,1	4.501,0	79,83
9	Ara-1	5	4,19	21,96	4,36	783,5	761,5	97,19
10	Ara-2	10	8,37	87,63	17,40	1.565,2	1.477,6	94,40

Berdasarkan Tabel 4.4, terlihat bahwa titik-titik pada Jurusan TG62H-4 dan TG62H-5 memiliki jatuh tegangan, rugi daya, serta penurunan efisiensi penyaluran yang paling signifikan dibandingkan titik-titik lainnya, sedangkan titik TG62S menunjukkan kondisi jaringan yang paling baik dengan efisiensi penyaluran mendekati 100%.

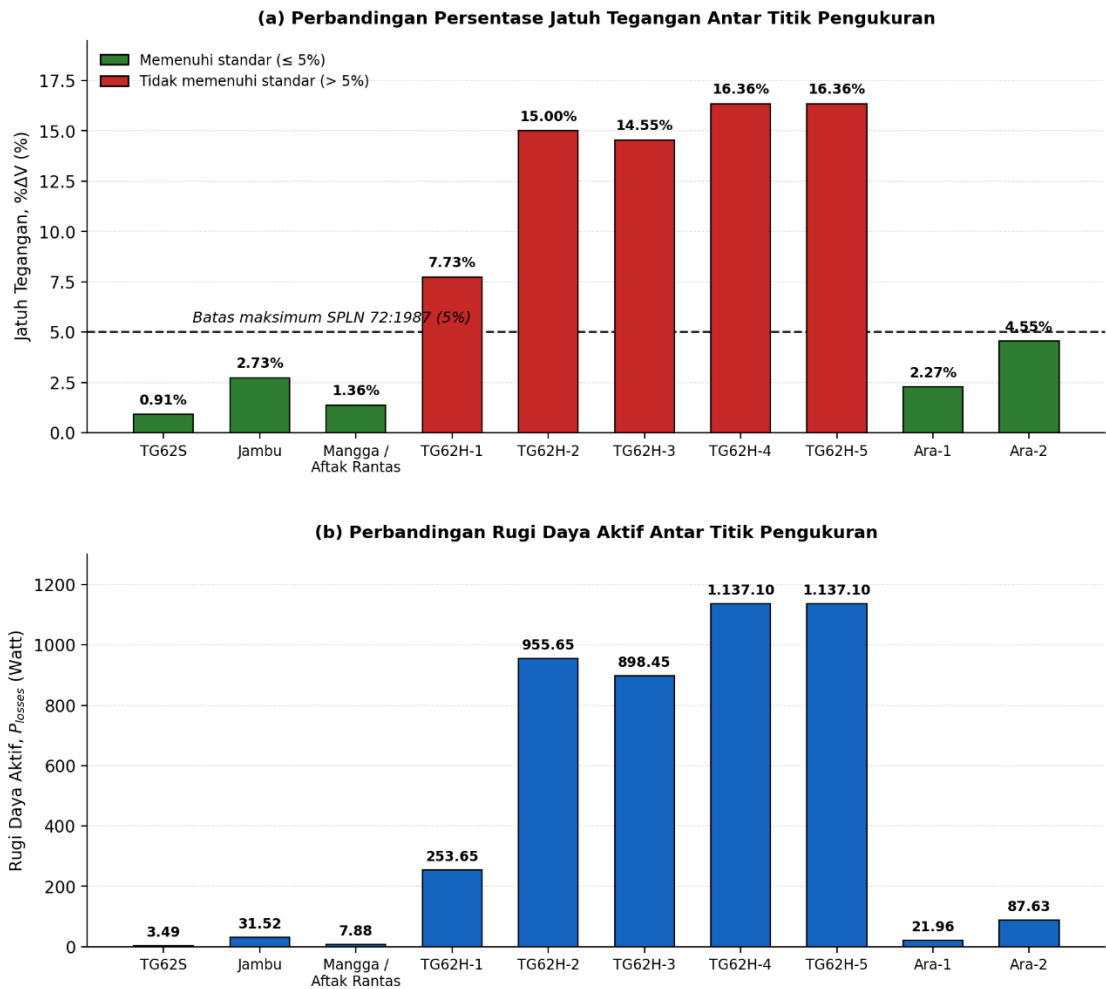
titik TG62S hingga 30,15 A pada Jurusan TG62H-4 dan TG62H-5. Sejalan dengan hukum Joule ($P_{losses} = I^2R$), rugi daya aktif meningkat secara kuadratis terhadap kenaikan arus, sehingga rugi daya pada jurusan dengan arus

terbesar jauh melampaui rugi daya pada jurusan dengan arus kecil, meskipun keduanya melalui penghantar dengan nilai resistansi dan reaktansi yang sama.

Titik dengan kondisi jaringan terbaik adalah TG62S, dengan jatuh tegangan hanya 0,91% (2 Volt), arus estimasi 1,67 A, rugi daya aktif 3,49 Watt, rugi daya reaktif 0,69 VAR, dan efisiensi penyaluran tertinggi sebesar 98,88%. Nilai-nilai tersebut jauh berada di bawah batas maksimum yang diizinkan SPLN 72:1987 dan mengindikasikan bahwa jurusan ini memiliki kombinasi jarak saluran pendek, pembebanan rendah, dan kondisi fisik penghantar yang baik.

Sebaliknya, titik dengan jatuh tegangan terbesar adalah Jurusan TG62H-4 dan Jurusan TG62H-5, yang keduanya memiliki nilai $\% \Delta V$ sebesar 16,36% (36 Volt), arus estimasi 30,15 A, rugi daya aktif 1.137,16 Watt, rugi daya reaktif 225,80 VAR, dan efisiensi penyaluran terendah sebesar 79,83%. Nilai $\% \Delta V$ pada kedua titik ini melampaui lebih dari tiga kali lipat batas maksimum 5% yang diizinkan SPLN 72:1987, sementara efisiensi penyalurannya berada jauh di bawah nilai ideal di atas 95%, menegaskan bahwa kedua jurusan tersebut merupakan prioritas utama untuk dilakukan perbaikan teknis.

Apabila dijumlahkan, total estimasi rugi daya aktif pada sepuluh titik pengukuran yang dianalisis mencapai sekitar 4.534,71 Watt ($\approx 4,53$ kW), dengan kontribusi terbesar berasal dari kelima jurusan menuju Gardu TG62G (TG62H-1 hingga TG62H-5) yang secara kumulatif menyumbang sekitar 94% dari total rugi daya tersebut. Temuan ini mengonfirmasi bahwa permasalahan jatuh tegangan dan rugi daya pada JTR Gardu TG62H bersifat terlokalisasi pada jurusan-jurusan tertentu.



Gambar 4.3 Diagram Blok Perbandingan Jatuh Tegangan dan Rugi Daya Aktif Antar Titik Pengukuran JTR Gardu TG62H (Sumber: Hasil olah data dan perhitungan penulis)

4.5 Rekapitulasi Hasil Perhitungan

Tabel 4.4 merangkum hasil analisis jatuh tegangan pada seluruh titik pengukuran JTR Gardu TG62H dibandingkan dengan standar SPLN 72:1987 (batas jatuh tegangan maksimum 5%) dan PUIL 2020 sebagai acuan keselamatan dan kelaikan instalasi tenaga listrik.

Tabel 4.4 Rekapitulasi Hasil Analisis Jatuh Tegangan JTR Gardu TG62H dibandingkan dengan Standar SPLN 72:1987 dan PUIL 2020

No	Titik Pengukuran	% ΔV (%)	Status thd SPLN 72:1987 (maks. 5%)	Status thd PUIL 2020
1	TG62S	0,91	MEMENUHI	MEMENUHI
2	Jambu	2,73	MEMENUHI	MEMENUHI
3	Mangga / Aftak Rantas	1,36	MEMENUHI	MEMENUHI
4	Jurusan TG62H - 1	7,73	TIDAK MEMENUHI	PERLU EVALUASI
5	Jurusan TG62H - 2	15,00	TIDAK MEMENUHI	PERLU EVALUASI
6	Jurusan TG62H - 3	14,55	TIDAK MEMENUHI	PERLU EVALUASI
7	Jurusan TG62H - 4	16,36	TIDAK MEMENUHI	PERLU EVALUASI
8	Jurusan TG62H - 5	16,36	TIDAK MEMENUHI	PERLU EVALUASI
9	Ara - 1	2,27	MEMENUHI	MEMENUHI
10	Ara - 2	4,55	MEMENUHI	MEMENUHI

Berdasarkan Tabel 4.4, sebanyak 50% dari total titik pengukuran pada JTR Gardu TG62H, seluruhnya berada pada jurusan menuju Gardu TG62G, tidak memenuhi standar jatuh tegangan yang dipersyaratkan SPLN 72:1987. Kondisi ini juga tidak sejalan dengan prinsip keandalan dan kualitas pelayanan tenaga listrik yang diatur dalam PUIL 2020, sehingga jurusan tersebut memerlukan evaluasi dan perbaikan teknis segera.

4.6 Pembahasan

4.6.1 *Penyebab Terjadinya Jatuh Tegangan dan Rugi Daya pada Gardu TG62H*

Berdasarkan hasil analisis pada sub-bab sebelumnya, terdapat beberapa faktor yang menjadi penyebab utama tingginya jatuh tegangan dan rugi daya pada jaringan tegangan rendah Gardu TG62H, khususnya pada jurusan yang mengarah ke Gardu TG62G, yaitu:

1. Panjang saluran yang relatif jauh dari gardu distribusi. Jurusan menuju TG62G merupakan salah satu rute terpanjang pada jaringan JTR Gardu TG62H, sehingga menghasilkan nilai resistansi dan reaktansi penghantar yang besar, sesuai dengan persamaan (3.1) di mana resistansi berbanding lurus dengan panjang penghantar.
2. Pembebanan yang tinggi dan terkonsentrasi. Hasil estimasi arus pada sub-bab 4.6 menunjukkan bahwa jurusan TG62H-4 memikul arus jauh lebih besar dibandingkan jurusan lain, yang mengindikasikan jumlah sambungan rumah (SR) dan jurusan aktif yang terkonsentrasi pada percabangan tersebut.
3. Kondisi fisik jaringan yang kurang optimal. Temuan inspeksi lapangan pada Tabel 4.2 menunjukkan adanya 25 gawang penghantar dalam kondisi kendur, beberapa titik *bare joint* dan *joint* rantas, serta gangguan vegetasi (pohon rambat) yang mengenai jaringan. Kondisi sambungan yang tidak sempurna (*bare joint* dan *joint* rantas) menambah resistansi kontak pada titik sambungan, yang turut memperbesar jatuh tegangan dan menimbulkan titik panas (*hot-spot*) yang berisiko terhadap keandalan jaringan.
4. Konfigurasi jaringan radial dengan banyak percabangan (multi-jurusan). Konfigurasi radial yang diterapkan pada JTR Gardu TG62H, meskipun ekonomis dari sisi investasi, memiliki keterbatasan berupa akumulasi jatuh tegangan yang semakin besar pada titik-titik yang berada jauh dari sumber, terutama apabila tidak diimbangi dengan pemerataan beban antar jurusan.

4.6.2 Rekomendasi Teknis Perbaikan

Berdasarkan penyebab-penyebab yang telah diuraikan, berikut adalah rekomendasi teknis yang dapat dipertimbangkan oleh PLN UP3 Cengkareng untuk memperbaiki kondisi jatuh tegangan dan rugi daya pada JTR Gardu TG62H, khususnya pada jurusan menuju Gardu TG62G:

1. Perbaikan sambungan (*joint*) yang bermasalah. Seluruh titik *bare joint*, *joint* rantas, dan aftak rantas yang teridentifikasi pada Tabel 4.2 perlu segera diperbaiki atau diganti dengan konektor yang sesuai standar PUIL 2020, guna mengurangi resistansi kontak dan risiko titik panas.
2. Penegangan ulang (*re-stringing*) penghantar yang kendur. Sebanyak 25 gawang penghantar dengan kondisi kendur perlu dilakukan penegangan ulang untuk menjaga jarak aman (andongan) sesuai ketentuan Peraturan Menteri ESDM, sekaligus mengurangi risiko gangguan akibat kontak antar fasa atau dengan vegetasi.
3. Pemangkasan vegetasi (pohon rambat) di sekitar jaringan. Tindakan ini penting untuk mencegah gangguan hubung singkat maupun percepatan kerusakan isolasi penghantar akibat gesekan dengan tumbuhan.
4. Pemerataan beban antar jurusan (*load balancing*). Mengingat jurusan menuju TG62G memikul beban yang jauh lebih besar dibandingkan jurusan lain, PLN dapat mempertimbangkan pemindahan sebagian sambungan pelanggan ke jurusan dengan pembebanan lebih rendah, seperti jurusan TG62S atau Ara, untuk meratakan distribusi beban.
5. Penambahan atau pemindahan titik gardu distribusi (*uprating/relokasi*). Untuk solusi jangka menengah-panjang, PLN dapat mengkaji penambahan gardu sisipan atau perpindahan sebagian jurusan TG62G ke gardu terdekat lainnya guna memperpendek jarak saluran dari sumber ke beban.
6. Perbaikan sistem pentanahan (*arde*). Lima titik dengan kondisi arde tidak baik sebagaimana tercatat pada Tabel 4.2 perlu diperbaiki untuk menjamin keselamatan instalasi sesuai persyaratan PUIL 2020.

Penerapan rekomendasi tersebut secara bertahap diharapkan dapat menurunkan nilai jatuh tegangan pada jurusan menuju TG62G hingga berada dalam batas yang diizinkan SPLN 72:1987 ($\leq 5\%$), sekaligus menurunkan rugi daya teknis dan meningkatkan efisiensi penyaluran daya pada jaringan tegangan rendah Gardu TG62H secara keseluruhan.

Secara keseluruhan, kombinasi antara analisis kuantitatif (jatuh tegangan, arus, rugi daya, dan efisiensi) pada seluruh titik pengukuran dengan analisis kualitatif kondisi fisik jaringan memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kinerja JTR Gardu TG62H, sekaligus menjadi dasar objektif bagi PLN UP3 Cengkareng dalam menyusun rencana perbaikan jaringan yang terukur dan tepat sasaran.

4.6.3 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Studi Terdahulu

Hasil penelitian ini, yaitu nilai $\% \Delta V$ tertinggi sebesar 16,36% pada Jurusan TG62H-4 dan TG62H-5, sejalan dengan temuan Kurniawan dan Susanto (2021) yang juga melaporkan bahwa titik-titik pada ujung jaringan yang berjarak jauh dari gardu distribusi cenderung mengalami jatuh tegangan yang melampaui batas SPLN 72:1987. Pola serupa turut dikonfirmasi oleh Saputra, Luthfi, dan Ridwan (2023) pada studi kasus PLN UP3 Bekasi, di mana jurusan dengan jumlah sambungan rumah (SR) terkonsentrasi mengalami $\% \Delta V$ tertinggi dibandingkan jurusan lain, sebagaimana juga ditemukan pada Jurusan TG62H-4 dan TG62H-5 dalam penelitian ini.

Temuan mengenai korelasi antara panjang saluran dengan besarnya jatuh tegangan dan rugi daya pada penelitian ini juga konsisten dengan hasil penelitian Yulianto, Mulyono, dan Amri (2020) yang secara khusus mengkaji pengaruh panjang saluran terhadap kedua parameter tersebut. Selain itu, kondisi fisik jaringan yang kurang optimal (penghantar kendur, *bare joint*, dan *joint* rantas) yang ditemukan pada penelitian ini turut memperkuat hasil

Dari sisi solusi, rekomendasi pemerataan beban (*load balancing*) yang diusulkan pada penelitian ini sejalan dengan pendekatan yang digunakan Suherman, Yulistia, dan Priyanto (2021) dalam optimasi penempatan trafo

distribusi, sedangkan rekomendasi perbaikan sambungan dan penegangan ulang penghantar melengkapi solusi berbasis kapasitor bank yang diusulkan Arif, Budiman, dan Nugroho (2021) maupun Rahayu dan Wicaksono (2022). Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat dikatakan memperkuat sekaligus melengkapi temuan-temuan pada penelitian terdahulu, khususnya dalam konteks jaringan tegangan rendah dengan konfigurasi radial bercabang banyak seperti pada JTR Gardu TG62H.

4.6.4 Prioritas Penanganan Jurusan Bermasalah

Berdasarkan keseluruhan hasil perhitungan pada Tabel 4.5, kelima jurusan yang tidak memenuhi standar SPLN 72:1987 dapat diurutkan berdasarkan tingkat urgensi penanganan, dengan mempertimbangkan besarnya $\% \Delta V$ dan rugi daya aktif yang ditimbulkan, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Prioritas Penanganan Jurusan Bermasalah pada JTR Gardu TG62H

Peringkat	Jurusan	$\% \Delta V$ (%)	Plosses (Watt)	Prioritas
1	TG62H - 4	16,36	1.137,16	Sangat Tinggi
1	TG62H - 5	16,36	1.137,16	Sangat Tinggi
3	TG62H - 2	15,00	955,87	Tinggi
4	TG62H - 3	14,55	898,42	Tinggi
5	TG62H - 1	7,73	253,62	Sedang

Berdasarkan Tabel 4.5, Jurusan TG62H-4 dan TG62H-5 menempati peringkat prioritas tertinggi karena memiliki $\% \Delta V$ dan rugi daya terbesar secara bersamaan, sehingga perbaikan pada kedua jurusan tersebut perlu dilakukan terlebih dahulu. Jurusan TG62H-2 dan TG62H-3 menyusul pada prioritas tinggi, sedangkan Jurusan TG62H-1 dengan $\% \Delta V$ 7,73% tergolong prioritas sedang karena nilainya masih relatif mendekati batas standar dibandingkan keempat jurusan lainnya. Pengurutan prioritas ini dapat menjadi acuan bagi PLN UP3 Cengkareng dalam merencanakan tahapan perbaikan

jaringan secara bertahap sesuai dengan ketersediaan sumber daya dan anggaran pemeliharaan.

4.6.5 Estimasi Dampak Ekonomis Rugi Daya (Ilustratif)

Sebagai gambaran tambahan mengenai dampak ekonomis dari rugi daya yang dihitung pada sub-bab 4.9.1, dilakukan estimasi kasar (ilustratif) terhadap potensi kerugian energi pada sepuluh titik pengukuran. Total rugi daya aktif sebesar 4.534,71 Watt ($\approx 4,53$ kW), apabila diasumsikan berlangsung secara kontinu selama 24 jam sehari sepanjang tahun (kondisi upper-bound, tanpa memperhitungkan faktor beban/load factor harian yang sesungguhnya bervariasi), akan menghasilkan estimasi energi yang hilang sebesar $4,53 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} \times 365 \text{ hari} \approx 39.724 \text{ kWh}$ per tahun.

Dengan asumsi tarif tenaga listrik rata-rata sebesar Rp1.444,70/kWh sebagai acuan ilustratif, estimasi nilai ekonomis rugi daya pada kesepuluh titik pengukuran tersebut adalah sekitar $39.724 \text{ kWh} \times \text{Rp}1.444,70 \approx \text{Rp}57.389.000$ per tahun. Perlu ditekankan bahwa angka ini bersifat ilustratif dan merupakan batas atas (*upper bound*), karena pada kondisi aktual beban jaringan tidak selalu berada pada level pengukuran (mendekati beban puncak) sepanjang waktu, sehingga nilai kerugian riil kemungkinan lebih rendah dari estimasi tersebut.

Meskipun bersifat ilustratif, estimasi ini memberikan gambaran bahwa permasalahan jatuh tegangan dan rugi daya pada JTR Gardu TG62H. Khususnya pada jurusan menuju TG62G, memiliki implikasi ekonomis yang cukup berarti bagi PLN, untuk memperoleh estimasi biaya yang lebih akurat, diperlukan data kurva lama beban (*load duration curve*) aktual pada masing-masing jurusan yang berada di luar cakupan data penelitian ini.

4.6.6 Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil analisis. Pertama, nilai arus beban pada setiap titik pengukuran diperoleh melalui estimasi (*reverse calculation*) berdasarkan data jatuh tegangan hasil pengukuran, bukan dari pengukuran arus langsung

menggunakan tang ampere, sehingga terdapat kemungkinan penyimpangan antara nilai estimasi dengan kondisi arus aktual di lapangan.

Kedua, nilai reaktansi penghantar ($X = 0,08 \Omega/\text{km}$) yang digunakan merupakan nilai tipikal kabel NFA2X berdasarkan referensi umum, bukan hasil pengukuran langsung pada penghantar Gardu TG62H, sehingga hasil perhitungan rugi daya reaktif bersifat estimasi. Ketiga, perhitungan resistansi menggunakan nilai pada suhu acuan 20°C tanpa mempertimbangkan kenaikan suhu aktual akibat pembebanan, sebagaimana diuraikan pada sub-bab 2.1.14.

Keempat, estimasi dampak ekonomis bersifat ilustratif dengan asumsi pembebanan konstan sepanjang waktu, sehingga tidak mencerminkan variasi beban aktual sepanjang hari. Meskipun terdapat keterbatasan-keterbatasan tersebut, hasil penelitian ini tetap dapat digunakan sebagai dasar evaluasi awal dan penentuan prioritas perbaikan jaringan, dengan catatan bahwa verifikasi lebih lanjut melalui pengukuran arus langsung di lapangan akan meningkatkan akurasi hasil analisis pada penelitian selanjutnya.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada Bab IV, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai jatuh tegangan pada JTR Gardu TG62H bervariasi antar jurusan, dengan nilai terendah pada jurusan TG62S sebesar 0,91% dan nilai tertinggi pada Jurusan TG62H-4 dan TG62H-5 yang masing-masing mencapai 16,36%. Dari sepuluh titik pengukuran, lima titik yaitu TG62S, Jambu, Mangga/Aftak Rantas, Ara-1, dan Ara-2 masih berada dalam batas yang diizinkan, sedangkan lima titik lainnya pada jurusan menuju Gardu TG62G berada pada rentang 7,73%–16,36%.
2. Rugi daya aktif pada jaringan meningkat signifikan seiring besarnya arus beban dan jatuh tegangan, sejalan dengan hukum Joule ($P_{losses} = I^2R$). Pada titik TG62S, rugi daya hanya sebesar 3,5 Watt, sedangkan pada jurusan TG62H-4 rugi daya mencapai 1.136,9 Watt ($\approx 1,14$ kW), atau lebih dari 300 kali lipat. Total rugi daya aktif pada seluruh sepuluh titik pengukuran adalah sekitar 4.534,71 Watt, dengan kontribusi sekitar 94% berasal dari kelima jurusan menuju Gardu TG62G.
3. Ditinjau dari standar SPLN 72:1987 (batas maksimum jatuh tegangan 5%), lima dari sepuluh titik pengukuran, seluruhnya berada pada jurusan menuju Gardu TG62G, dinyatakan tidak memenuhi standar, sedangkan lima titik lainnya memenuhi. Kondisi tersebut juga tidak sejalan dengan prinsip keandalan dan kualitas pelayanan tenaga listrik menurut PUIL 2020, sehingga jurusan tersebut memerlukan evaluasi teknis segera.
4. Solusi teknis yang dapat diterapkan untuk memperbaiki jurusan yang tidak memenuhi standar meliputi perbaikan sambungan bermasalah (*bare joint* dan *joint* rantas), penegangan ulang (*re-stringing*) penghantar kendur, pemangkasan vegetasi, pemerataan beban (*load balancing*) antar jurusan, serta pertimbangan penambahan atau pemindahan gardu distribusi (*uprating/relokasi*) dan perbaikan sistem pentanahan.

5.2 Saran

1. Perlu Melakukan pemerataan beban (*load balancing*) antar jurusan, khususnya memindahkan sebagian sambungan pelanggan dari jurusan TG62G ke jurusan dengan pembebanan lebih rendah seperti TG62S atau Ara.
2. Memperbaiki seluruh titik *bare joint*, *joint* rantas, dan aftak rantas yang teridentifikasi pada Tabel 4.2 dengan konektor sesuai standar PUIL 2020 guna mengurangi resistansi kontak.
3. Mempertimbangkan penambahan gardu sisipan atau relokasi sebagian jurusan TG62G ke gardu terdekat untuk memperpendek jarak saluran dari sumber ke beban.
4. Melaksanakan pemeliharaan jaringan secara berkala, termasuk penegangan ulang (*re-stringing*) pada 25 gawang penghantar yang kendur dan pemangkasan vegetasi di sekitar jaringan.
5. Melakukan inspeksi berkala terhadap kondisi fisik jaringan JTR, termasuk sistem pentanahan (*arde*) yang masih ditemukan dalam kondisi tidak baik pada 5 titik.
6. Melakukan pemantauan berkala terhadap perkembangan beban pelanggan pada jurusan dengan kondisi mendekati batas standar, seperti Ara-2 ($\% \Delta V$ 4,55%), agar tidak melampaui batas SPLN 72:1987 seiring pertumbuhan beban di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abduh, S., & Saodah, S. (2020). Analisis Jatuh Tegangan dan Rugi Daya pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Menggunakan Metode Load Flow. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC*, 7(2), 45–53.
- [2] Arif, M., Budiman, A., & Nugroho, S. (2021). Studi Perbaikan Jatuh Tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah dengan Pemasangan Kapasitor Bank di PLN UP3 Tangerang. *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, 13(1), 12–21.
- [3] Diantoro, I., Supriyono, H., & Wahyudi, T. (2022). Evaluasi Kualitas Tegangan dan Efisiensi Penyaluran Daya pada Jaringan Distribusi 380 V. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Mercu Buana*, 14(2), 88–97.
- [4] Firmansyah, R., & Wibowo, P. (2020). Analisis Susut Teknis pada Jaringan Tegangan Rendah Studi Kasus Gardu Distribusi di Wilayah Jakarta Barat. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 5(1), 1–10.
- [5] Harahap, P., Azis, F., & Simatupang, J. (2021). Simulasi Aliran Daya Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Menggunakan Software ETAP 16. *Jurnal Energi Elektrik*, 10(2), 30–39.
- [6] Hermawan, D. (2022). Load Flow Analysis of Low Voltage Distribution Network Using Newton-Raphson Method. *International Journal of Electrical Engineering and Applied Sciences*, 5(1), 22–31.
- [7] Kurniawan, E., & Susanto, B. (2021). Analisis Jatuh Tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah di Area Distribusi Jakarta Selatan dengan Software ETAP. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 17(3), 155–164.
- [8] Mulyana, E., Suhendi, E., & Nurhakim, M. L. (2020). Perencanaan Jaringan Distribusi Tegangan Rendah untuk Mengurangi *Losses* dan Meningkatkan Kualitas Tegangan. *Jurnal Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional*, 8(2), 77–86.
- [9] Pratama, A., Hartono, B., & Setiawan, R. (2020). Analisis Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban pada Sistem Distribusi 20 kV. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, 128–135.

- [10] Rahayu, S., & Wicaksono, H. (2022). Pengaruh Penambahan Kapasitor Shunt terhadap Pengurangan Jatuh Tegangan dan Rugi Daya pada Jaringan Distribusi Sekunder. *Jurnal Electrans*, 21(1), 45–54.
- [11] Saputra, A. D., Luthfi, A., & Ridwan, M. (2023). Analisis Kualitas Tegangan dan Rugi Daya pada Jaringan Tegangan Rendah Studi Kasus PLN UP3 Bekasi. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 12(1), 11–20.
- [12] Suherman, T., Yulistia, E., & Priyanto, A. (2021). Optimasi Penempatan Trafo Distribusi untuk Meminimalkan Jatuh Tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC*, 8(1), 60–70.
- [13] Wijaya, M. F., Nurhadi, I., & Purnomo, S. (2022). Studi Analisis Aliran Daya Sistem Distribusi Tegangan Rendah Menggunakan Metode Gauss-Seidel. *Journal of Applied Electrical Engineering*, 6(2), 49–58.
- [14] Yulianto, B., Mulyono, S., & Amri, K. (2020). Analisis Pengaruh Panjang Saluran Terhadap Jatuh Tegangan dan Rugi Daya pada Jaringan Distribusi Sekunder. *Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional*, 6(2), 201–210.
- [15] PT PLN (Persero). (1987). SPLN 72:1987 – Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Rendah dan Jaringan Tegangan Menengah. Jakarta: PT PLN (Persero).
- [16] Badan Standardisasi Nasional. (2011). Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2020), SNI 0225:2011. Jakarta: BSN.
- [17] Setiawan, D., & Rahman, A. (2021). Analisis Ketidakseimbangan Beban dan Pengaruhnya terhadap Rugi Daya pada Jaringan Tegangan Rendah. *Jurnal Teknik Elektro dan Energi Terbarukan*, 9(2), 101–110.
- [18] Nugraha, I., & Santoso, B. (2020). Evaluasi Sistem Pentanahan pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah terhadap Keandalan dan Keselamatan Instalasi. *Jurnal Rekayasa Listrik dan Elektronika*, 6(1), 15–24.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran. 1 Daftar Riwayat Hidup

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



a. Data Personal

NIM : 202371012
Nama : Abd Syakur Rozi
Tempat/ Tgl. Lahir : Jakarta/ 03 Juli 2004
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Status Perkawinan : Belum Menikah
Program Studi : D3 Teknologi Listrik
Alamat Rumah : Jl. Pulosidik No.10, RT.10/RW.3, Jatinegara,Cakung
Telp : +6285716749404
Email : abd2371012@itpln.ac.id

b. Pendidikan

Jenjang	Nama Lembaga	Jurusan	Tahun Lulus
SD	SDN Jatinegara 03 Pagi	-	2016
SMP	SMPN 90 Jakarta	-	2019
SMK	SMKN 5 JAKARTA	TITL	2022

Demikianlah daftar riwayat hidup ini dibuat dengan sebenarnya.

Jakarta, 20 Juli
2026 Mahasiswa

Abd Syakur Rozi

Lampiran. 2 Lembar Bimbingan Skripsi



LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Abd Syakur Rozi
NIM : 202371012
Program Studi : D3 Teknologi Listrik
Jenjang Studi : Diploma
Fakultas : Sekolah Vokasi
Dosen Pembimbing Skripsi : Aas Wasri Hasanah, S.Si., MT.
Judul : Analisis Jatuh Tegangan Dan Rugi Daya
Pada Jaringan Tegangan Rendah Gardu
Distribusi TG62H Di PLN UP3
Cengkareng

Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Pembimbing
10 Maret 2026	Pengenalan Dosen Pembimbing Skripsi	<u>Ars</u>
08 April 2026	Konsultasi Judul Skripsi	<u>Ars</u>
15 April 2026	Konsultasi Topik Skripsi	<u>Ars</u>
22 April 2026	Konsultasi Laporan Proposal Skripsi	<u>Ars</u>
29 April 2026	Konsultasi Terkait Metode Analisis Data	<u>Ars</u>
03 Juni 2026	Konsultasi Progres Proposal Skripsi	<u>Ars</u>

10 Juni 2026	Konsultasi Pengolahan Data	<u>Ars</u>
17 Juni 2026	Konsultasi Progres Pengolahan Data	<u>Ars</u>
24 Juni 2026	Konsultasi Bab 4	<u>Ars</u>
10 Juni 2026	Konsultasi Pembahasan Hasil Analisis Data	<u>Ars</u>
01 Juli 2026	Konsultasi Pembahasan Skripsi	<u>Ars</u>
08 Juli 2026	Konsultasi Bab 5	<u>Ars</u>
14 Juli 2026	Konsultasi Finalisasi Skripsi	<u>Ars</u>

Keterangan :

1. Konsultasi minimal 12 (dua belas) kali pertemuan termasuk konsultasi proposal.
2. Meliputi : Konsultasi Judul/Tema, Materi, Metode Penyelesaian, Pengujian, Analisis Hasil, Kesimpulan.
3. Setiap konsultasi lembar ini harus dibawa dan di PARAF oleh Pembimbing.

Lampiran. 3 Hasil Turnitin



Page 2 of 68 - Integrity Overview

Submission ID: tm:oid:::1:3637057346

12% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 11%  Internet sources
 - 4%  Publications
 - 4%  Submitted works (Student Papers)
-



Page 2 of 68 - Integrity Overview

Submission ID: tm:oid:::1:3637057346

Formulir 6

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

PERBAIKAN NASKAH TUGAS AKHIR

Tanggal ujian sidang : **18 Agustus 2026**
 Nama mahasiswa : **Abd Syakur Rozi**
 NIM : **202371012**
 Program Studi : **D-III Teknologi Listrik**
 Sekolah : **Sekolah Vokasi**
 Judul Tugas Akhir : **Analisis Jatuh Tegangan Dan Rugi Daya Pada Jaringan Tegangan Rendah Gardu Distribusi TG62H DI PLN UP3 Cengkareng**

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Perbaiki Flowchart

2. Perbaiki PUIL 2011

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

19 - 22 Agustus 2026

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

Mahasiswa



Abd Syakur Rozi

Ketua Penguji



**Albert Gifson Hutajulu, S.T.,
M.T.**

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal **19 Agustus 2026**

Mahasiswa



Abd Syakur Rozi

Ketua Penguji



**Albert Gifson Hutajulu, 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 : **18 Agustus 2026**
 Nama mahasiswa : **Abd Syakur Rozi**
 NIM : **202371012**
 Program Studi : **D-III Teknologi Listrik**
 Sekolah : **Sekolah Vokasi**
 Judul Tugas Akhir : **Analisis Jatuh Tegangan Dan Rugi Daya Pada Jaringan Tegangan Rendah Gardu Distribusi TG62H Di PLN UP3 Cengkareng**

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut:

Abstrak : Hasil perlu mencantumkan total rugi daya aktif $\pm 4,53$ kW agar lebih merepresentasikan hasil analisis keseluruhan.

Tambahkan grafik perbandingan

Tambahkan anomali yang terjadi di latar belakang

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

19 - 22 Agustus 2026

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

Mahasiswa



Abd Syakur Rozi

Anggota Penguji



Christine Widyastuti, S.T., M.T.

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal **19 Agustus 2026**

Mahasiswa



Abd Syakur Rozi

Anggota Penguji



Christine Widyastuti, S.T., M.T.

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 : **18 Agustus 2026**
 Nama mahasiswa : **Abd Syakur Rozi**
 NIM : **202371012**
 Program Studi : **D-III Teknologi Listrik**
 Sekolah : **Sekolah Vokasi**
 Judul Tugas Akhir : **Analisis Jatuh Tegangan Dan Rugi Daya Pada Jaringan Tegangan Rendah Gardu Distribusi TG62H Di PLN UP3 Cengkareng**

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut:

lihat d laporan skripsi

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

19 - 22 Agustus 2026

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

Mahasiswa



Abd Syakur Rozi

Dosen Pembimbing



**Aas Wasri Hasanah, S.Si.,
M.T.**

19 Agustus 2026

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal

Mahasiswa



Abd Syakur Rozi

Dosen Pembimbing



**Aas Wasri Hasanah, S.Si.,
M.T.**

Formulir 9

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

RINGKASAN PERBAIKAN NASKAH TUGAS AKHIR

Tanggal ujian sidang : **18 Agustus 2026**
 Nama mahasiswa : **Abd Syakur Rozi**
 NIM : **202371012**
 Program Studi : **D-III Teknologi Listrik**
 Sekolah : **Sekolah Vokasi**
 Judul Tugas Akhir : **Analisis Jatuh Tegangan Dan Rugi Daya Pada Jaringan Tegangan Rendah Gardu Distribusi TG62H Di PLN UP3 Cengkareng**

Saran perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Lihat catatan penguji dan pembimbing

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

19 - 22 Agustus 2026

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

Mahasiswa



Abd Syakur Rozi

Dosen Pembimbing



Aas Wasri Hasanah, S.Si., M.T.

Ketua Penguji



Albert Gifson Hutajulu, S.T., M.T.

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal **19 Agustus 2026**

Mahasiswa



Abd Syakur Rozi

Dosen Pembimbing



Aas Wasri Hasanah, S.Si., M.T.

Ketua Penguji



Albert Gifson Hutajulu, S.T., M.T.