TUGAS AKHIR

ANALISIS PENINGKATAN KAPASITAS JARINGAN DISTRIBUSI AKIBAT PERTUMBUHAN BEBAN DI PT. GALATTA ABADI PLASTINDO

Diajukan Untuk Melengkapi Tugas-Tugas dan Sebagai Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T) pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun Oleh :
DWI AZIS ARFANSYAH
NPM : 2207220006

UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2026

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini di ajukan oleh :

Nama	: Dwi azis arfansyah
NPM	: 2207220006
Program Study	: Teknik Elektro
Judul Skripsi	: Analisis Peningkatan Kapasitas Jaringan Distribusi Akibat Pertumbuhan Beban Di PT Galatta Abadi Plastindo
Bidang ilmu	: Sistem Tenaga

Telah berhasil di pertahankan di hadapan penguji dan di terima sebagai salah satu syarat yang di perlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Medan, 15 September 2026

Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Benny Oktrialdi S.T.,M.T.

Dosen Pembanding I/penguji

Dr. Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T

Dosen Pembanding II/Penguji

Dr. Elvy Sahnur Nasution,S.T.,M.Pd

Program Study Teknik Elektro

Ketua

Dr. Elvy Sahnur Nasution,S.T.,M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap	: Dwi Azis Arfansyah
Tempat/Tanggal Lahir	: Durin Simbelang/ 12 Mei 2001
NPM	: 2207220006
Fakultas	: Teknik
Program Study	: Teknik Elektro

Menyatakan Dengan Sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul

" Analisis Peningkatan Kapasitas Jaringan Distribusi Akibat Pertumbuhan Beban Di PT Galatta Abadi Plastindo "

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis tangan akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari di duga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh tim fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran diri dan tidak atas paksaan ataupun tekanan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di program study Teknik elektro, fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan 15 september 2026

Saya yang menyatakan



zis Arfansyah

(Dwi Azis Arfansyah)

ABSTRAK

Pertumbuhan kebutuhan energi listrik pada sektor industri perlu diimbangi dengan kapasitas jaringan distribusi yang memadai agar kontinuitas dan kualitas penyaluran energi listrik tetap terjaga. Pertumbuhan beban yang tidak diikuti dengan peningkatan kapasitas jaringan dapat menyebabkan meningkatnya pembebanan transformator, jatuh tegangan, rugi-rugi daya, serta menurunnya faktor daya dan efisiensi sistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi eksisting jaringan distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo serta menganalisis pengaruh pertumbuhan beban terhadap kinerja sistem distribusi. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan melakukan observasi, dokumentasi, dan studi literatur. Data yang dianalisis meliputi data operasional sistem distribusi selama periode Januari sampai Desember, kemudian dilakukan perhitungan daya aktif, daya semu, daya reaktif, arus beban, pembebanan transformator, jatuh tegangan, rugi daya, faktor daya, dan efisiensi sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya aktif meningkat dari 390 kW menjadi 498 kW atau sebesar 27,69%, sedangkan arus beban meningkat dari 592,55 A menjadi 781,30 A. Pembebanan transformator berkapasitas 630 kVA meningkat dari 65,16% menjadi 85,92%, sehingga cadangan kapasitas transformator semakin berkurang. Pertumbuhan beban juga menyebabkan jatuh tegangan meningkat dari 4,35% menjadi 6,17%, rugi daya meningkat dari 13,83 kW menjadi 24,06 kW, efisiensi sistem menurun dari 96,58% menjadi 95,39%, serta faktor daya menurun dari 0,95 menjadi 0,92. Dengan demikian, pertumbuhan beban memberikan pengaruh terhadap penurunan kinerja sistem distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo. Meskipun transformator masih mampu melayani beban selama periode penelitian, kondisi tersebut menunjukkan perlunya evaluasi dan perencanaan peningkatan kapasitas jaringan untuk mengantisipasi pertumbuhan beban di masa mendatang.

Kata kunci: pertumbuhan beban, jaringan distribusi, transformator, jatuh tegangan, rugi daya, faktor daya.

ABSTRACT

The growth in electricity demand in the industrial sector needs to be balanced with adequate distribution network capacity to maintain the continuity and quality of electricity supply. Load growth that is not accompanied by an increase in network capacity can lead to increased transformer loading, voltage drop, power losses, as well as decreases in power factor and system efficiency. This study aims to analyze the existing condition of the electrical distribution network at PT Galatta Abadi Plastindo and to analyze the effect of load growth on the performance of the distribution system. The method used in this study is a quantitative method through observation, documentation, and literature review. The data analyzed consisted of distribution system operational data from January to December, including active power, apparent power, reactive power, load current, transformer loading, voltage drop, power losses, power factor, and system efficiency. The results showed that active power increased from 390 kW to 498 kW, representing an increase of 27.69%, while the load current increased from 592.55 A to 781.30 A. The loading of the 630 kVA transformer increased from 65.16% to 85.92%, resulting in a decrease in the remaining transformer capacity. Load growth also caused the voltage drop to increase from 4.35% to 6.17%, power losses to increase from 13.83 kW to 24.06 kW, system efficiency to decrease from 96.58% to 95.39%, and the power factor to decrease from 0.95 to 0.92. Therefore, load growth has an effect on the decline in the performance of the electrical distribution system at PT Galatta Abadi Plastindo. Although the transformer was still able to supply the load during the research period, these conditions indicate the need for evaluation and planning for distribution network capacity improvement to anticipate future load growth.

Keywords: *load growth, distribution network, transformer, voltage drop, power losses, power factor.*



KATA PENGANTAR

Asslamu'alaikum wr.wb

Puji syukur kehadirat ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi semesta alam. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad.SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah **"Analisis Peningkatan Kapasitas Jaringan Distribusi Akibat Pertumbuhan Beban Di PT Galatta Abadi Plastindo"**

Selesainya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda serta Abangda dan Kakanda tersayang, yang dengan cinta kasih dan sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.
2. Bapak Prof. Dr. Akrim, M.Pd. Selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
3. Bapak Ir. Ade Faisal, S.T, M.Sc, Ph.D, Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Dr. Khairul Umurani, S.T, M.T, Selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T, M.T, Selaku wakil Dekan III Fakultas Teknik,

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

6. Ibu Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T, M.Pd, Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Benny Oktrialdi, S.T, M.T, Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Dan Sekaligus Sebagai Dosen Pembimbing Saya.
8. Bapak dan Ibu Dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Karyawan Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Teman-teman sejawat dan seperjuangan Fakultas Teknik, khususnya Program Studi Teknik Elektro angkatan 2022 yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

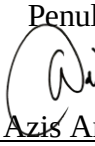
Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Wassalamu'alakum wr.wb

Medan, 26 Agustus 2026

Penulis



Dwi Azis Arfansyah

Npm : 2207220006

DAFTAR ISI

ABSTRAK……... iv
ABSTRACT…… v
KATA PENGANTAR ……... vi
DAFTAR ISI……... viii
DAFTAR TABEL…….. xi
DAFTAR GAMBAR…… xii

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang……... 1
1.2 Rumusan Masalah…… 2
1.3 Tujuan Penelitian……... 2
1.4 Manfaat Penelitian…… 2
1.5 Ruang Lingkup ……..3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik……... 4
2.2 Keandalan Sistem Distribusi…… 5
2.2.1 Transformator Distribusi…… 6
2.3 Beban Listrik…… 7
2.4 Daya Listrik ……...9
2.4.1 Daya Nyata atau Daya Aktif ……... 9
2.4.2 Daya Semu ……... 10
2.4.3 Daya Reaktif ……10
2.5 Tegangan Jatuh ……11
2.6 Rugi Daya ……13
2.7 Faktor Daya ……14
2.7.1 Faktor Daya Leading ……15
2.7.2 Faktor Daya Lagging ……16
2.8 Jaringan Distribusi Listrik ……...16
2.9 Fungsi Jaringan Distribusi Listrik ……...17
2.9.1 Peranan Jaringan Distribusi Dalam Sistem Industri ……17
2.10 Klasifikasi Jaringan Distribusi Listrik ……...18
2.10.1 Jaringan Distribusi Primer …… 18
2.10.2 Jaringan Distribusi Sekunder …… 18
2.11 Konfigurasi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik ……18
2.11.1 Sistem Radial ……..19
2.11.2 Sistem Loop dan Ring ……19
2.11.3 Sistem Network ……..19
2.12 Kondisi Eksisting Jaringan Distribusi Industri …… 19
2.13 Pengaruh Konfigurasi Jaringan Terhadap Pertumbuhan Beban ……... 21
2.14 Gardu Distribusi ……21
2.15 Pengaruh Pertumbuhan Beban Terhadap Gardu Distribusi ……... 22
2.15.1 Konsep Pertumbuhan Beban dan Kaitannya dengan Gardu Distribusi …. 22
2.15.2 Pengaruh Pertumbuhan Beban Terhadap Pembebanan Transformator Gardu Distribusi ……...22
2.15.3 Pengaruh Pertumbuhan Beban Terhadap Jatuh Tegangan Pada Gardu

Distribusi ……... 23
2.15.4 Pengaruh Pertumbuhan Beban Terhadap Rugi Daya Gardu Distribusi …. 23

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 24
3.1 Tempat Dan Waktu …… 24
3.1.1 Tempat …… 24
3.1.2 Waktu ……... 24
3.2 Tahap Identifikasi ……25
3.3 Pengumpulan Data …….. 25
3.4 Instrumen Penelitian ……26
3.5 Teknik Analisis Data ……...26
3.6 Flowchart ……27

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 33
4.1 Kondisi Eksisting Jaringan Distribusi Listrik PT Galatta Abadi Plastindo … 33
4.1.1 Konfigurasi Sistem Distribusi Listrik …… .33
4.1.2 Data Teknis Sistem Distribusi ……..34
4.1.3 Perhitungan Resistansi Penghantar …….. 35
4.1.4 Analisis Daya Aktif, Daya Semu, dan Daya Reaktif ……... 36
4.1.5 Perhitungan Arus Beban …….. 41
4.1.6 Analisis Pembebanan Transformator …….. 44
4.1.7 Evaluasi Kondisi Eksisting Jaringan Distribusi …… 49
4.1.8 Pembahasan Hasil Penelitian terhadap Rumusan Masalah Pertama ……50
4.1.9 Kesimpulan Rumusan Masalah Pertama ……..51
4.2 Analisis Pengaruh Pertumbuhan Beban terhadap Penurunan Kinerja Sistem Distribusi ……...52
4.2.1 Analisis Pertumbuhan Beban …….. 53
4.2.2 Analisis Jatuh Tegangan …….. 55
4.2.2.1 Data Teknis Saluran Distribusi ……. 56
4.2.2.2 Perhitungan Reaktansi Penghantar ……57
4.2.2.3 Perhitungan Impedansi Saluran …… 57
4.2.2.4 Perhitungan Jatuh Tegangan ……. 57
4.2.3 Analisis Rugi Daya …….. 60
4.2.3.1 Dasar Perhitungan Rugi Daya …….. 60
4.2.3.2 Perhitungan Rugi Daya …… 61
4.2.4 Analisis Efisiensi Sistem Distribusi ……63
4.2.4.1 Persamaan Efisiensi …….. 63
4.2.5 Analisis Faktor Daya ……66
4.2.5.1 Dasar Perhitungan Faktor Daya …… 66
4.2.5.2 Perhitungan Faktor Daya …….. 67
4.2.6 Hubungan Pertumbuhan Beban terhadap Penurunan Kinerja Sistem ……..69
4.2.7 Pembahasan Rumusan Masalah Nomor 2 ……71
4.2.8 Analisis Sintesis Kinerja Sistem Distribusi ……..72
4.2.9 Implikasi Hasil Penelitian terhadap Pengelolaan Sistem Distribusi …… 74
4.2.10 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu …….
76

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 79
5.1 Kesimpulan 79
5.2 Saran 81

DAFTAR PUSTAKA 82

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu Penelitian 24

Tabel 4.1 Data Teknis Sistem Distribusi 34
Tabel 4.2 Data Daya Aktif dan Faktor Daya 36
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Daya Semu 38
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Daya Reaktif 40
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Arus Beban 42
Tabel 4.6 Persentase Pembebanan Transformator 44
Tabel 4.7 Sisa Kapasitas Transformator 46
Tabel 4.8 Rekapitulasi Kondisi Eksisting Jaringan Distribusi 49
Tabel 4.9 Pertumbuhan Beban Bulanan 53
Tabel 4.10 Data Teknis Saluran Distribusi 56
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Jatuh Tegangan 58
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Rugi Daya 61
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Efisiensi Sistem Distribusi 64
Tabel 4.14 Hasil Analisis Faktor Daya 67
Tabel 4.15 Rekapitulasi Parameter Kinerja Sistem Distribusi 72
Tabel 4.16 Perbandingan Hasil Penelitian Dengan Penelitian Terdahulu 76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Distribusi Listrik 5
Gambar 2.2 Transformator Energi 7
Gambar 2.3 Gelombang Beban Resistif 8
Gambar 2.3 Gelombang Arus Beban Induktif 8
Gambar 2.3 Gelombang Beban Kapasitif 9
Gambar 2.4 Segitiga Daya 11
Gambar 2.5 Diagram Fasor Tegangan dan Arus Jaringan Distribusi 12
Gambar 2.7.1 Gelombang Sinus Pada Faktor Daya Leading 15
Gambar 2.7.2 Gelombang Sinus Pada Faktor Daya Lagging 16
Gambar 2.8.1 Jaringan Distribusi Listrik 17
Gambar 2.14.1 Gardu Distribusi 22

Gambar 4.3 Grafik Perhitungan Daya Semu 39
Gambar 4.4 Grafik Perhitungan Daya Reaktif 40
Gambar 4.5 Grafik Perhitungan Arus Beban 42
Gambar 4.6 Grafik Persentase Pembebanan Transformator 44
Gambar 4.7 Grafik Persentase Sisa Kapasitas Transformator 46
Gambar 4.9 Grafik Pertumbuhan Beban 54
Gambar 4.11 Grafik Perhitungan Jatuh Tegangan 59
Gambar 4.12 Grafik Rugi Daya terhadap Pertumbuhan Beban 62
Gambar 4.13 Grafik Efisiensi Sistem Distribusi 65
Gambar 4.14 Grafik Faktor Daya dan Daya Reaktif 68
Gambar 4.15 Grafik Rekapitulasi Parameter Kinerja Sistem 73

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Enegi listrik merupakan kebutuhan utama dalam kegiatan industri modern.Hampir seluruh peralatan produksi,sistem penerangan,serta fasilitas pendukung operasional bergantung pada pasokan energi listrik yang andal.Dalam sistem tenaga listrik,jaringan distribusi memiliki peran penting sebagai penghubung antara sumber tenaga listrik dan beban yang menggunakan energi tersebut.Keandalan dan efesisensi jaringan distribusi menjadi faktor utama yang menentukan kualitas daya listrik yang diterima oleh pengguna.

Seiring dengan meningkatnya aktivitas produksi di sektor industri,kebutuhan daya listrik juga terus mengalami peningkatan.Pertumbuhan beban yang tidak diimbangi dengan penambahan kapasitas pada sistem distribusi dapat menimbulkan berbagai permasalahan teknis,seperti terjadinya jatuh tegangan (voltage drop) yang melebihi standar,meningkatnya rugi daya (power losses) serta menurunnya faktor daya (power factor).Kondisi tersebut tidak hanya mengurangi efisiensi penyaluran energi listrik,tetapi juga berpotensi menimbulkan gangguan peralatan listrik dan menurunkan sistem keandalan distribusi.

PT Galatta Abadi Plastindo merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri plastik,dimana kegiatan produksinya bergantung pada pasokan energi listrik yang stabil dan berkesinambungan.Dalam beberapa tahun terakhir,perusahaan mengalami peningkatan kapasitas produksi untuk memenuhi permintaan pasar yang semakin tinggi.

Untuk menjaga kinerja sistem distribusi dan mencegah terjadinya gangguan akibat pertumbuhan beban tersebut,diperlukan langkah peningkatan kapasitas jaringan distribusi.Upaya yang dapat dilakukan antara lain melalui penambahan kapasitas transformator serta penggantian penghantar utama dengan ukuran yang lebih besar.Dengan peningkatan kapasitas ini diharapkan efisiensi penyaluran energi dapat meningkat,jatuh tegangan dapat ditekan

dibawah batas toleransi,dan faktor daya sistem dapat diperbaiki sehingga kualitas daya listrik tetap terjaga sesuai standar.

Berdasarkan permasalahan tersebut,perlu dilakukan penelitian yang berjudl “Analisis Peningkatan Kapasitas Jaringan Distribusi Akibat Pertumbuhan Beban di PT Galatta Abadi Plastindo.” Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sejauh mana peningkatan kapasitas jaringan distribusi mampu mengimbangi pertumbuhan beban yang terjadi,serta menilai efektivitasnya terhadap perbaikan kualitas sistem tenaga listrik di perusahaan.Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan bagi perusahaan dalam melakukan perencanaan dan pengembangan sistem distribusi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas,maka rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi eksisting jaringan distribusi listrik di PT Galata Abadi Plastindo sebelum dilakukan peningkatan kapasitas?
2. Bagaimana pengaruh pertumbuhan beban terhadap penurunan kinerja sistem distribusi,seperti jatuh tegangan,rugi daya,dan faktor daya?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari Penelitian ini adalah untuk:

1. Menganalisis kondisi jaringan distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo sebelum dan sesudah peningkatan.
2. Menganalisis pertumbuhan beban terhadap efisiensi dan kualitas daya pada sistem distribusi

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi perusahaan,sebagai bahan evaluasi dan acuan dalam peningkatan kapasitas jaringan distribusi untuk menjaga efisiensi dan kontinuitas pasokan listrik.
2. Bagi akademisi,sebagai referensi tambahan dalam pengembangan kajian tentang sistem distribusi tenaga listrik dilingkungan industri
3. Bagi peneliti selanjutnya,sebagai dasar untuk penelitian lanjutan

dalam bidang analisis dan optimasi sistem distribusi tenaga listrik

1.5 Ruang Lingkup

Agar penelitian lebih terarah ,Adapun ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada sistem jaringan distribusi tenaga listrik internal di PT Galatta Abadi Plastindo yang digunakan untuk menyuplai energi listrik pada seluruh fasilitas produksi dan penunjang operasional perusahaan.
2. Penelitian difokuskan pada analisis kondisi eksisting jaringan distribusi sebelum dilakukan peningkatan kapasitas dengan mengevaluasi kapasitas transformator, pembebanan transformator, arus beban, serta kondisi penghantar distribusi.
3. Analisis dilakukan berdasarkan data operasional sistem distribusi selama periode Januari sampai Desember sehingga dapat menggambarkan perubahan karakteristik sistem akibat pertumbuhan beban dalam satu tahun.
4. Parameter yang dianalisis meliputi pertumbuhan beban listrik, arus beban, pembebanan transformator, jatuh tegangan (*voltage drop*), rugi daya (*power losses*), efisiensi sistem distribusi, dan faktor daya (*power factor*).
5. Penelitian menggunakan metode analisis kuantitatif melalui perhitungan berdasarkan teori sistem distribusi tenaga listrik dan standar yang berlaku, seperti Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2020), serta membandingkan hasil perhitungan dengan batas-batas teknis yang direkomendasikan.
6. Penelitian tidak membahas secara rinci sistem pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi, sistem proteksi, koordinasi rele, kualitas harmonisa, analisis hubung singkat, maupun sistem pentanahan (*grounding*), karena penelitian difokuskan pada kinerja jaringan distribusi akibat pertumbuhan beban.
7. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai pengaruh pertumbuhan beban terhadap kinerja sistem distribusi listrik serta menjadi dasar pertimbangan dalam perencanaan peningkatan kapasitas jaringan distribusi di PT Galatta Abadi Plastindo.

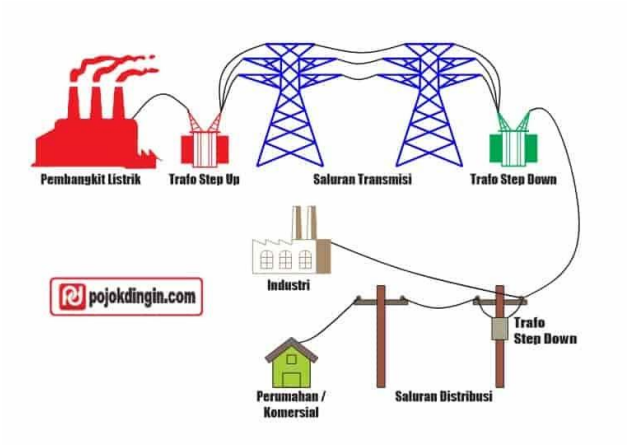
BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem distribusi tenaga listrik

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan salah satu bagian dari suatu sistem tenaga yang dimulai dari PMT incoming di Gardu Induk sampai dengan alat penghitung dan Pembatas (APP) di instalasi konsumen yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Induk sebagai pusat-pusat beban ke pelanggan-pelanggan secara langsung atau melalui gardu-gardu distribusi dengan mutu yang memadai sesuai standar pelayanan yang berlaku.

Sistem distribusi pada saat ini dapat dibedakan dalam 2 macam yaitu distribusi primer, atau sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan distribusi sekunder, atau sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Rendah (JTR).

a) Sistem jaringan distribusi primer Sistem jaringan distribusi primer merupakan bagian dari sistem tenaga listrik antara Gardu Induk (GI) dan gardu distribusi. Pada jaringan distribusi primer umumnya terdiri dari jaringan tiga fasa dengan menggunakan tiga atau empat kawat/kabel sebagai penghantar, dengan besar tegangan antara 6kV, 12kV, atau 20kV.
b) Sistem jaringan distribusi sekunder Sistem jaringan distribusi sekunder merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang dimulai dari sisi sekunder trafo ditribusi sampai dengan sambungan rumah pada pelanggan yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu distribusi ke pelanggan dengan tegangan operasi yakni tegangan rendah 380/220V.(Kevin et al.,2020)



Gambar 2. 1 Sistem Distribusi Listrik

(Nanang et al.,2020)

2.2 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi adalah kemampuan sistem distribusi dalam menyalurkan tanaga listrik dengan baik dan stabil kepada pelanggan. Struktur jaringan tegangan menengah memegang peranan penting dalam menentukan keandalan penyaluran tenaga listrik karena jaringan yang baik memungkinkan dapat melakukan manuver tegangan dengan mengalokasikan tempat gangguan dan beban dapat dipindahkan melalui jaringan lainnya. Jaringan distribusi tenaga listrik adalah jaringan tenaga listrik yang memasok kelistrikan ke beban (pelanggan) mempergunakan tegangan menengah 20 kV dan tegangan rendah 220-380kV. Jaringan tegangan menengah disebut sebagai jaringan distribusi primer dan untuk jaringan tegangan rendah disebut sebagai jaringan distribusi sekunder. Jaringan dikatakan andal apabila jaringan tersebut frekuensi pemadamannya rendah dan mutu tegangan optimal (sesuai standar). Mutu pelayanan antara lain tergantung dari lamanya pemadaman dan frekuensi pemadaman yang terjadi. (Kevin et al., 2020)

Fungsi saluran distribusi adalah menyalurkan energi listrik dari gardu distribusi ke beban dengan menyalurkan tegangan rendah sehingga siap digunakan oleh peralatan listrik sisi konsumen.

Dalam implementasinya di lapangan, sistem distribusi tegangan rendah ini didistribusikan dalam tiga fase menuju konsumen dan sebagian didistribusikan secara fase satu menuju beban. Sebuah pabrik atau perusahaan yg bergerak

dibidang produksi biasanya memiliki gardu distribusi sendiri dimana listrik disuplai langsung dari gardu distribusi dengan tegangan menengah 20 kV dari area gardu distribusi atau dari lokasi teritorial pabrik. Kemudian tegangan menengah akan diturunkan dengan trafo step- down di setiap gedung dan diumpankan melalui panel utama tegangan rendah (LVMDP).

2.2.1 Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan suatu komponen yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik dari gardu induk ke konsumen karena sangat menentukan dalam pendistribusian tenaga listrik tegangan rendah. Transformator distribusi berfungsi mengubah tegangan listrik arus bolak-balik dari tegangan menengah 20 kV menjadi tegangan rendah 380/220V dengan frekwensi tetap

Transformator distribusi mempunyai peranan yang sangat penting dalam penyaluran daya listrik ke konsumen di jaringan distribusi tegangan rendah. Transformator distribusi biasanya dinyatakan dengan spesifikasinya, yakni level tegangan primer dan sekunder, daya nominal dan hubungan belitan antara primer dan sekundernya . Spesifikasi ini menunjukkan batas-batas nominal operasi dari sebuah transformator distribusi. Secara umum perbandingan antara jumlah lilitan kumparan sisi primer dan kumparan sisi sekunder menyatakan perbandingan besar tegangan nominal antara sisi primer dan sisi sekunder dan dinyatakan dengan:

$$\mathrm{n} = \frac{Vs}{Vp} = \frac{Is}{Ip}$$

Daya dari suatu transformator distribusi dinyatakan dengan persamaan:

$$\mathrm{S = V\ P\ I\ P = V\ S\ I\ S}$$

Dimana:

S adalah daya semu transformator distribusi, VP dan VS masing-masing adalah tegangan saluran nominal sisi primer dan tegangan saluran nominal sisi sekunder, IP dan IS masing-masing adalah arus saluran nominal sisi primer dan arus saluran nominal sisi sekunder dan n adalah perbandingan jumlah lilitan. Berbagai operasi dan gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi dapat membuat transformator dapat berkurang kinerjanya dan bahkan mengalami kerusakan. Penyebab kerusakan transformator distribusi yang paling umum adalah pembebanan lebih dan ketidakseimbangan beban . Ketidakseimbangan beban merupakan penyebab yang tidak dapat diantisipasi oleh alat proteksi, sehingga perlu memonitor besar

arus yang mengalir pada setiap fasa transformator distribusi. (Noer et al., 2019)

Transformator atau bisa disebut sebagai transformer adalah sebuah alat listrik yang dapat mengubah dan memindahkan energi listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui 2 (dua) buah medan magnet yang saling terhubung yang berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik (Mukti, & Anisa, 2023).



Gambar 2. 2 Tranformator Energi

(Mukti, & Anisa, 2023)

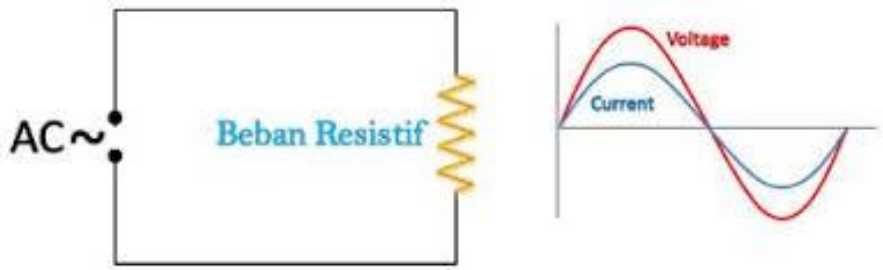
Sesuai dengan kebutuhan besarnya daya yang akan disalurkan serta keadaan faktor-faktor lingkungan, transformator distribusi yang terpasang pada gardu transformator dilaksanakan sebagai gardu pasang luar dalam bentuk gardu bangunan dan gardu tiang. Gardu tiang umumnya dipakai untuk penyaluran tenaga listrik di suatu daerah dimana daya yang disalurkan ke konsumen relatif kecil atau kepadatan beban di daerah penyaluran rendah, sedangkan gardu bangunan digunakan untuk daerah penyaluran dengan kepadatan yang tinggi. Landasan tepat transformator umumnya diperhitungkan kekuatanya untuk pemasangan transformator distribusi. Oleh karena itu transformator distribusi yang terpasang umumnya sesuai dengan daya yang terpasang. Transformator distribusi yang terpasang adalah transformator distribusi tiga fasa, dimana memiliki kapasitas dari 25 kVA - 2500 kVA (Aditya et al., 2021)

2.3 Beban Listrik

Beban listrik (Load) merupakan total daya aktif dan/atau reaktif yang dikonsumsi oleh suatu peralatan yang terkoneksi ke sistem daya. Pada beban seimbang jumlah daya yang dibangkitkan oleh pembangkit tiga phasa diperoleh dengan menjumlahkan daya tiap-tiap phasa. Pada sistem yang seimbang, daya

total sama dengan daya tiga kali phasa dengan perbedaan sudut antara tiap phasa yaitu 120°. Beban listrik (Load) diklasifikasikan menjadi 3, yaitu :

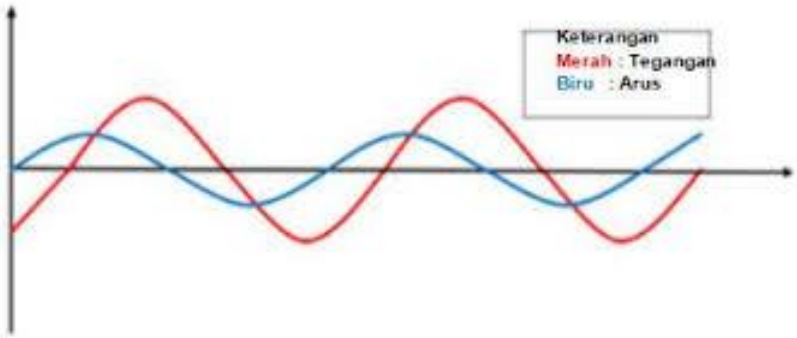
a) Beban Resistif Beban Resistif ialah beban yang memiliki sifat resistif apabila beban Tersebut dialiri arus listrik yang mengalir maka arus nominal pada beban memilki nilai berupa resistor murni.



Gambar 2. 3 Gelombang Beban Resistif

b) Beban Induktif

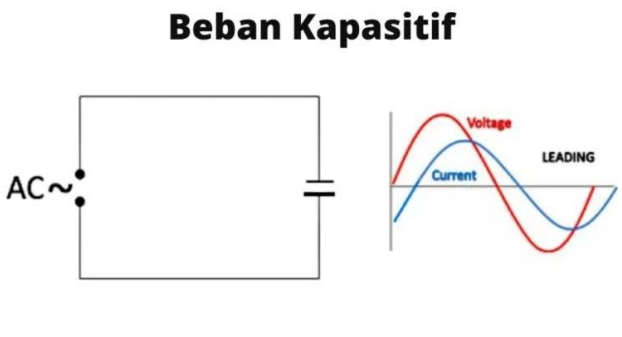
Beban Induktif bersifat induktif memilki sifat yang sama dengan induktor. Arus Listrik yang mengalir melalui beban tersebut akan disimpan dalam bentuk medan magnet sehingga listrik yang mengalir akan terinduksi dan diubah menjadi medan magnet yang tersimpan.



Gambar 2.3. Gelombang arus beban induktif

c) Beban Kapasitif

Beban Kapasitif merupakan kebalikan dari beban induktif. Jika beban Induktif menghalangi terjadinya perubahan nilai arus listrik, maka beban kapasitif bersifat mengahalangi perubahan tegangan listrik. Sifat ini menunjukan bahwa kapasitor bersifat seakan-akan menyimpan tegang listrik sesaat.



Gambar 2.3. Gelombang Beban Kapasitif

(Nanang et al.,2020)

2.4 Daya Listrik

Daya listrik adalah tingkat konsumsi energi dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik. Daya listrik menyatakan banyaknya energi listrik yang terpakai setiap detiknya. Satuan daya listrik adalah Watt. Di mana 1 Watt = 1 Joule/detik.

$$P=E/t \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan :

P = Daya Listrik

E = Energi dengan satuan joule

t = waktu dengan satuan detik

2.4.1 Daya nyata atau daya aktif (Watt)

Daya nyata merupakan daya Sebenarnya yang dibutuhkan beban dan biasanya daya aktif nilainya lebih rendah dibandingkan dengan daya semu. Daya Aktif dihasilkan dari hasil perkalian Daya Semu dengan Faktor Daya (Cosphi). Daya aktif akan mengalami penurunan nilai yang diakibatkan adanya beban-beban listrik yang menghasilkan daya reaktif.

$$\mathbf{P}=\boldsymbol{V\ x\ I\ x}\cos\boldsymbol{ø} \quad \text{.....(2)}$$

Keterangan :

P = Daya Aktif

V = Tegangan

I = Arus Listrik

Cos ø = Faktor Daya

2.4.2 Daya Semu (VA)

Daya Semu merupakan daya yang dihasilkan dari perhitungan-perhitungan listrik sebelum dibebani dengan beban beban listrik. Satuan daya nyata adalah VA (Volt.ampere). beban yang bersifat daya semu adalah beban yang bersifat resistansi (R). Peralatan listrik atau beban pada rangkaian listrik yang bersifat resistansi tidak dapat dihemat karena tegangan dan arus listrik memiliki nilai factor daya adalah 1.

S = V x I …….....(3)

Keterangan :

S = Daya semu

V = Tegangan

I = Arus

2.4.3 Daya reaktif (VAR)

Daya Reaktif merupakan daya yang mengakibatkan terjadinya kerugian kerugian daya, sehingga daya dapat mengakibatkan terjadinya penurunan nilai factor daya (Cosphi). Satuan daya reaktif adalah VAR (Volt. Amper Reaktif). Untuk menghemat daya reaktif dapat dilakukan dengan memasang kapasitor pada rangkaian yang memiliki beban bersifat induktif.

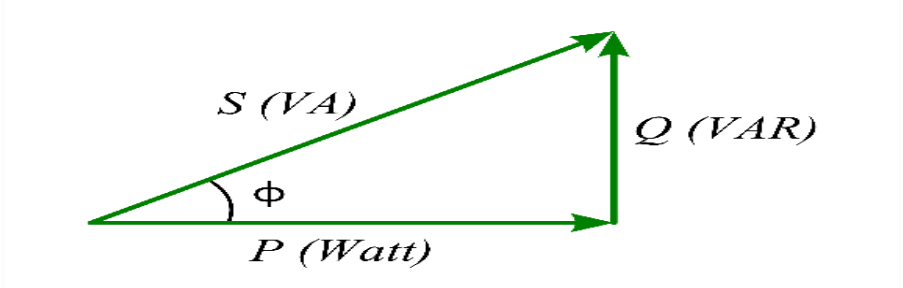
$Q = \sqrt{S2 - P2}$…….....…(4)

P = Daya Aktif

Keterangan :

Q = Daya reaktif

S =



Daya semu

Gambar 2. 4 Segitiga Daya (Nanang et al., 2020)

2.5 Tegangan Jatuh (Drop Voltage)

Tegangan Jatuh atau drop voltage adalah besar penurunan atau kehilangan nilai tegangan listrik pada suatu penghantar dari nilai tegangan normalnya, atau bisa juga disebut bahwa tegangan jatuh adalah selisih antara besar tegangan pangkal (Sumber) dengan besar tegangan ujung (beban) dari suatu instalasi listrik. Besarnya kerugian tegangan atau tegangan jatuh (drop voltage) yang terjadi pada suatu jaringan listrik, dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

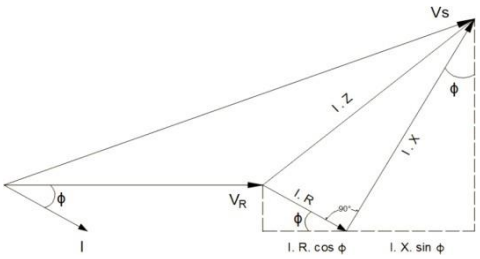
1.Panjang kabel Penghantar Semakin panjang kabel penghantar yang digunakan, maka semakin besar kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.

2. Besar arus Semakin besar arus listrik yang mengalir pada penghantar, maka semakin besar kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.

3. Tahanan jenis (Rho) Semakin besar tahanan jenis dari bahan penghantar yang digunakan, maka semakin besar kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi. Kombinasi antara resistansi dan reaktansi disebut dengan impedansi yang dinyatakan dalam satuan ohm.

4. Luas Penampang penghantar. Semakin besar ukuran luas penampang penghantar yang digunakan, maka semakin kecil kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.

Perhitungan jatuh tegangan pada jaring distribusi adalah selisih antara tegangan pangkal pengirim (sending end) dengan tegangan pada ujung penerima (receiving end). Jatuh tegangan terjadi karena ada pengaruh dari tahanan dan reaktansi saluran, perbedaan sudut fasa antara arus dan tegangan serta besar arus beban, jatuh tegangan pada saluran bolak–balik tergantung pada impedansi, beban, dan jarak.Suatu sistem arus bolak–bolak, besar jatuh tegangan dapat dihitung berdasarkan diagram fasor.



Gambar 2. 5 Diagram fasor tegangan dan arus jaringan distribusi

Dari diagram fasor pada Gambar 2.5, tegangan kirim adalah :

$$\bar{V_S} = V_S < \delta \quad \text{.....(5)}$$

Arus adalah :

$$\bar{I} = I \angle -\phi \quad \text{.....(6)}$$

Regulasi tegangan dapat didefinisikan sebagai :

$$VR\ pu = Vs - Vr\ Vr \quad \text{.....(7)}$$

Persentase regulasi tegangan dapat didefinisikan sebagai :

$$\%VR\ pu = Vs - Vr\ Vr\ x\ 100) \quad \text{.....(8)}$$

atau ,

$$\%VR\ pu = VRpu\ x\ 100 \quad \text{.....(9)}$$

Sedangkan jatuh tegangan per-unit didefinisikan sebagai :

$$VD\ pu = Vs - Vr\ VB \quad \text{.....(10)}$$

Sehingga persentase jatuh tegangan :

$$\%VD = Vs - Vr\ VB\ x\ 100 \quad \text{.....(11)}$$

atau, $\%VD = VDpu\ x\ 100$ .....(12)

Di mana V_B adalah tegangan dasar yang bebas dipilih apakah tegangan dasar sekunder, atau menggunakan tegangan dasar primer dengan memperhitungkan rasio transformator yang digunakan. (Suprianto, 2018).

2.6 Rugi Daya

Pada proses penyaluran energi listrik melalui jaringan distribusi ke beban akan mengalami rugi daya dalam saluran yang dapat mengurangi daya listrik. Rugi daya pada jaringan distribusi tenaga listrik disebabkan oleh arus yang mengalir melalui konduktor atau penghantar. Rugi daya adalah hilangnya daya

listrik akibat tahanan atau resistansi pada penghantar atau konduktor. Rugi daya juga dapat diartikan sebagai selisih antara daya yang dikirim dengan daya yang diterima oleh beban (konsumen). (Arismunandar, 1993)

Besarnya rugi daya aktif dapat dirumuskan dengan persamaan :

Untuk Satu Phasa $\Delta P = 2 \times I2 \times R \times L$.....(13)

Untuk Tiga Phasa $\Delta P = 3 \times I2 \times R \times L$.....(14)

Dimana :

ΔP : Rugi Daya Aktif (Watt)

I : Arus Saluran (Ampere)

R : Hambatan / Tahanan Saluran (Ohm/Km)

L : Panjang Saluran / Penghantar (Km)

Besarnya rugi daya reaktif dapat dirumuskan dengan persamaan :

Untuk Satu Phasa $\Delta Q = 2 \times I2 \times X \times L$.....(15)

Untuk Tiga Phasa $\Delta Q = 3 \times I2 \times X \times L$.....(16)

Dimana :

ΔQ : Rugi Daya Reaktif (Watt)

I : Arus Saluran (Ampere)

X : Reaktansi Saluran (Ohm/Km)

L : Panjang Saluran / Penghantar (Km)

Untuk mengetahui besarnya nilai rugi daya dapat juga menggunakan persamaan :

SL = Ss – Sr / PL = Ps – Pr / QL = Qs – Qr.....(17)

Dimana :

SL : Rugi / Hilang Daya (KVA)

Ss : Daya yang dikirimkan (KVA)

Sr : Daya yang diterima (KVA).

Daya yang dikirimkan (Ss) dan Daya yang diterima (Sr) dapat dirumuskan dengan persamaan :

$Ss = \sqrt{3} \times Vs \times I$.....(18)

$Sr = \sqrt{3} \times Vr \times I$.....(19)

Dimana :

Ss : Daya yang dikirimkan (KVA)

Sr :Daya yang diterima (KVA)

Vs : Tegangan di ujung kirim (Volt)

Vr) : Tegangan di ujung terima (Volt)

I : Arus (Ampere)

Untuk mengetahui besarnya nilai tegangan di ujung kirim (Vs) dan tegangan di ujung terima (Vr) dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$Vs = Vr + Ir.Z = Vr + (\sqrt{3}.(I.\ R.\ L.\ \cos\varphi + I.\ X.\ L.\ \sin\varphi) \quad \text{.....(20)}$$

$$Vr = Vs - Ir.Z = Vs - (\sqrt{3}.(I.\ R.\ L.\ \cos\varphi + I.\ X.\ L.\ \sin\varphi) \quad \text{.....(21)}$$

Dimana :

Vs : Tegangan di ujung kirim (Volt)

Vr : Tegangan di ujung terima (Volt)

Z : Impedansi saluran, Z = R + j X (Ohm)

I : Arus Saluran (Ampere)

R : Hambatan / Tahanan Saluran (Ohm/Km)

L : Panjang Saluran / Penghantar (Km)

X : Reaktansi Saluran (Ohm/Km)

2.7 Faktor Daya

Faktor daya merupakan beda sudut fasa antara tegangan dan arus, faktor daya disimbolkan dengan $Cos\ \varphi$ dengan rentang antara 0 sampai 1, semakin mendekati angka 1 berarti faktor daya pada sistem semakin baik, dan juga sebaliknya. Berdasarkan sifat beban, faktor daya dibagi menjadi dua yaitu faktor daya leading dan faktor daya lagging.

Untuk mendapatkan nilai faktor daya dapat menggunakan perbandingan antara daya aktif dengan daya semu seperti pada persamaan berikut:

$$\cos\varphi = \frac{\mathrm{P(watt)}}{\mathrm{S(VA)}} \quad \text{.....(22)}$$

Maka sudut φ adalah:

$$\varphi = \text{arc cos}\left(\frac{\mathrm{P(watt)}}{\mathrm{S(VA)}}\right) \quad \text{.....(23)}$$

Dimana :

Cos φ = Faktor daya

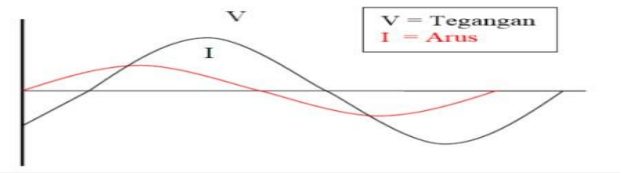
P = Daya aktif (watt)

S = Data semu (V A)

φ = Sudut antara daya semu dengan daya

2.7.1 Faktor Daya Leading

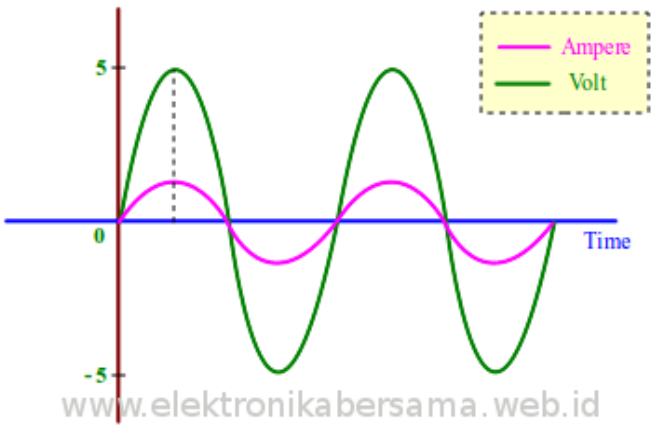
Faktor daya *leading* disebabkan oleh sifat beban non-linear yang cenderung kapasitif, pada kondisi ini gelombang sinus arus mendahului gelombang sinus tegangan oleh karena nya kondisi ini disebut faktor daya *leading*, berikut gambar 2 gelombang sinus arus dan tegangan dari faktor daya *leading*



Gambar 2.7 1 Gelombang Sinus Pada Faktor Daya Leading

2.7.2 Faktor Daya Lagging

Faktor daya *lagging* disebabkan oleh sifat beban non-linear yang cenderung induktif, pada kondisi ini gelombang sinus arus tertinggal oleh gelombang sinus tegangan, oleh karena nya kondisi ini disebut faktor daya *lagging*, berikut gambar gelombang sinus arus dan tegangan dari faktor daya *lagging*.



Gambar 2.7 2 Gelombang Sinus Pada Faktor Daya Lagging

(Basuki et al., 2022)

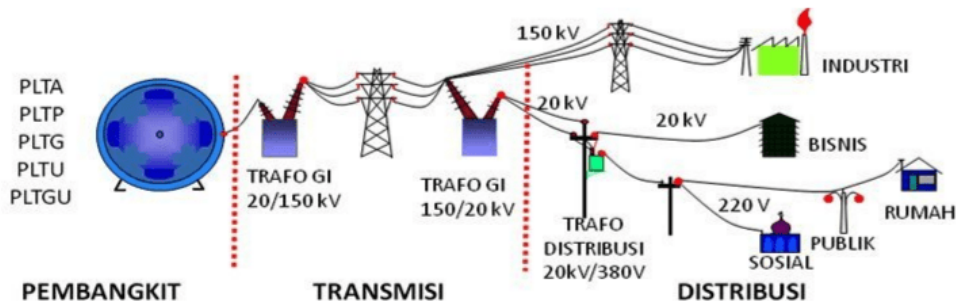
2.8 Jaringan Distribusi Listrik

Jaringan distribusi Listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik

yang berfungsi menyalurkan energi Listrik dari gardu induk atau sumber tenaga listrik menuju konsumen akhir.Sistem distribusi adalah subsistem yang paling dekat dengan pengguna energi listrik dan memiliki kompleksitas tinggi karna melayani beban yang beragam serta tersebar. Kinerja jaringan distribusi sangat dipengaruhi oleh pertumbuhan beban, Panjang saluran, konfigurasi jaringan, serta kualitas peralatan yang digunakan.

Menurut (Suganda, 2022), jaringan distribusi tenaga Listrik adalah sistem yang melukan pengiriman dan pembagian energi Listrik melalui jaringan dan perlengkapannya kepada pelanggan , dengan tuntutan keandalan dan kualitas pelayanan yang tinggi.

Pada sektor industri, jaringan distribusi memiliki peranan vital karena secara langsung memepengaruhi kontinuitas proses produksi. Ketidakmampuan jaringan distribusi dalam melayani pertumbuhan beban dapat menyebabkan overload, jatuh tegangan berlebih, meningkatnya rugi rugi daya, serta sering terjadinya gangguan sistem.



2.8 1 jaringan distribusi Listrik

2.9 Fungsi Jaringan Distribusi Listrik

Fungsi utama jaringan distribusi yaitu menyalurkan energi Listrik dari sumber ke beban industri secara kontinu, menjaga kualitas tegangan dalam batas standar SPLN dan IEC, menyediakan kapasitas daya yang cukup untuk memenuhi kebutuhan beban, meminimalkan rugi-rugi daya dan susut jaringan ,menjamin keandalan sistem dan keselamatan peralatan.

Peningkatan kualitas jaringan distribusi menjadi kebutuhan utama seiring meningkatnya permintaan energi Listrik khususnya pada sektor industry dan komersial. (Berlianti et al., 2022).

2.9.1 Peranan Jaringan Distribusi Dalam Sistem Industri

Pada industry manufaktur jaringan distribusi tidak hanya berfungsi sebagai penyalur daya, tetapi juga sebagai penentu keandalan proses produksi mesin-mesin produksi, motor Listrik, pemanas dan peralatan control sanga sensitif terhadap fluktasi tegangan dan pemadam Listrik.

Peranan utama jaringan distribusi meliputi :

- Menjamin kontinuitas suplai Listrik untuk menghindari downtime produksi
- Menjaga keandalan sistem kelistrikan internal pabrik
- Menunjang pertumbuhan kapasitas produksi seiring bertambahnya mesin dan peralatan Listrik
- Meningkatkan efesiensi operasional dan keselamatan kerja

Jika jaringan distribusi tidak dirancang sesuai dengan pertumbuhan beban maka akan terjadi overload pada transformator,penghantar , dan peralatan produksi. (Nurdiana, 2017)

2.10 Klasifikasi Jaringan Distribusi Listrik

2.10.1 Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupaakan jaringan dengan Tingkat tegangan menengah, umumnya 20 kV di Indonesia. Jaringan ini menyalurkan energi Listrik dari gardu induk menuju gardu distribusi atau transformator distribusi.

(Afriza et al., 2023), menjelaskan bahwa jaringan distribusi primer 20 kV memiliki peranan besar dalam menentukan besarnya rugi-rugi daya dan keandalan sistem distribusi secara keseluruhan.

2.10.2 Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder beroperasi pada tegangan rendah 380/220 v dan menyalurkan energi Listrik dari transformator distribusi kebeban akhir. Jaringan ini melayani beban industri seperti motor Listrik, mesin produksi,

sistem penerangan dan peralatan control.

Penurunan kualiatas tegangan pada jaringan distribusi sekunder sering terjadi akibat Panjang salurang dan pertumbuhan beban tidak terkendali. (Lubis et al., 2024)

2.11 Konfigurasi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Konfigurasi jaringan distribusi tenaga Listrik adalah pola penyusunan dan hubungan antar elemen jaringan distribusi (sumber, penyulang gardu distribusi, dan beban) yang menentukan arah aliran daya, Tingkat keandalan, fleksibel operasi, serta kemapuan jaringan dalam melayani pertumbuhan beban.
Secara umum, konfigurasi jaringan distribusi dibagi menjadi tiga jenis utama yaitu:

1. Konffigurasi Radial
2. Konfigurasi ring (loop)
3. Konfigurasi mesh

2.11.1 Sistem Radial

Sistem radial merupakan konfigurasi jaringan diistribusi yang paling sederhana, Dimana energi Listrik mengalir dari satu sumber ke beban melalui satu jalur. Sistem ini banyak digunakan pada industry karena mudah dalam pengoprasian dan pemeliharaan,

Namun sistem radial memiliki kelemahan berupa rendahnya keandalan karena gangguan pada satu titik dapat memadamkan seluruh beban di bawahnya. (Lubis et al., 2024)

2.11.2 Sistem Loop dan Ring

Sistem loop dan ring memberikan alternatif suplai dari dua arah, sehingga meningkatkan keandalan sistem. Sistem ini banyak diterapkan pada jaringan distribusi yang melayani beban besar dan terus berkembang.

2.11.3 Sistem Network

Sistem network merupakan konfigurasi paling kompleks dengan Tingkat keandalan tertinggi, namun membutuhkan biaya investasi dan pengoprasian yang besar.

2.12 Kondisi Eksisting Jaringan Distribusi Industri

Kondisi eksisting jaringan distribusi industri menggambarkan keadaan

nyata kelistrikan yang sedang beroperasi sebelum dilakukan peningkatan kapasitas pada Perusahaan manufaktur. Kondisi eksisting sangat dipengaruhi oleh jenis industri, karakteristik beban, usia peralatan, serta pola operasi produksi.

Menurut (Gonen, 2015) jaringan distribusi pada umunya dirancang berdasarkan estimasi beban awal pabrik. Seiring berjalannya waktu, terjadi penambahan mesin produksi, peningkatan jam operasi, dan perubahan teknologi, sehingga sistem distribusi sering kali beroperasi di luar perencanaan awal.

a. Struktur Jaringan Distribusi Industri

   Struktur jaringan distribusi industri biasanya terdiri dari gardu distribusi internal yang menerima suplai dari jaringan tegangan menengah (20 kV), kemudian diturunkan ke tegangan rendah (400/230 V) untuk melayani mesin produksi. Short (2014) menyatakan bahwa Sebagian besar industri menggunakan konfigurasi radial karena sederhana dan ekonomis, namun memiliki keterbatasan dalam keandalan.

b. Kondisi Pembebanan Transformator Distribusi

   Tranformator distribusi pada sistem industri sering mengalami pembebanan tinggi akibat pertumbuhan beban. Menurut SPLN 50:1997, pembebanan trafo yang melebihi 80% secara kontinu dapat menyebabkan peningkatan suhu minyak dan isolasi, yang berujung pada penurunan umur tranformator.

   Penelitian oleh (Suwarno & Pasaribu, 2016)menunjukkan bahwa trafo industri dengan Tingkat pembebanan di atas 90% memiliki resiko kegagalan 1,5 kali lebih tinggi dibandingkan trafo denganpembebanan normal.

c. Kondisi Saluran Distribusi Internal

   Saluran distribusi internal industri terdiri dari kabel tegangan menengah dan rendah dengan Panjang relatif pendek namun arus besar. (Pabla, 2017) menyatakan bahwa kabel yang beroperasi mendekati kapasitas hantar arus (KHA) akan mengalami kenaikan resistansi akibat temperatur tinggi, sehingga meningkatkan rugi daya.

d. Karakteristik Beban Industri

Beban Listrik pada industri manufaktur didominasi oleh motor induksi, mesin ekstrusi, mesin cetak, dan peralatan berbasis elektronika daya, menurut (Arrillaga et al., 2003), beban non linier menghasilkan harmonisa arus yang berdampak pada distorsi tegangan dan peningkatan losses.

e. Faktor Usia dan Kondisi Peralatan

   Usia peralatan jaringan distribusi sangat mempengaruhi keandalan sistem. Bilinton & Allan (2013) menyatakan bahwa peralatan dengan usia di atas 20 tahun memiliki probabilitas gangguan yang lebih tinggi akibat degradasi isolasi dan komponen mekanis.

f. Dampak Kondisi Eksisting Terhadap Operasi Produksi

   Kondisi eksisting jaringan distribusi yang tidak lagi sesuai kapasitas dapat menyebabkan gangguan operasional seperti trip mesin, penurunan kualitas produk dan downtime produksi. Dugan et al (2012) menyatakan bahwa gangguan kualitas daya pada industri dapat meningkatkan biaya operasional hingga 5-10%.

g. Implikasi Kondisi Eksisting Terhadap Perencanaan Peningkatan Kapasitas

   Berdasarkan kondisi eksisting jaringan distribusi industri, diperlukan evaluasi menyeluruh sebagai dasar perencanaan peningkatan kapasitas. Elgerd (2012) menegaskan bahwa perencanaan peningkatan kapasitas harus mempertimbangkan kondisi actual sistem agar investasi yang dilakukan tepat sasaran.

2.13 Pengaruh Konfigurasi Jaringan Terhadap Pertumbuhan Beban

Konfigurasi jaringan distribusi sangat menentukan kemampuan sistem dalam menghadapi pertumbuhan beban, khususnya dalam:

- Kemampuan menyalurkan daya tambahan
- Fleksibilitas pengalihan beban
- Peningkatan keandalan sistem
- Pengurangan luas dan durasi pemadaman

Kofigurasi radial memerlukan peningkatan kapasitas fisik jaringan, sedangkan konfigurasi pertumbuhan beban tanpa pemadaman luas. (IEE 2018)

2.14 Gardu Distribusi

Gardu distribusi merupakan bagian dari sistem distribusi tenaga Listrik yang berfungsiuntuk menurunkan tegangan menengah (20 kV) menjadi tegangan rendah (400/230 V) sebelum disalurkan kepada konsumen. Gardu distribusi menjadi penghubung langsung antara jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder, sehingga memiliki peran penting dalam menjaga kualitas, dan kendalan suplai Listrik.

Dalam sistem kelistrikan industri gardu distribusi memiliki peranan strategis karena harus mampu melayanibeban besar, kontinu, dan cenderung meningkat seiring bertambahnya kapasitas produksi. (Universitas Negri Padang 2018)



Gambar 2..14 1 Gardu Distribusi

2.15 Pengaruh Pertumbuhan Beban Terhadap Gardu Distribusi

2.15.1 Konsep Pertumbuhan Beban dan Kaitannya dengan Gardu Distribusi

Pertumbuhan beban Listrik merupakan peningkatan kebutuhan daya Listrik secara bertahap akibat bertambahnya aktivitas industri, penggunaan peralatan Listrik berdaya besar, serta peningkatan jam operasi. Pada sistem distribusi tenaga Listrik, gardu distribusi menjadi titik kritis pertama yang menerima dampak pertumbuhan beban karena berfungsi menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah dan menyalurkannya langsung ke konsumen.

Jika pertumbuhan beban tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas gardu, maka gardu distribusi akan mengalami pembebabanan berlebih (overload), penurunan kualitas tegangan, serta peningkatan rugi-rugi daya. (Muhammad,

2023)

2.15.2 Pengaruh Pertumbuhan Beban Terhadap Pembebanan Transformator Gardu Distribusi

Pertumbuhan beban menyebabkan peningkatan arus beban pada transformator distribusi. Menurut standar SPLN, transformator distribusi sebaiknya dioperasikan maksimal 80% dari kapasitas nominalnya. Jika pertumbuhan beban menyebabkan pembebanan berlebih batas tersebut, maka transformator akan mengalami kondisi overload yang dapat mempercepat degradasi isolasi dan menurunkan umur pakai transfomator. (R.X. king sitorus 2023)

2.15.3 Pengaruh Pertumbuhan Beban Terhadap Jatuh Tegangan Pada Gardu Distribusi

Pertumbuhan beban menyebabkan arus yang mengalir pada sisi sekunder transformator meningkat. Hal ini berakibat pada terjadinya jatuh tegangan (voltage drop) pada jaringan distribusi, tegangan rendah yang bersumber dari gardu distribusi. Jatuh tegangan yang melebihi batas standar SPLN dapat mengganggu kinerja peralatn industry. (Della et al., 2022)

2.15.4 Pengaruh Pertumbuhan Beban Terhadap Rugi Daya Gardu Distribusi

Peningkatan beban menyebabkan peningkatan arus yang secara matematis meningkatkan rugi daya pada transformator dan jaringan distribusi. Rugi daya yang besar menyebabkan penurunan efisiensi gardu distribusi serta kerugian energi Listrik. (Ananda, 2022).

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Dan Waktu

3.1.1 Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di PT.GALATTA ABADI PLASTINDO Jl.Jamin Ginting,Km 20,4. Kec. Pancur Batu, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu

Penelitian ini dimulai dari 3 bulan setelah dilaksanakannya seminar proposal dalam jangka waktu itu sudah cukup untuk mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk menganalisa dan untuk mendapatkan hasil dari penulisan tugas akhir ini.

tabel 3. 1 waktu penelitian

No	Keterangan	Bulan Ke							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Kajian Literatur								
	Penyusunan Proposal								
	Penelitian								
2	Penulisan Bab 1								
3	Sampai Bab 3								
4	Analisa Data								
5	Seminar Proposal								
6	Seminar hasil								
7	Sidang Akhir								

3.2 Tahap Identifikasi

Tahap identifikasi merupakan tahap awal penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kondisi nyata sistem distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo

serta mengidentifikasi permasalahan yang terjadi akibat pertumbuhan beban listrik. Pada tahap ini dilakukan beberapa kegiatan sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi kondisi eksisting jaringan distribusi listrik yang meliputi kapasitas transformator, sistem distribusi internal, penghantar, serta karakteristik beban listrik perusahaan.
2. Mengidentifikasi pertumbuhan beban listrik berdasarkan data pemakaian energi listrik, daya aktif, daya semu, arus beban, faktor daya, dan data produksi perusahaan selama periode Januari sampai Desember.
3. Mengidentifikasi parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja sistem distribusi, yaitu pembebanan transformator, jatuh tegangan (*voltage drop*), rugi daya (*power losses*), faktor daya (*power factor*), dan efisiensi sistem distribusi.
4. Melakukan studi literatur dari buku, jurnal ilmiah, standar PUIL 2020, SPLN, dan IEC sebagai dasar teori dalam proses analisis.

3.3 Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi, dokumentasi, dan studi literatur.

Observasi dilakukan secara langsung terhadap sistem distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo untuk mengetahui kondisi eksisting jaringan distribusi sebelum dilakukan peningkatan kapasitas.

Metode dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan data operasional perusahaan selama periode Januari sampai Desember yang meliputi:

- Data pemakaian energi listrik (kWh)
- Data beban puncak (kW)
- Data arus maksimum (A)
- Data tegangan distribusi (V)
- Data faktor daya (Cos φ)
- Data pembebanan transformator

Sedangkan studi literatur dilakukan dengan mempelajari berbagai referensi berupa buku, jurnal ilmiah, standar nasional maupun internasional yang berkaitan dengan sistem distribusi tenaga listrik,

transformator distribusi, pertumbuhan beban, jatuh tegangan, rugi daya, dan faktor daya.

3.4 Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data operasional sistem distribusi listrik PT Galatta Abadi Plastindo serta perangkat lunak pengolah data.

Instrumen penelitian terdiri atas:

1. Data pemakaian energi listrik bulanan (kWh).
2. Data daya aktif, daya semu, dan daya reaktif.
3. Data arus beban maksimum.
4. Data tegangan pada sisi transformator dan panel distribusi.
5. Data faktor daya.
6. Data kapasitas transformator distribusi.
7. Data produksi perusahaan.
8. Microsoft Excel sebagai perangkat lunak pengolahan dan analisis data.

3.5 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data merupakan tahapan penting dalam penelitian ini karena bertujuan mengolah data hasil observasi dan dokumentasi menjadi informasi yang dapat digunakan untuk menjawab rumusan masalah penelitian. Analisis dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan data operasional sistem distribusi listrik PT Galatta Abadi Plastindo selama periode Januari sampai Desember. Data yang diperoleh kemudian dihitung menggunakan persamaan dasar sistem tenaga listrik serta dibandingkan dengan standar teknis yang berlaku seperti Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2020), Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN), dan referensi ilmiah yang relevan.

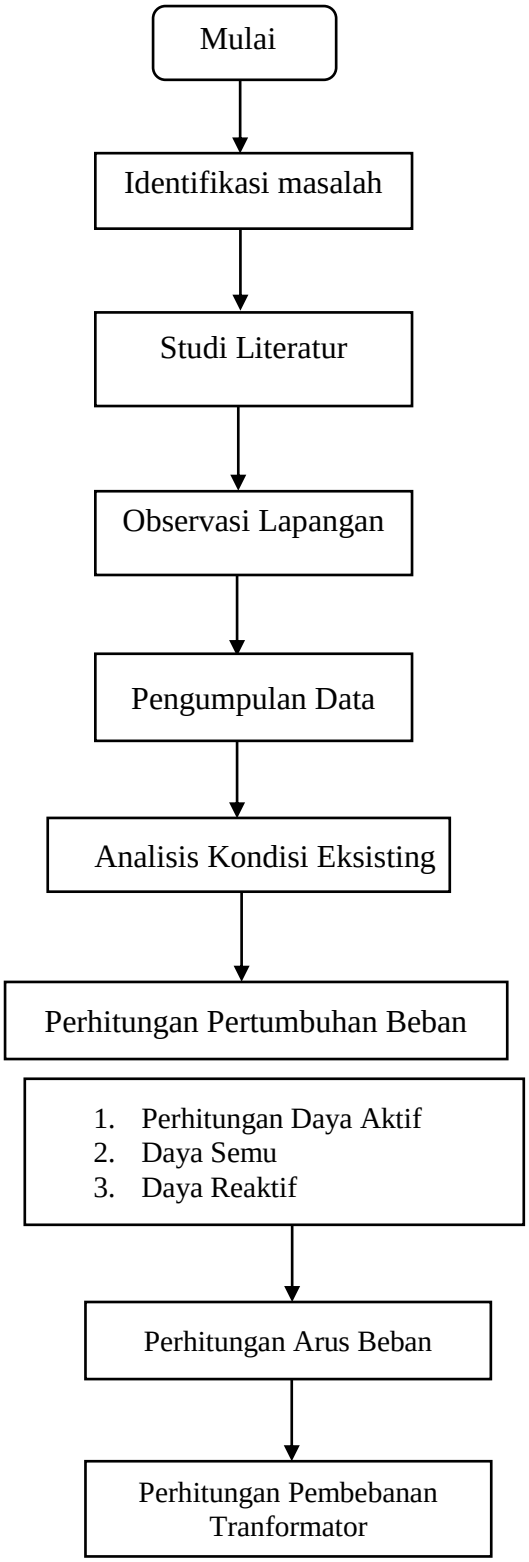
Tahapan analisis data pada penelitian ini meliputi beberapa langkah sebagai berikut.

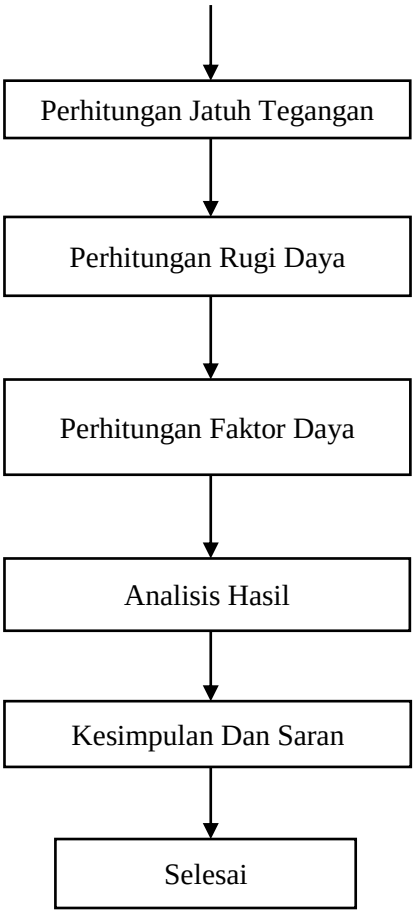
- Menghitung pertumbuhan beban.
- Menghitung daya semu.
- Menghitung arus.
- Menghitung pembebanan trafo.
- Menghitung jatuh tegangan.

- Menghitung rugi daya.
- Menghitung faktor daya. Menghitung efisiensi.

3.6 Flowchart

Adapun proses alur penelitian ini adalah sebagai berikut:





1. Mulai

   Tahap ini merupakan awal pelaksanaan penelitian. Pada tahap ini dilakukan penentuan topik penelitian, identifikasi objek penelitian, serta penyusunan rencana penelitian yang akan dilaksanakan di PT Galatta Abadi Plastindo.

2. Identifikasi Masalah

   Tahap identifikasi masalah dilakukan untuk mengetahui permasalahan yang terjadi pada sistem distribusi listrik perusahaan. Permasalahan yang menjadi fokus penelitian adalah meningkatnya kebutuhan energi listrik akibat pertumbuhan beban yang berpotensi menyebabkan meningkatnya pembebanan transformator, jatuh tegangan, rugi daya, serta penurunan faktor daya.

3. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan berbagai referensi yang berkaitan dengan sistem distribusi tenaga listrik, transformator distribusi, pertumbuhan beban, jatuh tegangan (*voltage drop*), rugi daya (*power losses*), faktor daya (*power factor*), serta peningkatan kapasitas jaringan distribusi. Referensi diperoleh dari buku, jurnal ilmiah nasional dan internasional, standar PUIL 2020, SPLN, serta standar IEC yang relevan.Studi literatur bertujuan untuk memperoleh dasar teori yang digunakan sebagai acuan dalam proses analisis dan pembahasan hasil penelitian.

4. Observasi Lapangan

   Observasi lapangan dilakukan secara langsung di PT Galatta Abadi Plastindo untuk memperoleh gambaran mengenai kondisi eksisting sistem distribusi listrik. Pada tahap ini dilakukan pengamatan terhadap konfigurasi jaringan distribusi, kapasitas transformator, sistem penyaluran tenaga listrik, serta kondisi operasional perusahaan.Hasil observasi digunakan sebagai dasar dalam memahami karakteristik sistem distribusi yang akan dianalisis.

5. Pengumpulan Data

   Tahap pengumpulan data dilakukan melalui metode dokumentasi dan observasi. Data yang dikumpulkan meliputi data pemakaian energi listrik (kWh), beban puncak (kW), arus maksimum (A), tegangan distribusi (V), faktor daya (Cos φ), pembebanan transformator, serta data produksi perusahaan selama periode Januari sampai Desember.Data tersebut merupakan data utama yang digunakan dalam proses analisis penelitian.

6. Analisis Kondisi Eksisting Sistem Distribusi

   Tahap ini bertujuan untuk mengetahui kondisi awal sistem distribusi listrik sebelum dilakukan peningkatan kapasitas. Analisis dilakukan terhadap kapasitas transformator, pembebanan transformator, daya aktif, daya semu, daya reaktif, arus beban, dan faktor daya sehingga diperoleh gambaran mengenai kemampuan sistem dalam melayani kebutuhan beban perusahaan.

7. Perhitungan Pertumbuhan Beban

   Pada tahap ini dilakukan perhitungan pertumbuhan konsumsi energi listrik, beban puncak, dan arus maksimum setiap bulan. Hasil perhitungan digunakan untuk mengetahui laju pertumbuhan kebutuhan energi listrik perusahaan selama periode penelitian.

8. Perhitungan Daya Aktif, Daya Semu, dan Daya Reaktif

   Tahap ini dilakukan untuk mengetahui perubahan karakteristik pembebanan sistem distribusi akibat pertumbuhan beban. Perhitungan meliputi daya aktif (kW), daya semu (kVA), dan daya reaktif (kVAr) sehingga dapat diketahui hubungan antara peningkatan beban dengan kemampuan transformator dalam melayani sistem.

9. Perhitungan Arus Beban

   Besarnya arus beban dihitung berdasarkan daya semu dan tegangan sistem distribusi tiga fasa. Hasil perhitungan digunakan untuk mengetahui peningkatan arus pada penghantar distribusi yang berpengaruh terhadap rugi daya dan pembebanan transformator.

10. Perhitungan Pembebanan Transformator

    Tahap ini bertujuan untuk mengetahui persentase pembebanan transformator terhadap kapasitas nominalnya. Hasil analisis menunjukkan apakah transformator masih memiliki kapasitas cadangan atau telah mendekati kondisi pembebanan maksimum.

11. Perhitungan Jatuh Tegangan (Voltage Drop)

    Perhitungan jatuh tegangan dilakukan untuk mengetahui besarnya penurunan tegangan yang terjadi pada jaringan distribusi akibat meningkatnya arus beban. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan batas yang diperbolehkan menurut PUIL 2020 sehingga dapat diketahui kualitas penyaluran energi listrik pada sistem distribusi.

12. Perhitungan Rugi Daya (Power Losses)

    Tahap ini dilakukan untuk mengetahui besarnya daya yang hilang selama proses penyaluran energi listrik melalui penghantar distribusi. Analisis rugi daya bertujuan mengevaluasi efisiensi sistem distribusi akibat pertumbuhan beban.

13. Perhitungan Faktor Daya (Power Factor)

    Perhitungan faktor daya dilakukan untuk mengetahui tingkat efisiensi penggunaan energi listrik pada sistem distribusi. Nilai faktor daya dianalisis untuk mengetahui besarnya daya reaktif yang masih terdapat pada sistem serta pengaruhnya terhadap pembebanan transformator.

14. Analisis Hasil

    Seluruh hasil perhitungan kemudian dianalisis secara menyeluruh dengan membandingkan perubahan setiap parameter selama periode penelitian. Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh pertumbuhan beban terhadap kondisi eksisting jaringan distribusi, jatuh tegangan, rugi daya, pembebanan transformator, faktor daya, dan efisiensi sistem distribusi.

15. Kesimpulan dan Saran

    Tahap terakhir merupakan penyusunan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan sehingga dapat menjawab seluruh rumusan masalah penelitian. Selain itu, diberikan saran sebagai rekomendasi bagi PT Galatta Abadi Plastindo dalam upaya meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik serta sebagai masukan bagi penelitian selanjutnya.

16. Selesai (Finish)

    Tahap ini merupakan akhir dari seluruh rangkaian penelitian setelah semua proses analisis, pembahasan, penyusunan kesimpulan, dan penyampaian saran telah selesai dilaksanakan.

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menyajikan hasil analisis terhadap kondisi eksisting jaringan distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo sebelum dilakukan peningkatan kapasitas serta menganalisis pengaruh pertumbuhan beban terhadap penurunan kinerja sistem distribusi. Analisis dilakukan berdasarkan data operasional perusahaan yang dipadukan dengan perhitungan teknik distribusi tenaga listrik. Parameter yang dianalisis meliputi daya aktif, daya semu, daya reaktif, arus beban, pembebanan transformator, jatuh tegangan, rugi-rugi daya, dan faktor daya. Hasil analisis tersebut digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem distribusi dalam melayani pertumbuhan beban yang terjadi selama periode penelitian.

4.1 Kondisi Eksisting Jaringan Distribusi Listrik PT Galatta Abadi Plastindo

Kondisi eksisting merupakan kondisi sistem distribusi listrik sebelum dilakukan peningkatan kapasitas jaringan. Analisis terhadap kondisi eksisting dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem distribusi dalam menyalurkan energi listrik kepada seluruh beban produksi. Evaluasi ini penting karena pertumbuhan beban yang terjadi secara terus-menerus dapat menyebabkan peningkatan pembebanan transformator, kenaikan arus penghantar, meningkatnya rugi-rugi daya, bertambahnya jatuh tegangan, serta penurunan faktor daya sistem.

Analisis kondisi eksisting pada penelitian ini dilakukan berdasarkan parameter utama sistem distribusi tenaga listrik yang meliputi daya aktif, daya semu, daya reaktif, arus beban, serta tingkat pembebanan transformator. Seluruh parameter dihitung menggunakan persamaan dasar sistem tenaga listrik sehingga hasil analisis dapat menggambarkan kondisi aktual kinerja sistem distribusi secara kuantitatif.

4.1.1 Konfigurasi Sistem Distribusi Listrik

Sistem distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo memperoleh suplai energi listrik dari jaringan distribusi tegangan menengah PT PLN (Persero) sebesar 20 kV. Energi listrik tersebut diturunkan menggunakan transformator distribusi menjadi tegangan rendah 400/230 Volt tiga fasa sebelum disalurkan menuju panel distribusi utama (*Low Voltage Main Distribution Panel/LVMDP*).

Dari panel utama, energi listrik didistribusikan ke beberapa panel cabang yang melayani

berbagai kelompok mesin produksi seperti mesin extruder, circular loom, printing, laminating, cutting, sewing, kompresor, sistem pencahayaan, dan beban utilitas lainnya.

Karakteristik beban listrik pada perusahaan didominasi oleh motor induksi tiga fasa sehingga bersifat induktif. Kondisi tersebut menyebabkan kebutuhan daya reaktif relatif besar dan mempengaruhi nilai faktor daya sistem. Seiring bertambahnya jumlah mesin produksi dan meningkatnya kapasitas produksi perusahaan, kebutuhan energi listrik mengalami peningkatan yang berdampak langsung terhadap pembebanan sistem distribusi.

4.1.2 Data Teknis Sistem Distribusi

Untuk memperoleh hasil analisis yang konsisten, digunakan parameter sistem distribusi sebagai dasar seluruh perhitungan teknik distribusi tenaga listrik. Parameter tersebut disajikan pada Tabel 4.1.

tabel 4. 1 Data Teknis Sistem Distribusi

No	Parameter	Nilai
1	Sistem Distribusi	Tiga Fasa
2	Tegangan Primer	20 kV
3	Tegangan Sekunder	400 Volt
4	Frekuensi	50 Hz
5	Kapasitas Transformator	630 kVA
6	Jenis Penghantar	Copper XLPE
7	Luas Penampang Penghantar	240 mm^2
8	Panjang Penghantar Utama	45 meter
9	Resistivitas Penghantar Tembaga	0,0175 $\Omega \cdot mm^2/m$

Parameter tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan pada seluruh analisis dalam penelitian, meliputi perhitungan resistansi penghantar, daya semu,

daya reaktif, arus beban, pembebanan transformator, jatuh tegangan, serta rugi-rugi daya.

4.1.3 Perhitungan Resistansi Penghantar

Sebelum melakukan analisis terhadap kondisi eksisting jaringan distribusi, terlebih dahulu dihitung nilai resistansi penghantar utama. Nilai resistansi penghantar diperlukan sebagai parameter dasar dalam menghitung rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada sistem distribusi.

Besarnya resistansi penghantar dihitung menggunakan Persamaan (4.1).

$$R=\rho \frac{L}{A}$$

Keterangan:

R = Resistansi penghantar (Ω)

ρ = Resistivitas penghantar (Ω·mm²/m)

L = Panjang penghantar (m)

A = Luas penampang penghantar (mm²)

Diketahui:

Resistivitas tembaga

$$\rho =0{,}0175\ \Omega mm^2/m$$

Panjang penghantar

$$L=45\ m$$

Luas penampang penghantar

$$A =240\ mm^2$$

Penyelesaian

$$R =\rho \frac{L}{A}$$

$$R =0{,}0175\ X\ \frac{45}{240}$$

$$R\ = 0{,}00328\ \Omega$$

Dengan demikian diperoleh nilai resistansi penghantar utama sebesar

R=0,00328 Ω

Nilai resistansi tersebut digunakan sebagai parameter tetap dalam seluruh perhitungan rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada penelitian ini sehingga seluruh hasil analisis berasal dari parameter sistem yang sama.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai resistansi penghantar utama sebesar 0,00328 Ω tergolong kecil sehingga penghantar masih mampu menyalurkan arus beban dengan baik. Namun demikian, karena rugi-rugi daya berbanding lurus dengan kuadrat arus (I^2), maka peningkatan arus akibat pertumbuhan beban akan tetap menyebabkan rugi-rugi daya meningkat meskipun nilai resistansi penghantar relatif rendah. Oleh karena itu, analisis terhadap arus beban dan pembebanan transformator menjadi tahap berikutnya untuk mengetahui kemampuan sistem distribusi dalam melayani pertumbuhan beban.

4.1.4 Analisis Daya Aktif, Daya Semu, dan Daya Reaktif

Daya listrik merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi eksisting sistem distribusi. Dalam sistem tenaga listrik tiga fasa terdapat tiga besaran daya yang saling berkaitan, yaitu daya aktif (P), daya semu (S), dan daya reaktif (Q). Daya aktif merupakan daya yang digunakan untuk melakukan kerja pada peralatan listrik, sedangkan daya reaktif diperlukan untuk membentuk medan magnet pada beban induktif seperti motor listrik dan transformator. Adapun daya semu merupakan total daya yang harus disuplai oleh transformator untuk memenuhi kebutuhan daya aktif dan daya reaktif.

Pada PT Galatta Abadi Plastindo, sebagian besar beban berupa motor induksi tiga fasa sehingga kebutuhan daya reaktif cukup besar. Oleh karena itu, analisis terhadap ketiga parameter daya tersebut perlu dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting sistem distribusi sebelum dilakukan peningkatan kapasitas.

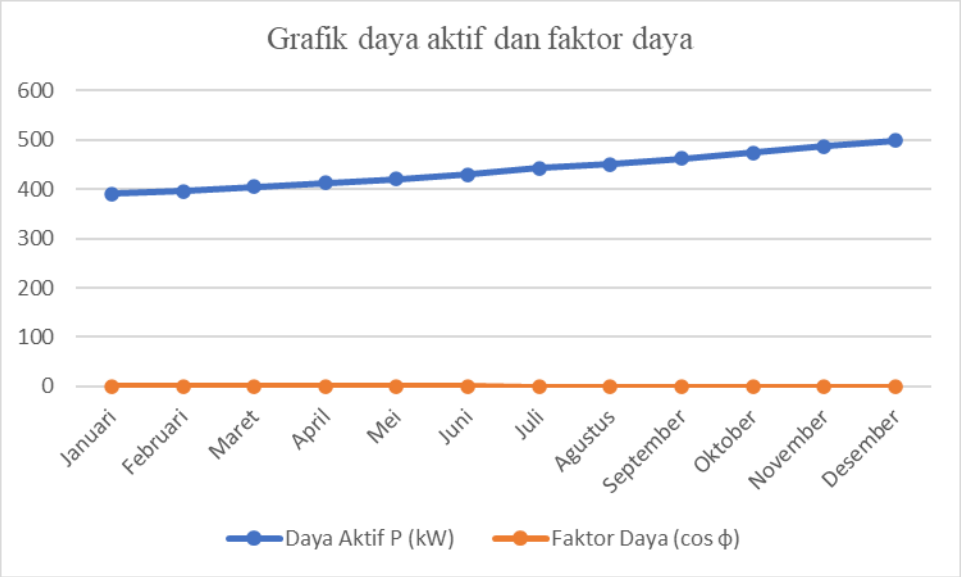
A. Data Daya Aktif

Data daya aktif diperoleh dari hasil pencatatan beban maksimum selama periode penelitian.

tabel 4. 2 Data Daya Aktif dan Faktot Daya

Bulan	Daya Aktif P (kW)	Faktor Daya (cos φ)
Januari	390	0,95
Februari	396	0,95

Maret	405	0,94
April	412	0,94
Mei	420	0,93
Juni	430	0,93
Juli	442	0,92
Agustus	450	0,92
September	462	0,92
Oktober	474	0,92
November	486	0,92
Desember	498	0,92



Berdasarkan Tabel 4.2 terlihat bahwa daya aktif mengalami peningkatan secara bertahap dari 390 kW pada bulan Januari menjadi 498 kW pada bulan Desember. Peningkatan tersebut menunjukkan adanya pertumbuhan beban akibat meningkatnya aktivitas produksi di perusahaan.

B. Perhitungan Daya Semu (S)

Besarnya daya semu dihitung menggunakan Persamaan (4.2).

$$S = \frac{P}{\cos \phi}$$

Keterangan:

S = Daya Semu (kVA)

P = Daya Aktif (kW)

$\cos\phi$ = Faktor Daya

Bulan Januari

Diketahui:

$$P = 390 \text{ Kw}$$

$$\cos\phi = 0{,}95$$

Maka:

$$S = \frac{390}{0{,}95}$$

$$S = 410{,}53 \text{ kVA}$$

Artinya, transformator harus menyediakan daya sebesar 410,53 kVA untuk melayani beban aktif sebesar 390 kW**.**

Bulan Februari :

$$S = \frac{396}{0{,}95}$$

$$S = 416{,}84 \text{ kVA}$$

Bulan Maret :

$$S = \frac{405}{0{,}94}$$

$$S = 430{,}85 \text{ kVA}$$

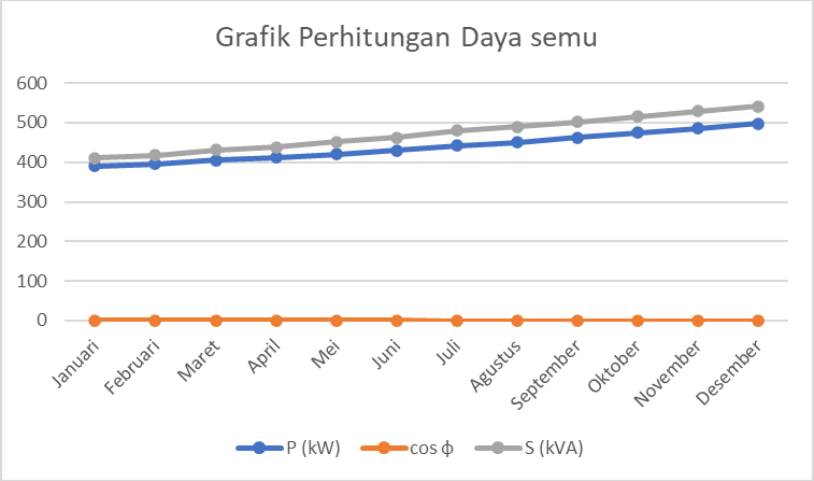
Perhitungan dilakukan dengan metode yang sama untuk seluruh bulan.

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Daya Semu

Bulan	**P (kW)**	**cos φ**	**S (kVA)**
Januari	390	0,95	410,53
Februari	396	0,95	416,84
Maret	405	0,94	430,85
April	412	0,94	438,3
Mei	420	0,93	451,61
Juni	430	0,93	462,37

Juli	442	0,92	480,43
Agustus	450	0,92	489,13
September	462	0,92	502,17
Oktober	474	0,92	515,22
November	486	0,92	528,26
Desember	498	0,92	541,3

Gambar Grafik 4.3 Perhitungan Daya Semu



Berdasarkan Tabel 4.3 diketahui bahwa daya semu mengalami peningkatan sebesar 130,77 kVA, yaitu dari 410,53 kVA pada bulan Januari menjadi 541,30 kVA pada bulan Desember. Kenaikan daya semu dipengaruhi oleh bertambahnya daya aktif serta menurunnya faktor daya. Kondisi ini menunjukkan bahwa transformator harus menyuplai kapasitas yang semakin besar untuk memenuhi kebutuhan sistem distribusi.

Semakin besar daya semu yang harus disuplai, maka semakin tinggi pula tingkat pembebanan transformator. Oleh karena itu, analisis daya semu menjadi dasar dalam mengevaluasi kemampuan transformator untuk melayani pertumbuhan beban.

B.Perhitungan Daya Reaktif (Q)

Besarnya daya reaktif dihitung menggunakan persamaan (4.3).

$$Q = P \tan \phi$$

Dengan

$$\phi = \cos^{-1} (\cos \phi)$$

Keterangan:

Q = Daya Reaktif (kVAr)

P = Daya Aktif (kW)

ϕ = Sudut Faktor Daya

Bulan Januari

Diketahui:

$$P = 390 \text{ kW}$$

$$\cos \phi = 0{,}95$$

Sudut faktor daya adalah:

$$\phi = \cos^{-1}(0{,}95) = 18{,}19^{o}$$

Sehingga:

$$Q = 390 \text{ X } \tan 18{,}19^{o}$$

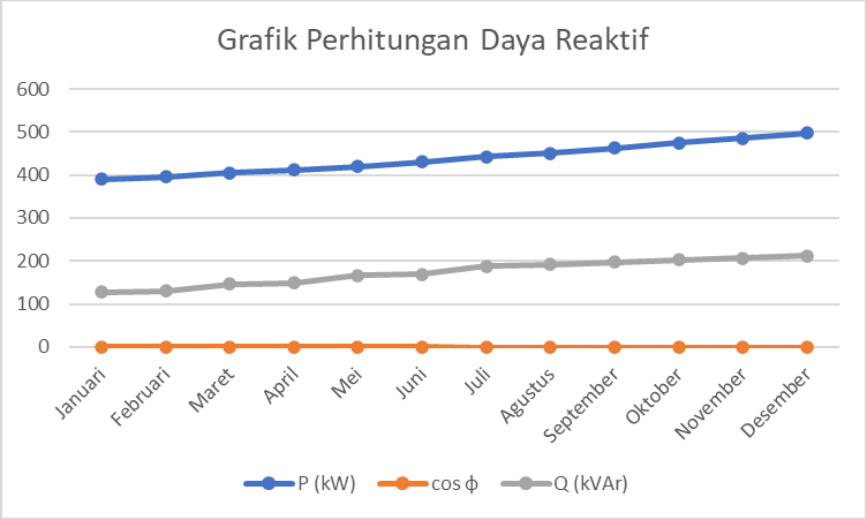
$$Q = 390 \text{ X } 0{,}3287$$

$$Q = 128{,}19 \text{ kVAr}$$

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Daya Reaktif

Bulan	**P (kW)**	**cos φ**	**Q (kVAr)**
Januari	390	0,95	128,19
Februari	396	0,95	130,16
Maret	405	0,94	146,63
April	412	0,94	149,16
Mei	420	0,93	165,92
Juni	430	0,93	169,87
Juli	442	0,92	188,49
Agustus	450	0,92	191,9
September	462	0,92	197,02
Oktober	474	0,92	202,13
November	486	0,92	207,25
Desember	498	0,92	212,36

Gambar Grafik 4.4 Perhitungan Daya Reaktif



Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya reaktif meningkat dari 128,19 kVAr menjadi 212,36 kVAr selama periode penelitian. Peningkatan daya reaktif menunjukkan bahwa kebutuhan beban induktif juga meningkat seiring bertambahnya jumlah dan durasi operasi mesin produksi. Akibatnya, transformator harus menyediakan daya semu yang lebih besar untuk memenuhi kebutuhan sistem. Kondisi ini juga berpotensi meningkatkan arus beban serta memperbesar rugi-rugi daya pada jaringan distribusi.

4.1.5 Perhitungan Arus Beban

Arus beban merupakan salah satu parameter utama dalam mengevaluasi kondisi eksisting sistem distribusi listrik. Besarnya arus yang mengalir pada penghantar dipengaruhi oleh daya aktif yang digunakan, tegangan sistem, serta faktor daya. Seiring meningkatnya kebutuhan daya listrik, arus beban yang mengalir pada jaringan distribusi juga akan meningkat. Peningkatan arus tersebut akan mempengaruhi pembebanan transformator, rugi-rugi daya, dan jatuh tegangan pada sistem distribusi.

Perhitungan arus beban dilakukan menggunakan Persamaan (4.4).

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

Keterangan:

- I = Arus beban (A)
- P = Daya aktif (W)

- V = Tegangan sistem (V)
- cos ϕ= Faktor daya

Pada penelitian ini digunakan sistem distribusi tiga fasa dengan tegangan kerja sebesar 400 Volt.

Bulan Januari

Diketahui:

Daya aktif

$$P = 390 \text{ kW} = 390.000 \text{ kW}$$

Tegangan

$$V = 400 \text{ Volt}$$

Faktor daya

$$\cos \phi = 0{,}95$$

Maka:

$$I = \frac{390.000}{1{,}732 \text{ X } 400 \text{ X } 0{,}95}$$

$$I = \frac{390.000}{658{,}16}$$

$$I = 592{,}55 \text{ A}$$

Jadi arus beban pada bulan Januari adalah 592,55 A.

Bulan Februari

$$I = \frac{396.000}{1{,}732 \text{ X } 400 \text{ X } 0{,}95}$$

$$I = \frac{396.000}{658{,}16}$$

$$I = 601{,}67 \text{ A}$$

Bulan Maret

$$I = \frac{405.000}{1{,}732 \text{ X } 400 \text{ X } 0{,}94}$$

$$I = \frac{405.000}{651{,}23}$$

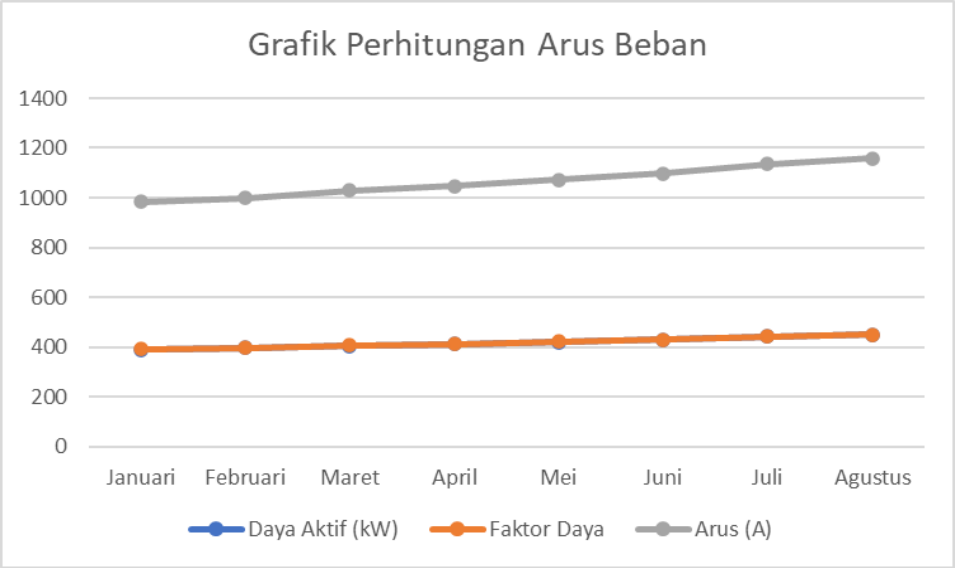
$$I = 622{,}60 \text{ A}$$

Perhitungan dilakukan dengan cara yang sama untuk seluruh bulan.

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Arus Beban

Bulan	Daya Aktif (kW)	Faktor Daya	Arus (A)
Januari	390	0,95	592,55
Februari	396	0,95	601,67
Maret	405	0,94	622,6
April	412	0,94	633,37
Mei	420	0,93	651,69
Juni	430	0,93	667,21
Juli	442	0,92	693,53
Agustus	450	0,92	706,09

Gambar Grafik 4.5 Perhitungan Arus Beban



Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.5, arus beban mengalami peningkatan dari 592,55 A pada bulan Januari menjadi 781,39 A pada bulan Desember. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan beban menyebabkan arus yang mengalir pada penghantar semakin besar. Selain dipengaruhi oleh kenaikan daya aktif, peningkatan arus juga dipengaruhi oleh penurunan faktor daya dari 0,95 menjadi 0,92.

Kenaikan arus beban perlu mendapat perhatian karena rugi-rugi daya pada penghantar berbanding lurus dengan kuadrat arus (I^2). Oleh sebab itu, peningkatan

arus akan menyebabkan rugi-rugi daya dan jatuh tegangan meningkat apabila kapasitas jaringan distribusi tidak dievaluasi.

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.5 diketahui bahwa arus beban mengalami peningkatan dari 592,55 A menjadi 781,39 A atau meningkat sebesar 31,87% selama periode penelitian.

Persentase peningkatan arus dihitung menggunakan Persamaan (4.6).

$$\% \Delta I = \frac{I_{akhir} - I_{awal}}{I_{awal}} \text{ x } 100\%$$

Substitusi nilai:

$$\frac{781,39 - 592,55}{592,55} \text{ x } 100\%$$

=31,87%

Peningkatan arus sebesar 31,87% menunjukkan bahwa pertumbuhan beban secara langsung meningkatkan arus yang mengalir pada penghantar distribusi. Kondisi tersebut menyebabkan rugi-rugi daya meningkat karena rugi-rugi penghantar berbanding lurus terhadap kuadrat arus.

4.1.6 Analisis Pembebanan Transformator

Setelah arus beban diketahui, tahap berikutnya adalah mengevaluasi tingkat pembebanan transformator. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui apakah transformator masih memiliki cadangan kapasitas yang memadai atau telah mendekati batas operasi yang direkomendasikan.

Persentase pembebanan transformator dihitung menggunakan Persamaan (4.5).

$$\%\text{Loading} = \frac{S}{S_{trafo}} \text{ x}100\%$$

Keterangan:

- %Loading = Persentase pembebanan transformator (%)
- S = Daya semu (kVA)
- S_{Trafo} = Kapasitas transformator (630 kVA)

Bulan Januari

Diketahui:

S = 410,53 kVA

S_{Trafo} = 630 kVA

Maka:

$$\text{Loading} = \frac{410{,}53}{630} \text{ x } 100\%$$

Loading = 65,16%

Bulan Februari

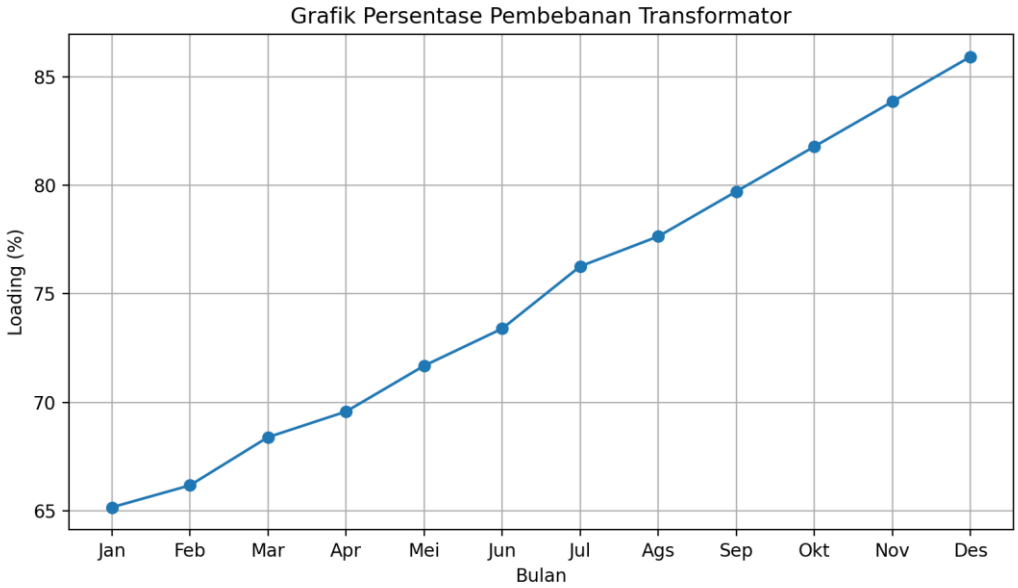
$$\text{Loading} = \frac{416{,}84}{630} \text{ x } 100\%$$

Loading = 66,17%

Tabel 4. 6 Persentase Pembebanan Transformator

Bulan	Daya Semu (kVA)	Loading (%)
Januari	410,53	65,16
Februari	416,84	66,17
Maret	430,85	68,39
April	438,3	69,57
Mei	451,61	71,68
Juni	462,37	73,39
Juli	480,43	76,26
Agustus	489,13	77,64
September	502,17	79,71
Oktober	515,22	81,78
November	528,26	83,85
Desember	541,3	85,92

Gambar Grafik 4.6 Persentase Pembebanan Transformator



Berdasarkan Tabel 4.6, tingkat pembebanan transformator mengalami peningkatan secara bertahap dari 65,16% pada bulan Januari menjadi 85,92% pada bulan Desember. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa transformator masih beroperasi di bawah kapasitas nominalnya, namun cadangan kapasitas semakin berkurang seiring bertambahnya beban.

Dalam praktik sistem distribusi, transformator yang beroperasi secara terus-menerus pada tingkat pembebanan yang tinggi akan mengalami kenaikan temperatur belitan dan penurunan umur isolasi. Oleh karena itu, meskipun pembebanan transformator pada akhir periode penelitian belum melebihi kapasitas nominal, tren peningkatan beban menunjukkan perlunya evaluasi kapasitas jaringan sebagai langkah antisipatif untuk menjaga keandalan sistem distribusi listrik.

Analisis Sisa Kapasitas Transformator

Selain mengetahui persentase pembebanan, perlu dihitung pula sisa kapasitas transformator (*reserve capacity*). Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas transformator yang masih tersedia dalam melayani penambahan beban.

Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Reserve} = S_{\text{Trafo}} - S$$

Perhitungan pada bulan Desember:

$$\text{Reserve} = 630 - 541{,}3$$

=88,77 kVA

Presentasenya:

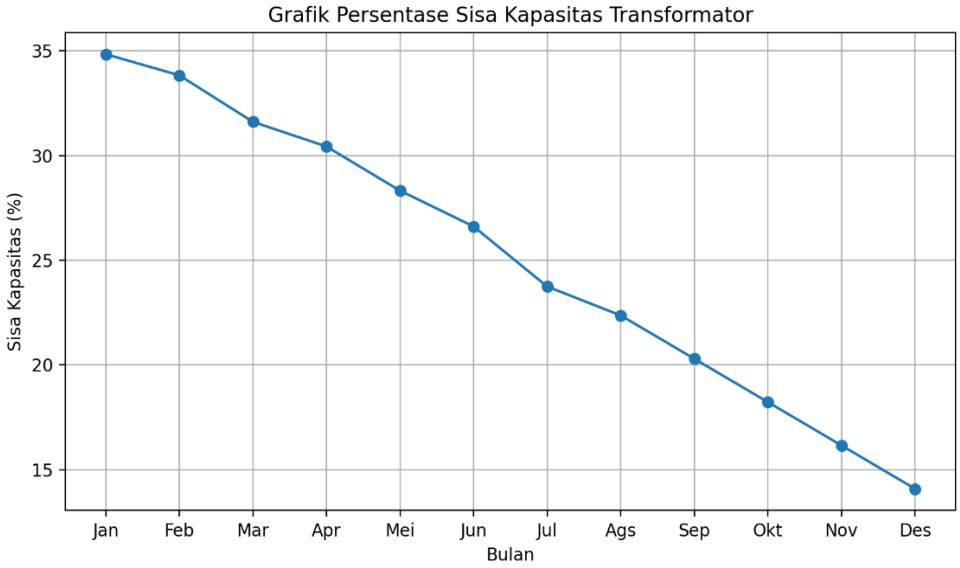
$$\text{Reserve} = \frac{88,7}{630} \text{ x } 100\%$$

=14,08%

Tabel 4. 7 Sisa Kapasitas Transformator

Bulan	Loading (%)	Sisa Kapasitas (%)
Januari	65,16	34,84
Februari	66,17	33,83
Maret	68,39	31,61
April	69,57	30,43
Mei	71,68	28,32
Juni	73,39	26,61
Juli	76,26	23,74
Agustus	77,64	22,36
September	79,71	20,29
Oktober	81,78	18,22
November	83,85	16,15
Desember	85,92	14,08

Gambar Grafik 4.7 Presentase Sisa Kapasitas Transformator



Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.6, persentase pembebanan transformator mengalami peningkatan secara bertahap dari 65,16% pada bulan Januari menjadi 85,92% pada bulan Desember. Peningkatan ini menunjukkan bahwa kebutuhan daya listrik perusahaan terus bertambah seiring dengan meningkatnya aktivitas produksi dan pertumbuhan beban selama periode penelitian.

Sementara itu, hasil perhitungan pada Tabel 4.7 menunjukkan bahwa sisa kapasitas transformator mengalami penurunan dari 219,47 kVA (34,84%) pada bulan Januari menjadi 88,70 kVA (14,08%) pada bulan Desember. Penurunan cadangan kapasitas tersebut mengindikasikan bahwa kemampuan transformator dalam mengakomodasi penambahan beban semakin terbatas.

Berdasarkan hasil analisis, transformator belum mengalami kondisi beban lebih (overload) karena daya semu maksimum yang disuplai masih berada di bawah kapasitas nominal transformator sebesar 630 kVA. Dengan pembebanan maksimum 85,92%, transformator masih memiliki cadangan kapasitas sebesar 14,08% atau 88,70 kVA.

Meskipun demikian, tren peningkatan pembebanan yang terjadi secara bertahap menunjukkan bahwa kapasitas transformator semakin banyak dimanfaatkan. Apabila pertumbuhan beban terus berlangsung pada periode berikutnya tanpa adanya peningkatan kapasitas sistem distribusi, maka cadangan kapasitas transformator akan semakin berkurang dan berpotensi meningkatkan

temperatur operasi, rugi-rugi daya, serta memengaruhi keandalan penyaluran energi listrik. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi kapasitas jaringan distribusi secara berkala sebagai langkah antisipatif dalam menjaga kontinuitas dan keandalan sistem distribusi listrik.

Keterkaitan dengan Rumusan Masalah Pertama

Hasil analisis pembebanan transformator menunjukkan bahwa kondisi eksisting jaringan distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo masih mampu melayani kebutuhan beban selama periode penelitian. Akan tetapi, peningkatan pembebanan transformator yang mencapai 85,92% menunjukkan adanya kecenderungan penurunan cadangan kapasitas. Dengan demikian, kondisi eksisting sistem distribusi dapat dikategorikan masih layak beroperasi, namun memerlukan evaluasi dan perencanaan peningkatan kapasitas apabila pertumbuhan beban terus meningkat pada masa mendatang.

4.1.7 Evaluasi Kondisi Eksisting Jaringan Distribusi

Evaluasi kondisi eksisting jaringan distribusi dilakukan berdasarkan hasil analisis terhadap daya aktif, daya semu, daya reaktif, arus beban, dan pembebanan transformator. Kelima parameter tersebut merupakan indikator utama yang digunakan untuk menilai kemampuan sistem distribusi dalam menyalurkan energi listrik secara andal kepada beban. Menurut Stevenson, kemampuan suatu sistem distribusi dapat dievaluasi melalui keseimbangan antara kapasitas peralatan dengan besarnya beban yang dilayani sehingga sistem tetap beroperasi secara aman dan efisien.

Berdasarkan hasil perhitungan, daya aktif meningkat dari 390 kW menjadi 498 kW atau sebesar 27,69%. Peningkatan daya aktif menunjukkan bertambahnya kebutuhan energi listrik akibat meningkatnya aktivitas produksi perusahaan. Secara teoritis, kenaikan daya aktif akan meningkatkan kebutuhan daya semu yang harus disuplai transformator, terutama apabila faktor daya tidak mengalami perbaikan (Stevenson, 1982).

Hasil analisis menunjukkan bahwa daya semu meningkat dari 410,53 kVA menjadi 541,30 kVA. Peningkatan tersebut dipengaruhi oleh kenaikan daya aktif serta penurunan faktor daya dari 0,95 menjadi 0,92. Menurut Wadhwa (2009),

semakin rendah nilai faktor daya maka semakin besar daya semu yang harus disediakan oleh transformator meskipun daya aktif yang digunakan relatif sama.

Selain itu, daya reaktif meningkat dari 128,19 kVAr menjadi 212,36 kVAr. Kondisi ini menunjukkan bahwa karakteristik beban pada PT Galatta Abadi Plastindo didominasi oleh beban induktif berupa motor-motor listrik. Glover dkk. (2017) menjelaskan bahwa peningkatan daya reaktif pada sistem distribusi akan meningkatkan arus jaringan dan memperbesar rugi-rugi daya apabila tidak dilakukan pengendalian faktor daya.

Peningkatan daya aktif dan daya reaktif menyebabkan arus beban meningkat dari 592,55 A menjadi 781,39 A atau sebesar 31,87%. Menurut Stevenson (1982), kenaikan arus merupakan salah satu penyebab utama meningkatnya rugi-rugi daya pada penghantar karena rugi-rugi daya sebanding dengan kuadrat arus (P_{Loss} - $3I^2R$). Oleh karena itu, pertumbuhan beban secara langsung memengaruhi efisiensi sistem distribusi.

Hasil analisis pembebanan transformator menunjukkan bahwa tingkat pembebanan meningkat dari 65,16% menjadi 85,92%, sedangkan cadangan kapasitas transformator menurun dari 34,84% menjadi 14,08%. Berdasarkan standar IEC 60076, transformator dirancang untuk beroperasi pada kapasitas nominalnya dengan memperhatikan batas kenaikan temperatur dan kondisi pendinginan. Oleh karena itu, meskipun transformator pada penelitian ini belum melampaui kapasitas nominal 630 kVA, peningkatan pembebanan menunjukkan bahwa pemanfaatan kapasitas transformator semakin tinggi sehingga perlu dilakukan evaluasi secara berkala.

Secara keseluruhan, kondisi eksisting jaringan distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo masih mampu melayani kebutuhan beban selama periode penelitian. Namun demikian, tren peningkatan daya, arus, dan pembebanan transformator menunjukkan bahwa sistem distribusi semakin mendekati batas pemanfaatan kapasitasnya sehingga perencanaan peningkatan kapasitas jaringan perlu dipertimbangkan apabila pertumbuhan beban terus berlanjut.

Tabel 4. 8 Rekapitulasi Kondisi Eksisting Jaringan Distribusi

Parameter	Hasil Analisis	Interpretasi
Daya Aktif	390–498 kW	Terjadi peningkatan kebutuhan daya
Daya Semu	410,53–541,30 kVA	Kapasitas yang disuplai transformator meningkat
Daya Reaktif	128,19–212,36 kVAr	Kebutuhan daya reaktif bertambah akibat dominasi beban induktif
Arus Beban	592,55–781,39 A	Arus penghantar meningkat mengikuti pertumbuhan beban
Loading Transformator	65,16–85,92 %	Pemanfaatan kapasitas transformator meningkat
Sisa Kapasitas	34,84–14,08 %	Cadangan kapasitas transformator semakin berkurang
Kondisi Sistem	Masih layak beroperasi	Perlu evaluasi kapasitas apabila beban terus meningkat

4.1.8 Pembahasan Hasil Penelitian terhadap Rumusan Masalah Pertama

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi eksisting jaringan distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo masih mampu memenuhi kebutuhan energi listrik selama periode penelitian. Hal tersebut dibuktikan dengan pembebanan transformator yang masih berada di bawah kapasitas nominalnya, meskipun telah mencapai 85,92% pada akhir periode penelitian. Dengan demikian, transformator masih memiliki cadangan kapasitas sebesar 14,08% atau 88,70 kVA.

Namun demikian, peningkatan daya aktif sebesar 27,69%, kenaikan arus beban sebesar 31,87%, serta peningkatan daya semu dan daya reaktif menunjukkan bahwa sistem distribusi mengalami peningkatan tingkat pemanfaatan. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa apabila pertumbuhan beban terus berlangsung tanpa adanya peningkatan kapasitas jaringan, maka sistem distribusi akan semakin mendekati batas kemampuan operasinya.

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan teori sistem distribusi tenaga listrik yang menyatakan bahwa pertumbuhan beban akan meningkatkan kebutuhan daya semu, memperbesar arus penghantar, dan meningkatkan tingkat pembebanan

transformator. Oleh karena itu, evaluasi terhadap kapasitas jaringan distribusi menjadi bagian penting dalam perencanaan sistem tenaga listrik untuk menjaga kontinuitas penyaluran energi serta keandalan operasi peralatan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan teori sistem distribusi tenaga listrik yang dikemukakan oleh Stevenson (1982) dan Wadhwa (2009), yang menyatakan bahwa pertumbuhan beban akan meningkatkan daya aktif, daya semu, dan arus beban sehingga pembebanan transformator menjadi semakin besar. Selain itu, peningkatan daya reaktif akibat dominasi beban induktif menyebabkan faktor daya menurun dan memperbesar kebutuhan daya semu transformator. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat teori bahwa pertumbuhan beban merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi kinerja sistem distribusi tenaga listrik.

4.1.9 Kesimpulan Rumusan Masalah Pertama

Berdasarkan hasil analisis terhadap parameter daya aktif, daya semu, daya reaktif, arus beban, dan pembebanan transformator, dapat disimpulkan bahwa kondisi eksisting jaringan distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo masih mampu melayani kebutuhan beban selama periode penelitian, sehingga sistem distribusi masih berada dalam kondisi operasi yang layak.

Meskipun demikian, seluruh parameter menunjukkan tren peningkatan pembebanan sistem. Daya aktif meningkat sebesar 27,69%, daya semu meningkat sebesar 31,85%, daya reaktif meningkat sebesar 65,66%, arus beban meningkat sebesar 31,87%, dan pembebanan transformator meningkat dari 65,16% menjadi 85,92%. Pada saat yang sama, sisa kapasitas transformator menurun dari 34,84% menjadi 14,08%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kapasitas sistem distribusi semakin banyak dimanfaatkan untuk melayani pertumbuhan beban.

Dengan demikian, jawaban terhadap rumusan masalah pertama adalah bahwa kondisi eksisting jaringan distribusi PT Galatta Abadi Plastindo masih memenuhi kebutuhan operasional perusahaan, tetapi menunjukkan kecenderungan penurunan cadangan kapasitas akibat pertumbuhan beban. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan evaluasi kapasitas jaringan secara berkala sebagai dasar dalam perencanaan peningkatan kapasitas pada masa mendatang.

4.2 Analisis Pengaruh Pertumbuhan Beban terhadap Penurunan Kinerja

Sistem Distribusi

Setelah kondisi eksisting jaringan distribusi dianalisis pada subbab sebelumnya, tahap selanjutnya adalah mengevaluasi pengaruh pertumbuhan beban terhadap kinerja sistem distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo. Pertumbuhan beban yang terjadi secara bertahap menyebabkan meningkatnya kebutuhan daya listrik, sehingga memengaruhi parameter-parameter operasi sistem distribusi seperti arus beban, jatuh tegangan, rugi-rugi daya, dan faktor daya.

Dalam sistem distribusi tenaga listrik, peningkatan beban akan menyebabkan kenaikan arus pada penghantar. Sesuai hukum Ohm dan teori sistem tenaga listrik, kenaikan arus akan memperbesar rugi-rugi daya penghantar serta meningkatkan jatuh tegangan. Selain itu, dominasi beban induktif akan meningkatkan kebutuhan daya reaktif sehingga faktor daya sistem cenderung menurun. Oleh karena itu, analisis pada subbab ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pertumbuhan beban memengaruhi penurunan kinerja sistem distribusi listrik selama periode penelitian.

4.2.1 Analisis Pertumbuhan Beban

Pertumbuhan beban dihitung berdasarkan perubahan daya aktif maksimum setiap bulan. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui laju peningkatan kebutuhan daya listrik selama periode penelitian.

Persentase pertumbuhan beban dihitung menggunakan Persamaan (4.8).

$$\text{Growth} = \frac{P_n - P_{n-1}}{P_{n-1}} \text{ x } 100\%$$

Keterangan:

- Growth = Pertumbuhan beban (%)
- P_n = Daya aktif bulan ke-nnn (kW)
- P_{n-1} = Daya aktif bulan sebelumnya (kW)

Perhitungan Bulan Februari

Diketahui:

$$P_{januari} = 390 \text{ kW}$$

$$P_{februari} = 396 \text{ kW}$$

Maka:

$$\text{Growth} = \frac{396 - 390}{390} \times 100\%$$

$$\text{Growth} = 1{,}54\%$$

Perhitungan Bulan Maret

$$\text{Growth} = \frac{405 - 396}{396} \times 100\%$$

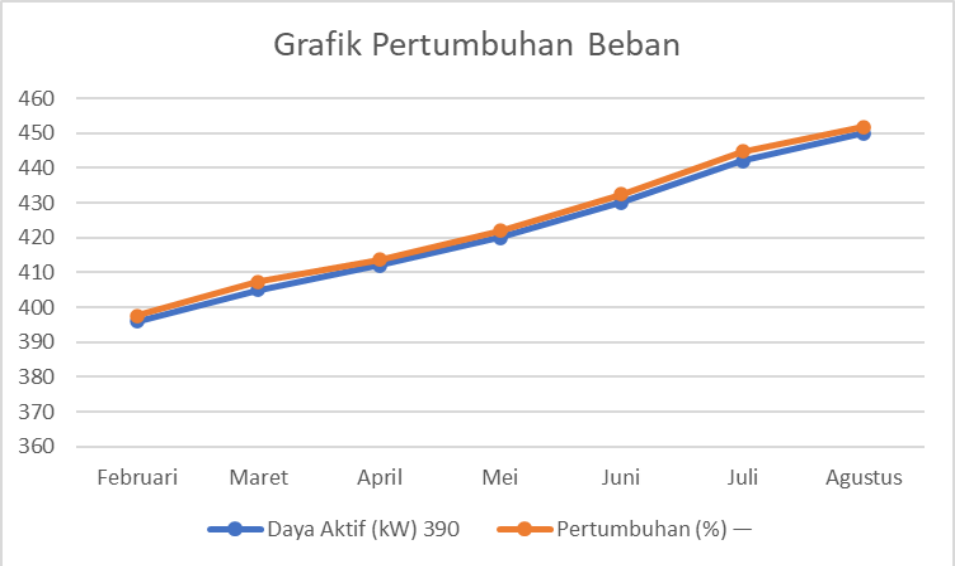
$$\text{Growth} = 2{,}27\%$$

Perhitungan dilakukan dengan cara yang sama untuk seluruh bulan.

Tabel 4. 9 Pertumbuhan Beban Bulanan

Bulan	Daya Aktif (kW)	Pertumbuhan (%)
Januari	390	—
Februari	396	1,54
Maret	405	2,27
April	412	1,73
Mei	420	1,94
Juni	430	2,38
Juli	442	2,79
Agustus	450	1,81
September	462	2,67
Oktober	474	2,6
November	486	2,53
Desember	498	2,47

Gambar Grafik 4.9 Pertumbuhan Beban



Berdasarkan Tabel 4.9, pertumbuhan beban listrik di PT Galatta Abadi Plastindo menunjukkan kecenderungan meningkat selama periode penelitian. Daya aktif meningkat dari 390 kW pada bulan Januari menjadi 498 kW pada bulan Desember. Persentase pertumbuhan beban bulanan berada pada kisaran 1,54% hingga 2,79%, dengan pertumbuhan tertinggi terjadi pada bulan Juli sebesar 2,79%. Secara keseluruhan, peningkatan daya aktif selama periode penelitian mencapai sekitar 27,69% dibandingkan kondisi awal.

Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan energi listrik perusahaan terus bertambah seiring meningkatnya aktivitas produksi dan penggunaan peralatan listrik. Bertambahnya daya aktif menyebabkan transformator harus menyalurkan daya yang lebih besar, sehingga arus pada penghantar distribusi juga meningkat. Hasil analisis pada Subbab 4.1 menunjukkan bahwa arus beban meningkat dari 592,55 A menjadi 781,30 A selama periode penelitian.

Menurut Stevenson (1982), peningkatan arus pada sistem distribusi akan menyebabkan jatuh tegangan dan rugi-rugi daya semakin besar karena kedua parameter tersebut berbanding lurus dengan besarnya arus yang mengalir pada penghantar. Oleh karena itu, pertumbuhan beban menjadi faktor utama yang memengaruhi penurunan kinerja sistem distribusi listrik. Hasil analisis

pertumbuhan beban ini selanjutnya menjadi dasar untuk mengevaluasi perubahan jatuh tegangan, rugi-rugi daya, dan faktor daya pada subbab berikutnya.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, pertumbuhan beban di PT Galatta Abadi Plastindo menunjukkan tren peningkatan yang relatif stabil sepanjang periode penelitian. Peningkatan daya aktif sebesar 27,69% mengakibatkan kenaikan arus beban pada sistem distribusi. Kondisi tersebut menjadi indikasi awal bahwa peningkatan beban berpotensi menyebabkan bertambahnya jatuh tegangan, rugi-rugi daya, dan penurunan kualitas kinerja sistem distribusi listrik.

4.2.2 Analisis Jatuh Tegangan (Voltage Drop)

Jatuh tegangan (*voltage drop*) merupakan penurunan nilai tegangan yang terjadi pada penghantar akibat adanya impedansi saluran ketika arus listrik mengalir menuju beban. Besarnya jatuh tegangan dipengaruhi oleh panjang penghantar, luas penampang penghantar, jenis penghantar, faktor daya, serta besarnya arus beban yang mengalir pada sistem distribusi.

Dalam penelitian ini, analisis jatuh tegangan dilakukan untuk mengetahui pengaruh pertumbuhan beban terhadap kualitas penyaluran energi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo. Semakin besar pertumbuhan beban, maka arus penghantar akan meningkat sehingga jatuh tegangan pada jaringan distribusi juga akan bertambah.

Menurut PUIL 2020, jatuh tegangan pada instalasi tegangan rendah sebaiknya tidak melebihi 5% dari tegangan nominal pada kondisi operasi normal agar kualitas penyaluran tenaga listrik tetap terjaga. Oleh karena itu, hasil perhitungan pada penelitian ini akan dibandingkan dengan batas tersebut sebagai dasar evaluasi kinerja sistem distribusi.

4.2.2.1 Data Teknis Saluran Distribusi

Parameter yang digunakan dalam analisis jatuh tegangan ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Data Teknis Saluran Distribusi

Parameter	Nilai
Tegangan Sistem	400 Volt
Sistem	3 Fasa
Kapasitas Transformator	630 kVA
Jenis Penghantar	NYY Cu
Luas Penampang	240 mm²
Panjang Jalur Efektif	180 m
Resistivitas Tembaga (ρ)	0,0175 Ω·mm²/m
Reaktansi Kabel	0,08 Ω/km

Perhitungan Resistansi

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Keterangan:

- R = Resistansi penghantar (Ω)
- ρ = Resistivitas penghantar (Ω·mm²/m)
- L = Panjang penghantar (m)
- A = Luas penampang penghantar (mm²)

Diketahui:

$$\rho = 0{,}0175$$

$$L = 180 \text{ m}$$

$$A = 240 \text{ mm}^2$$

Maka,

$$R = 0{,}0175 \text{ X } \frac{180}{240}$$

$$R = 0{,}01313\Omega$$

4.2.2.2 Perhitungan Reaktansi Penghantar

Reaktansi penghantar dihitung berdasarkan panjang saluran distribusi.

$$X = 0{,}08 \text{ X } 0{,}18$$

$$X = 0{,}0144\Omega$$

4.2.2.3 Perhitungan Impedansi Saluran

Impedansi saluran dihitung menggunakan Persamaan (4.10).

$$Z = \sqrt{R^{2+}}\, X^2$$

$$Z = \sqrt{0{,}01313^2 + 0{,}01440^2}$$

$$Z = 0{,}01949\Omega$$

Nilai impedansi ini digunakan sebagai parameter tetap pada seluruh perhitungan jatuh tegangan.

4.2.2.4 Perhitungan Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan sistem tiga fasa dihitung menggunakan Persamaan (4.11).

$$\Delta V = \sqrt{3\, I\, (R\ \cos\phi + X\ \sin\phi}$$

Keterangan:

- ΔV = Jatuh tegangan (Volt)
- I = Arus beban (Ampere)
- R = Resistansi penghantar (Ω)
- X = Reaktansi penghantar (Ω)
- cos φ = Faktor daya
- sin φ = Sudut faktor daya

Perhitungan Bulan Januari

Diketahui:

$$I = 592{,}55 \text{ A}$$

$$R = 0{,}01313\Omega$$

$$X = 0{,}01440\Omega$$

$$\cos\phi = 0{,}95$$

$$\sin\phi = \sqrt{1 - 0{,}95^2} = 0{,}312$$

Sehingga:

$$\Delta V = 1{,}732 \times 592{,}55[(0{,}01313)(0{,}95) + (0{,}01440)(0{,}312)]$$

$$= 17{,}39 \text{ Volt}$$

Persentase jatuh tegangan dihitung menggunakan Persamaan (4.12).

$$\%\Delta V = \frac{\Delta V}{V} \text{ X } 100\%$$

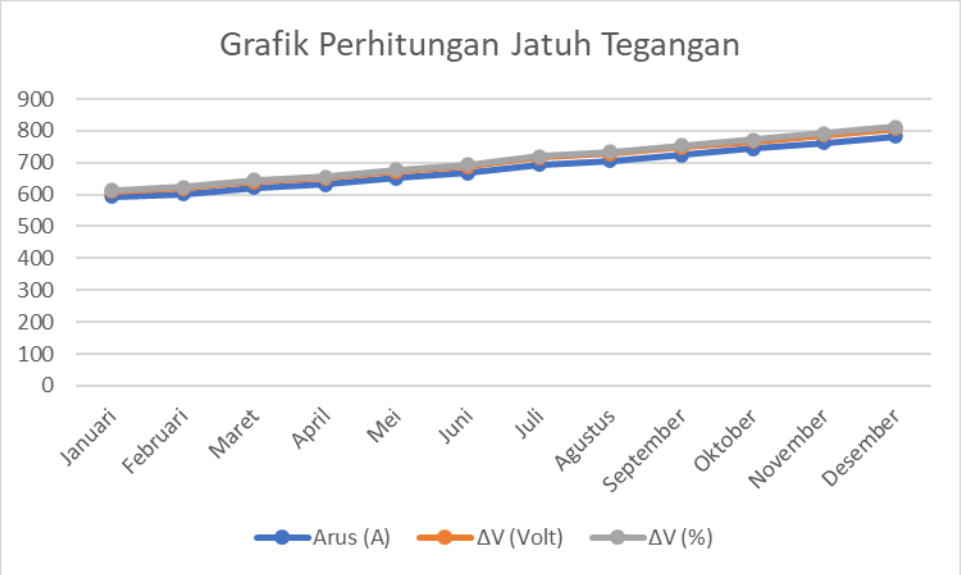
$$= \frac{17{,}39}{400} \text{ X } 100\% = 4{,}35\%$$

Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Jatuh Tegangan

Bulan	**Arus (A)**	**ΔV (Volt)**	**ΔV (%)**
Januari	592,55	17,39	4,35
Februari	601,67	17,66	4,42
Maret	621,81	18,72	4,68
April	632,56	19,05	4,76
Mei	651,84	20,12	5,03
Juni	667,37	20,61	5,15
Juli	693,44	21,89	5,47
Agustus	706	22,29	5,57
September	724,82	22,88	5,72

Oktober	743,65	23,47	5,87
November	762,47	24,07	6,02
Desember	781,3	24,66	6,17

Gambar Grafik 4.11 Perhitungan Jatuh Tegangan



Berdasarkan Tabel 4.11, nilai jatuh tegangan mengalami peningkatan secara bertahap dari 17,39 Volt (4,35%) pada bulan Januari menjadi 24,66 Volt (6,17%) pada bulan Desember. Peningkatan tersebut sejalan dengan bertambahnya arus beban akibat pertumbuhan kebutuhan daya listrik selama periode penelitian.

Pada bulan Januari hingga April, persentase jatuh tegangan masih berada di bawah batas 5%, sehingga kualitas tegangan yang diterima beban masih memenuhi rekomendasi PUIL 2020. Namun, mulai bulan Mei nilai jatuh tegangan mencapai 5,03% dan terus meningkat hingga 6,17% pada bulan Desember. Kondisi ini menunjukkan bahwa pertumbuhan beban menyebabkan penurunan kualitas tegangan pada jaringan distribusi dan mengindikasikan perlunya evaluasi kapasitas jaringan.

Secara teoritis, hasil ini sesuai dengan persamaan jatuh tegangan sistem tiga fasa, di mana kenaikan arus beban akan memperbesar komponen penurunan tegangan pada penghantar. Dengan kata lain, semakin tinggi pertumbuhan beban maka semakin besar pula jatuh tegangan yang terjadi pada sistem distribusi. Hasil

penelitian ini juga mendukung teori Stevenson (1982) dan Wadhwa (2009) yang menyatakan bahwa kenaikan arus akibat pertumbuhan beban merupakan salah satu penyebab utama meningkatnya jatuh tegangan pada jaringan distribusi tenaga listrik.

Kesimpulan

Hasil analisis menunjukkan bahwa pertumbuhan beban memberikan pengaruh langsung terhadap peningkatan jatuh tegangan pada sistem distribusi listrik PT Galatta Abadi Plastindo. Persentase jatuh tegangan meningkat dari 4,35% menjadi 6,17%, yang menunjukkan adanya penurunan kualitas tegangan seiring bertambahnya beban. Kondisi tersebut menjadi salah satu indikator bahwa pertumbuhan beban berkontribusi terhadap penurunan kinerja sistem distribusi dan perlu menjadi pertimbangan dalam evaluasi maupun perencanaan peningkatan kapasitas jaringan.

4.2.3 Analisis Rugi Daya (Power Losses)

Rugi daya (*power losses*) merupakan daya yang hilang pada penghantar akibat adanya hambatan listrik ketika arus mengalir menuju beban. Besarnya rugi daya dipengaruhi oleh nilai resistansi penghantar dan kuadrat arus beban yang mengalir. Oleh karena itu, semakin besar arus akibat pertumbuhan beban, maka semakin besar pula rugi daya yang terjadi pada sistem distribusi.

Pada penelitian ini, analisis rugi daya dilakukan untuk mengetahui besarnya energi yang hilang pada penghantar distribusi selama periode penelitian serta mengevaluasi pengaruh pertumbuhan beban terhadap efisiensi sistem distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo.

4.2.3.1 Dasar Perhitungan Rugi Daya

Rugi daya pada sistem distribusi tiga fasa dihitung menggunakan Persamaan (4.13).

$$P_{loss} = 3I^2R$$

Keterangan:

- P_{loss} = Rugi daya (W)
- I = Arus beban (A)
- R = Resistansi penghantar (Ω)

Nilai resistansi penghantar yang digunakan merupakan hasil perhitungan pada

4.2.2, yaitu:

$$R = 0{,}01313\Omega$$

4.2.3.2 Perhitungan Rugi Daya

Bulan Januari

Diketahui:

$$I = 592{,}55\ A$$

$$R = 0{,}01313\Omega$$

Maka,

$$P_{loss} = 3 \times (592{,}55)^2 \times 0{,}01313$$

$$= 3 \times 351115{,}50 \times 0{,}01313$$

$$= 13{,}83\ kW$$

Bulan Februari

$$P_{loss} = 3 \times (601{,}67)^2 \times 0{,}01313$$

$$= 14{,}26\ kW$$

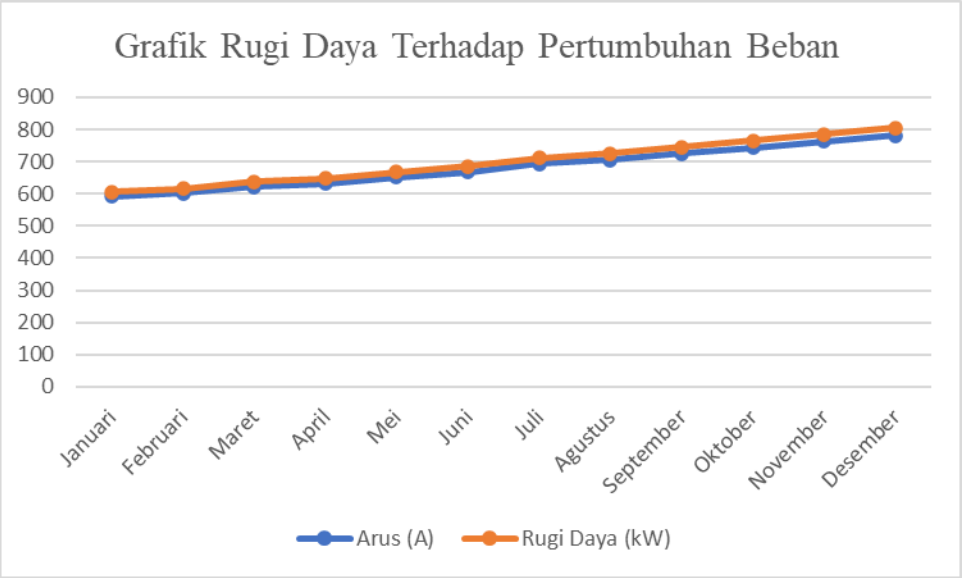
Perhitungan yang sama dilakukan untuk seluruh bulan selama periode penelitian.

Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Rugi Daya

Bulan	Arus (A)	Rugi Daya (kW)
Januari	592,55	13,83
Februari	601,67	14,26
Maret	621,81	15,23
April	632,56	15,76
Mei	651,84	16,74
Juni	667,37	17,55
Juli	693,44	18,95
Agustus	706	19,64
September	724,82	20,7
Oktober	743,65	21,79

November	762,47	22,91
Desember	781,3	24,06

Gambar 4.12 Grafik Rugi Daya terhadap Pertumbuhan Beban



Berdasarkan Tabel 4.12, rugi daya pada penghantar distribusi mengalami peningkatan dari 13,83 kW pada bulan Januari menjadi 24,06 kW pada bulan Desember. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa semakin besar arus yang mengalir pada penghantar, maka semakin besar pula energi listrik yang hilang dalam bentuk panas.

Secara teoritis, hubungan antara arus dan rugi daya mengikuti Persamaan $P_{loss} = 3I^2R$. Karena arus dipangkatkan dua, maka kenaikan arus yang relatif kecil dapat menyebabkan peningkatan rugi daya yang lebih besar. Hal ini terlihat pada hasil penelitian, di mana kenaikan arus dari 592,55 A menjadi 781,30 A menyebabkan rugi daya meningkat sekitar 73,97% selama periode penelitian.

Peningkatan rugi daya tersebut merupakan konsekuensi dari pertumbuhan beban yang terus meningkat. Semakin besar daya yang disalurkan oleh transformator, semakin besar arus yang mengalir pada penghantar sehingga energi yang hilang akibat hambatan penghantar juga semakin besar. Hasil penelitian ini sesuai dengan teori Stevenson (1982) dan Glover dkk. (2017), yang menyatakan bahwa rugi daya pada sistem distribusi meningkat sebanding dengan kuadrat arus penghantar.

Dari sisi operasional, peningkatan rugi daya menunjukkan bahwa efisiensi sistem distribusi mengalami penurunan secara bertahap. Apabila kondisi ini dibiarkan tanpa evaluasi kapasitas jaringan atau upaya pengurangan rugi-rugi, maka biaya energi dan beban termal pada penghantar akan semakin meningkat.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, pertumbuhan beban memberikan pengaruh langsung terhadap peningkatan rugi daya pada sistem distribusi listrik PT Galatta Abadi Plastindo. Rugi daya meningkat dari 13,83 kW menjadi 24,06 kW selama periode penelitian. Hal ini menunjukkan bahwa bertambahnya arus akibat pertumbuhan beban menyebabkan energi yang hilang pada penghantar semakin besar, sehingga efisiensi sistem distribusi cenderung menurun.

4.2.4 Analisis Efisiensi Sistem Distribusi

Efisiensi sistem distribusi merupakan perbandingan antara daya yang berhasil disalurkan kepada beban dengan total daya yang disuplai oleh sumber. Nilai efisiensi dipengaruhi oleh besarnya rugi-rugi daya pada penghantar. Semakin besar rugi daya yang terjadi, maka semakin kecil efisiensi sistem distribusi.

Pada penelitian ini, efisiensi sistem dihitung untuk mengetahui sejauh mana pertumbuhan beban memengaruhi kemampuan jaringan distribusi dalam menyalurkan energi listrik secara efektif.

4.2.4.1 Persamaan Efisiensi

Efisiensi sistem distribusi dihitung menggunakan Persamaan (4.14).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100\%$$

Keterangan:

- η = Efisiensi sistem (%)
- P_{out}= Daya aktif yang digunakan beban (kW)
- P_{loss}= Rugi daya penghantar (kW)

Perhitungan Bulan Januari

Diketahui

$$P_{out} = 390 \text{ kW}$$

$$P_{loss} = 13{,}83 \text{ kW}$$

Sehingga

$$\eta = \frac{390}{390 + 13{,}83} \text{ X } 100\%$$

$$= 96{,}58\%$$

Bulan Februari:

$$\eta = \frac{396}{396 + 14{,}26} \text{ x } 100\%$$

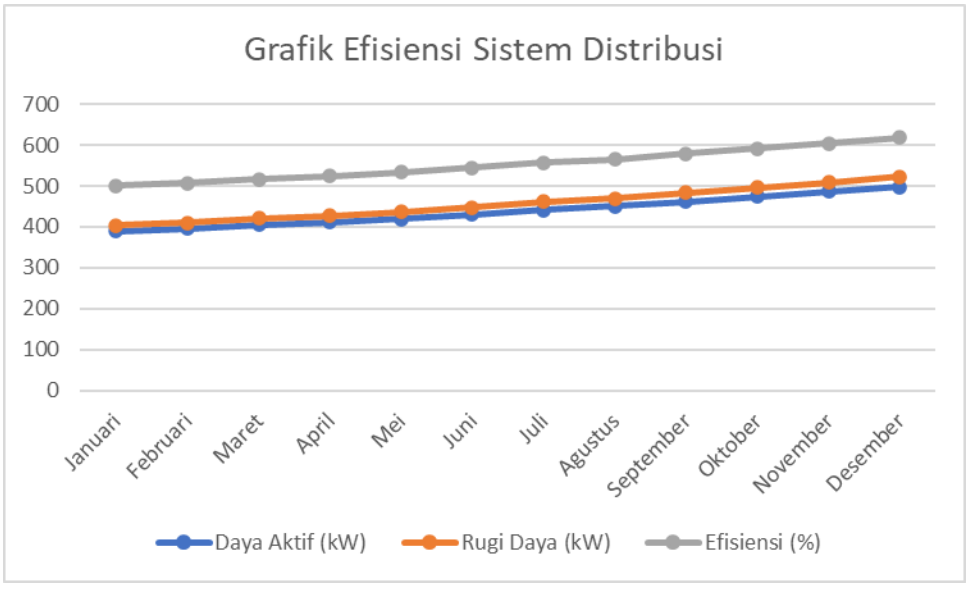
$$=96{,}52\%$$

Perhitungan dilakukan dengan cara yang sama untuk seluruh bulan.

Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Efisiensi Sistem Distribusi

Bulan	Daya Aktif (kW)	Rugi Daya (kW)	Efisiensi (%)
Januari	390	13,83	96,58
Februari	396	14,26	96,52
Maret	405	15,23	96,38
April	412	15,76	96,32
Mei	420	16,74	96,17
Juni	430	17,55	96,08
Juli	442	18,95	95,89
Agustus	450	19,64	95,81
September	462	20,7	95,71
Oktober	474	21,79	95,6
November	486	22,91	95,5
Desember	498	24,06	95,39

Gambar 4.13 Grafik Efisiensi Sistem Distribusi



Berdasarkan Tabel 4.13, efisiensi sistem distribusi mengalami penurunan secara bertahap dari 96,58% pada bulan Januari menjadi 95,39% pada bulan Desember. Penurunan efisiensi ini dipengaruhi oleh meningkatnya rugi daya pada penghantar akibat pertumbuhan beban yang menyebabkan arus sistem semakin besar.

Walaupun nilai efisiensi masih berada di atas 95%, tren penurunan menunjukkan bahwa sebagian energi listrik yang disuplai oleh transformator tidak dapat dimanfaatkan oleh beban karena hilang sebagai panas pada penghantar. Kondisi ini sesuai dengan teori sistem tenaga listrik yang menyatakan bahwa rugi daya berbanding lurus dengan kuadrat arus, sehingga peningkatan beban secara terus-menerus akan menurunkan efisiensi sistem distribusi apabila tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas jaringan atau optimalisasi operasi sistem.

Hasil analisis ini juga menunjukkan bahwa sistem distribusi PT Galatta Abadi Plastindo masih memiliki tingkat efisiensi yang baik, namun kecenderungan penurunan efisiensi menjadi indikator bahwa pertumbuhan beban mulai memengaruhi kinerja jaringan distribusi. Oleh karena itu, evaluasi kapasitas jaringan perlu dilakukan secara berkala untuk menjaga kualitas penyaluran energi listrik.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, pertumbuhan beban menyebabkan efisiensi sistem distribusi mengalami penurunan dari 96,58% menjadi 95,39% selama periode penelitian. Penurunan tersebut disebabkan oleh meningkatnya rugi daya pada penghantar akibat kenaikan arus beban. Meskipun efisiensi sistem masih tergolong tinggi, kecenderungan penurunan ini menunjukkan bahwa pertumbuhan beban mulai memberikan dampak terhadap kinerja sistem distribusi listrik.

4.2.5 Analisis Faktor Daya (Power Factor)

Faktor daya (*power factor*) merupakan perbandingan antara daya aktif (*active power*) dengan daya semu (*apparent power*) pada suatu sistem tenaga listrik. Faktor daya menunjukkan tingkat efisiensi pemanfaatan energi listrik oleh beban. Semakin tinggi nilai faktor daya mendekati satu, maka semakin efisien penggunaan energi listrik karena daya reaktif yang dibutuhkan sistem relatif kecil.

Pada sistem distribusi PT Galatta Abadi Plastindo, sebagian besar beban berupa motor induksi tiga fasa yang bersifat induktif. Karakteristik beban tersebut menyebabkan kebutuhan daya reaktif meningkat sehingga faktor daya cenderung menurun seiring bertambahnya beban produksi. Oleh karena itu, analisis faktor daya dilakukan untuk mengetahui pengaruh pertumbuhan beban terhadap kebutuhan daya reaktif serta dampaknya terhadap kinerja sistem distribusi.

4.2.5.1 Dasar Perhitungan Faktor Daya

Hubungan antara daya aktif (P), daya semu (S), dan daya reaktif (Q) dinyatakan sebagai berikut:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Sedangkan sudut faktor daya dihitung menggunakan:

$$\varphi = \cos^{-1} (\cos \varphi)$$

Daya reaktif dihitung menggunakan:

$$Q = P \tan \varphi$$

Keterangan:

- P = Daya aktif (kW)
- Q = Daya reaktif (kVAr)
- S = Daya semu (kVA)
- φ = Sudut faktor daya (°)

4.2.5.2 Perhitungan Faktor Daya

Bulan Januari

Diketahui:

$$P = 390 \text{ kW}$$

$$\cos \varphi = 0{,}95$$

Menghitung Sudut Faktor Daya

$$\varphi = \cos^{-1} (0{,}95)$$

$$\varphi = 18{,}19^{o}$$

Menghitung Daya Reaktif

$$Q = 390 \text{ x } tan\, 18{,}19$$

$$Q = 128{,}19 \text{ kV Ar}$$

Bulan Desember

Diketahui:

$$P = 498 \text{ kW}$$

$$\cos \varphi = 0{,}92$$

Sudut faktor daya

$$\varphi = \cos^{-1}(0{,}92)$$

$$\varphi = 23{,}07^{o}$$

Daya reaktif

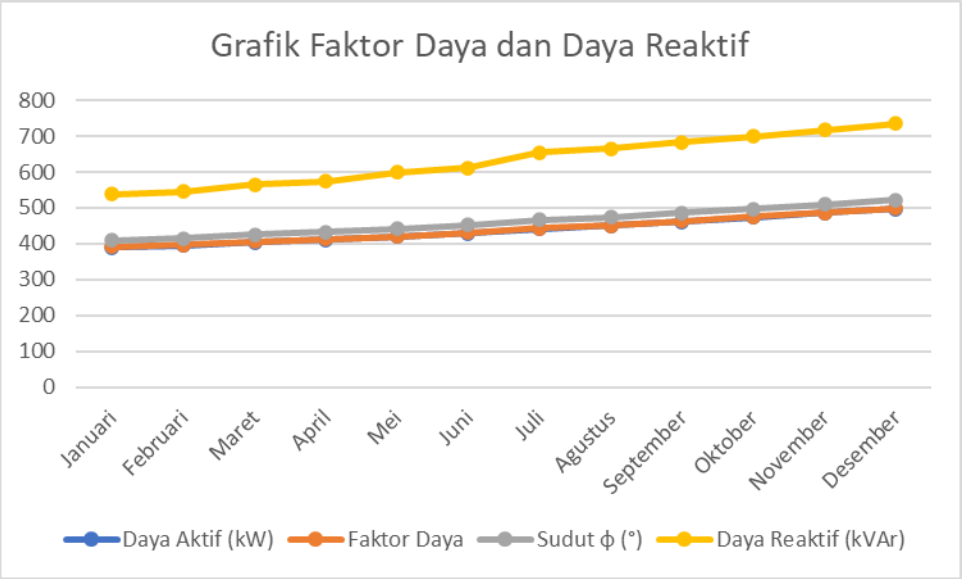
$$Q = 498 \text{ x } \tan 23{,}07^{o}$$

$$Q = 211{,}89 \text{ kV Ar}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk seluruh bulan penelitian.

Tabel 4. 14 Hasil Analisis Faktor Daya

Bulan	Daya Aktif (kW)	Faktor Daya	Sudut φ (°)	Daya Reaktif (kVAr)
Januari	390	0,95	18,19	128,19
Februari	396	0,95	18,19	130,16
Maret	405	0,94	19,95	138,32
April	412	0,94	19,95	140,71
Mei	420	0,93	21,57	155,75
Juni	430	0,93	21,57	159,46
Juli	442	0,92	23,07	188,09
Agustus	450	0,92	23,07	191,5
September	462	0,92	23,07	196,61
Oktober	474	0,92	23,07	201,72
November	486	0,92	23,07	206,82
Desember	498	0,92	23,07	211,89



Gambar 4.14 Grafik Faktor Daya dan Daya Reaktif

Berdasarkan Tabel 4.14, faktor daya sistem distribusi PT Galatta Abadi Plastindo mengalami penurunan dari 0,95 pada bulan Januari menjadi 0,92 pada bulan Desember. Meskipun penurunannya relatif kecil, kondisi tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan daya reaktif meningkat seiring dengan bertambahnya beban induktif pada sistem distribusi.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya reaktif meningkat dari 128,19 kVAr menjadi 211,89 kVAr selama periode penelitian. Peningkatan daya reaktif menyebabkan daya semu yang harus disuplai transformator menjadi semakin besar, meskipun kenaikan daya aktif tidak sebesar peningkatan daya semu. Akibatnya, arus beban yang mengalir pada penghantar juga meningkat.

Secara teoritis, penurunan faktor daya akan menyebabkan transformator dan penghantar bekerja lebih berat karena harus mengalirkan arus yang lebih besar untuk menghasilkan daya aktif yang sama. Kondisi ini berdampak pada meningkatnya jatuh tegangan, rugi daya, serta pembebanan transformator. Hasil penelitian ini sejalan dengan teori Stevenson (1982), Wadhwa (2009), dan Glover dkk. (2017), yang menyatakan bahwa faktor daya yang rendah akan meningkatkan kebutuhan daya semu dan menurunkan efisiensi operasi sistem tenaga listrik.

Walaupun nilai faktor daya pada penelitian ini masih berada di atas 0,85, yang umumnya masih memenuhi ketentuan operasional, tren penurunan dari 0,95 menjadi 0,92 menunjukkan perlunya pengelolaan daya reaktif. Salah satu upaya

yang dapat dilakukan adalah pemasangan atau optimalisasi bank kapasitor sehingga faktor daya dapat dipertahankan mendekati satu dan arus pada sistem distribusi dapat dikurangi.

Kesimpulan

Hasil analisis menunjukkan bahwa pertumbuhan beban menyebabkan faktor daya sistem distribusi mengalami penurunan dari 0,95 menjadi 0,92 selama periode penelitian. Penurunan faktor daya diikuti dengan peningkatan daya reaktif dari 128,19 kVAr menjadi 211,89 kVAr, sehingga daya semu dan arus beban yang harus disuplai transformator semakin besar. Kondisi tersebut memperkuat hasil analisis sebelumnya bahwa pertumbuhan beban berpengaruh terhadap meningkatnya jatuh tegangan, rugi daya, serta menurunkan kinerja sistem distribusi listrik.

4.2.6 Hubungan Pertumbuhan Beban terhadap Penurunan Kinerja Sistem Distribusi

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada Subbab 4.2.1 hingga 4.2.5, dapat diketahui bahwa pertumbuhan beban memberikan pengaruh langsung terhadap perubahan parameter-parameter operasi sistem distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo. Parameter yang mengalami perubahan meliputi arus beban, jatuh tegangan, rugi daya, efisiensi sistem distribusi, dan faktor daya. Hubungan antarparameter tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kebutuhan energi listrik akibat pertumbuhan beban menyebabkan kinerja sistem distribusi mengalami penurunan secara bertahap.

Peningkatan daya aktif dari 390 kW pada bulan Januari menjadi 498 kW pada bulan Desember menunjukkan bahwa kebutuhan energi listrik perusahaan meningkat sebesar 27,69% selama periode penelitian. Kenaikan daya aktif tersebut menyebabkan daya semu yang harus disuplai transformator juga meningkat dari 410,53 kVA menjadi 541,30 kVA. Akibatnya, arus beban meningkat dari 592,55 A menjadi 781,30 A atau sekitar 31,86%.

Peningkatan arus tersebut memberikan dampak langsung terhadap jatuh tegangan pada penghantar distribusi. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai jatuh tegangan meningkat dari 17,39 Volt (4,35%) menjadi 24,66 Volt (6,17%). Pada awal periode penelitian, nilai jatuh tegangan masih berada di bawah batas

rekomendasi PUIL 2020, yaitu 5% dari tegangan nominal. Namun, mulai bulan Mei hingga Desember, persentase jatuh tegangan telah melampaui batas tersebut. Kondisi ini menunjukkan bahwa pertumbuhan beban mulai memengaruhi kualitas tegangan yang diterima oleh beban sehingga berpotensi menurunkan keandalan sistem distribusi.

Selain menyebabkan peningkatan jatuh tegangan, kenaikan arus juga mengakibatkan rugi daya pada penghantar semakin besar. Berdasarkan hasil analisis, rugi daya meningkat dari 13,83 kW menjadi 24,06 kW. Hal ini sesuai dengan persamaan rugi daya pada sistem tiga fasa, yaitu $P_{loss} = 3I^2R$, yang menunjukkan bahwa rugi daya berbanding lurus dengan kuadrat arus. Dengan demikian, pertumbuhan beban yang menyebabkan kenaikan arus secara langsung meningkatkan energi yang hilang pada penghantar distribusi.

Meningkatnya rugi daya tersebut berdampak pada efisiensi sistem distribusi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi sistem mengalami penurunan dari 96,58% menjadi 95,39%. Walaupun penurunan efisiensi relatif kecil dan sistem masih tergolong efisien, kecenderungan tersebut menunjukkan bahwa sebagian energi listrik yang disuplai transformator tidak dapat dimanfaatkan secara optimal oleh beban karena hilang sebagai panas pada penghantar.

Di sisi lain, faktor daya sistem distribusi juga mengalami penurunan dari 0,95 menjadi 0,92, sedangkan daya reaktif meningkat dari 128,19 kVAr menjadi 211,89 kVAr. Peningkatan daya reaktif menyebabkan transformator harus menyuplai daya semu yang lebih besar sehingga arus beban semakin meningkat. Kondisi tersebut memperkuat hasil analisis bahwa penurunan faktor daya tidak hanya meningkatkan pembebanan transformator, tetapi juga memperbesar jatuh tegangan dan rugi daya pada jaringan distribusi.

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa pertumbuhan beban mempunyai hubungan yang kuat dengan penurunan kinerja sistem distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo. Semakin besar pertumbuhan beban, maka arus yang mengalir pada penghantar semakin tinggi, sehingga menyebabkan jatuh tegangan dan rugi daya meningkat, efisiensi sistem menurun, serta faktor daya cenderung memburuk. Hasil penelitian ini sesuai

dengan teori yang dikemukakan oleh Stevenson (1982), Wadhwa (2009), dan Glover dkk. (2017), yang menyatakan bahwa peningkatan beban pada sistem distribusi akan memengaruhi kualitas penyaluran tenaga listrik dan efisiensi operasi sistem.

4.2.7 Pembahasan Rumusan Masalah Nomor 2

Rumusan masalah kedua dalam penelitian ini adalah **"Bagaimana pengaruh pertumbuhan beban terhadap penurunan kinerja sistem distribusi, seperti jatuh tegangan, rugi daya, dan faktor daya?"** Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pertumbuhan beban memberikan pengaruh yang nyata terhadap parameter-parameter kinerja sistem distribusi di PT Galatta Abadi Plastindo.

Pertumbuhan daya aktif sebesar 27,69% selama periode penelitian menyebabkan peningkatan arus beban sebesar 31,86%. Dampak dari kenaikan arus tersebut terlihat pada meningkatnya jatuh tegangan dari 4,35% menjadi 6,17%, meningkatnya rugi daya dari 13,83 kW menjadi 24,06 kW, menurunnya efisiensi sistem dari 96,58% menjadi 95,39%, serta turunnya faktor daya dari 0,95 menjadi 0,92.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi pertumbuhan beban, maka semakin besar penurunan kualitas penyaluran energi listrik pada sistem distribusi. Oleh karena itu, apabila tren pertumbuhan beban terus berlanjut, perusahaan perlu mempertimbangkan langkah-langkah teknis seperti redistribusi beban, peningkatan kapasitas penghantar, optimalisasi faktor daya melalui pemasangan bank kapasitor, atau peningkatan kapasitas transformator apabila pembebanan mendekati kapasitas nominalnya.

Dengan demikian, Rumusan Masalah Nomor 2 dapat dinyatakan telah terjawab, yaitu bahwa pertumbuhan beban berpengaruh terhadap penurunan kinerja sistem distribusi melalui peningkatan jatuh tegangan, peningkatan rugi daya, dan penurunan faktor daya yang pada akhirnya memengaruhi efisiensi serta keandalan sistem distribusi listrik.

4.2.8 Analisis Sintesis Kinerja Sistem Distribusi

Analisis sintesis dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh pertumbuhan beban terhadap keseluruhan kinerja sistem distribusi listrik berdasarkan seluruh

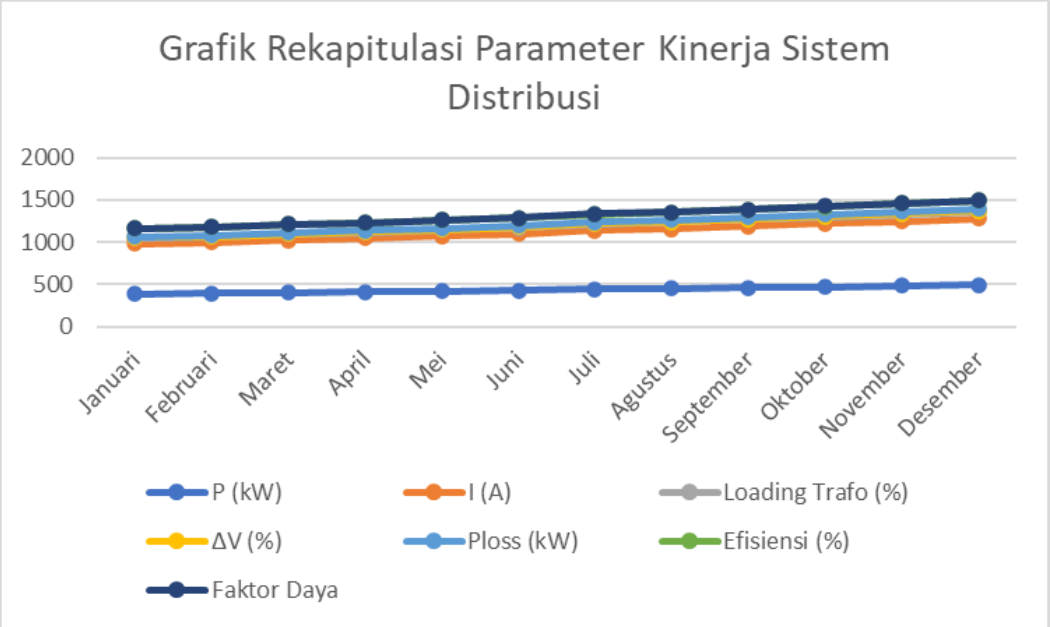
parameter yang telah dihitung pada subbab sebelumnya. Parameter yang dianalisis meliputi pertumbuhan daya aktif, arus beban, pembebanan transformator, jatuh tegangan, rugi daya, efisiensi sistem, dan faktor daya. Melalui analisis ini dapat diketahui hubungan antarparameter sehingga memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi sistem distribusi PT Galatta Abadi Plastindo.

Untuk mempermudah evaluasi, hasil analisis seluruh parameter dirangkum pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Rekapitulasi Parameter Kinerja Sistem Distribusi

Bulan	P (kW)	I (A)	Loading Trafo (%)	ΔV (%)	Ploss (kW)	Efisiensi (%)	Faktor Daya
Januari	390	592,55	65,16	4,35	13,83	96,58	0,95
Februari	396	601,67	66,17	4,42	14,26	96,52	0,95
Maret	405	621,81	68,39	4,68	15,23	96,38	0,94
April	412	632,56	69,57	4,76	15,76	96,32	0,94
Mei	420	651,84	71,68	5,03	16,74	96,17	0,93
Juni	430	667,37	73,39	5,15	17,55	96,08	0,93
Juli	442	693,44	76,26	5,47	18,95	95,89	0,92
Agustus	450	706	77,64	5,57	19,64	95,81	0,92
September	462	724,82	79,71	5,72	20,7	95,71	0,92
Oktober	474	743,65	81,78	5,87	21,79	95,6	0,92
November	486	762,47	83,85	6,02	22,91	95,5	0,92
Desember	498	781,3	85,92	6,17	24,06	95,39	0,92

Gambar Grafik 4.15 Grafik Rekapitulasi Parameter Kinerja Sistem Distribusi



Analisis Hubungan Antarparameter:

Berdasarkan Tabel 4.15 terlihat bahwa peningkatan daya aktif dari 390 kW menjadi 498 kW menyebabkan seluruh parameter operasi sistem distribusi mengalami perubahan secara bertahap. Peningkatan daya aktif mengakibatkan daya semu yang disuplai transformator semakin besar sehingga arus beban meningkat dari 592,55 A menjadi 781,30 A. Kondisi ini menunjukkan bahwa pertumbuhan beban berpengaruh langsung terhadap pembebanan jaringan distribusi.

Kenaikan arus menyebabkan pembebanan transformator meningkat dari 65,16% menjadi 85,92%. Meskipun nilai tersebut masih berada di bawah kapasitas nominal transformator, tren kenaikan menunjukkan bahwa cadangan kapasitas transformator semakin berkurang. Apabila pertumbuhan beban terus berlanjut tanpa peningkatan kapasitas jaringan, transformator berpotensi bekerja mendekati atau bahkan melampaui batas operasi yang direkomendasikan.

Peningkatan arus juga menyebabkan persentase jatuh tegangan meningkat dari 4,35% menjadi 6,17%. Pada awal periode penelitian, kualitas tegangan masih memenuhi rekomendasi PUIL 2020, namun mulai pertengahan hingga akhir periode penelitian nilai jatuh tegangan telah melebihi batas rekomendasi. Kondisi

ini mengindikasikan bahwa kualitas penyaluran energi listrik mulai mengalami penurunan akibat pertumbuhan beban.

Selain itu, rugi daya meningkat dari 13,83 kW menjadi 24,06 kW. Peningkatan ini menyebabkan efisiensi sistem menurun dari 96,58% menjadi 95,39%. Walaupun penurunan efisiensi relatif kecil, tren tersebut menunjukkan bahwa energi yang hilang pada penghantar semakin besar sehingga kemampuan sistem dalam menyalurkan energi secara efisien mulai menurun.

Dari sisi kualitas daya, faktor daya mengalami penurunan dari 0,95 menjadi 0,92, sedangkan daya reaktif meningkat secara bertahap. Penurunan faktor daya menyebabkan daya semu dan arus yang harus disuplai transformator semakin besar. Kondisi tersebut memperkuat hasil analisis bahwa pertumbuhan beban tidak hanya meningkatkan pembebanan transformator, tetapi juga memperburuk kualitas operasi sistem distribusi.

Sintesis Hasil Penelitian

Berdasarkan seluruh hasil analisis, hubungan antarparameter dapat dijelaskan sebagai berikut.

Pertumbuhan Beban → Daya Aktif Naik → Daya Semu Naik → Arus Naik → Loading Trafo Naik → Jatuh Tegangan Naik → Rugi Daya Naik → Efisiensi Turun → Faktor Daya Menurun → Kinerja Sistem Distribusi Menurun.

Rangkaian hubungan tersebut menunjukkan bahwa pertumbuhan beban merupakan faktor utama yang memengaruhi perubahan kinerja sistem distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo. Oleh karena itu, peningkatan kapasitas jaringan distribusi, optimalisasi faktor daya, serta evaluasi pembebanan transformator menjadi langkah yang perlu dipertimbangkan apabila pertumbuhan beban terus berlangsung.

4.2.9 Implikasi Hasil Penelitian terhadap Pengelolaan Sistem Distribusi

Hasil analisis pada Subbab 4.2.1 hingga Subbab 4.2.8 menunjukkan bahwa pertumbuhan beban memberikan pengaruh terhadap perubahan karakteristik operasi sistem distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo. Meskipun transformator distribusi masih beroperasi di bawah kapasitas nominalnya, peningkatan pembebanan secara bertahap menyebabkan kenaikan arus

penghantar, meningkatnya jatuh tegangan, bertambahnya rugi daya, menurunnya efisiensi sistem, serta penurunan faktor daya. Oleh karena itu, diperlukan beberapa langkah teknis untuk menjaga agar sistem distribusi tetap mampu beroperasi secara andal dan efisien apabila pertumbuhan beban terus berlangsung.

1. Evaluasi Kapasitas Transformator

Berdasarkan hasil perhitungan, pembebanan transformator meningkat dari 65,16% menjadi 85,92% selama periode penelitian. Nilai tersebut masih berada di bawah kapasitas nominal transformator 630 kVA, namun menunjukkan tren peningkatan yang cukup signifikan. Apabila pertumbuhan beban berlanjut dengan pola yang sama, maka pembebanan transformator diperkirakan akan mendekati batas operasi yang direkomendasikan. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan evaluasi pembebanan transformator secara berkala untuk memastikan masih tersedia cadangan kapasitas yang memadai.

2. Optimalisasi Faktor Daya

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor daya mengalami penurunan dari 0,95 menjadi 0,92, sedangkan daya reaktif meningkat dari 128,19 kVAr menjadi 211,89 kVAr. Kondisi tersebut menyebabkan transformator dan penghantar harus mengalirkan arus yang lebih besar. Salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah mengoptimalkan penggunaan bank kapasitor sehingga faktor daya dapat dipertahankan mendekati 1,00. Dengan meningkatnya faktor daya, arus beban dapat dikurangi sehingga rugi daya dan jatuh tegangan juga akan menurun.

3. Evaluasi Penghantar Distribusi

Analisis menunjukkan bahwa persentase jatuh tegangan meningkat hingga 6,17% pada akhir periode penelitian. Nilai tersebut telah melampaui batas rekomendasi 5% untuk sistem tegangan rendah. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi terhadap konfigurasi jaringan distribusi, termasuk panjang jalur penghantar, ukuran penampang kabel, serta pembagian beban pada setiap panel distribusi. Apabila diperlukan, penggunaan penghantar dengan luas penampang yang lebih besar dapat menjadi salah satu alternatif untuk mengurangi resistansi saluran dan memperkecil jatuh tegangan.

4. Pengelolaan Pertumbuhan Beban

Pertumbuhan beban yang terjadi di PT Galatta Abadi Plastindo perlu diimbangi dengan perencanaan kapasitas sistem distribusi. Penambahan mesin produksi atau peralatan listrik sebaiknya didahului dengan analisis kebutuhan daya sehingga peningkatan beban tidak menyebabkan pembebanan transformator maupun penghantar melebihi kemampuan desain sistem. Perencanaan kapasitas yang baik akan menjaga keandalan sistem distribusi dalam jangka panjang.

5. Monitoring dan Pemeliharaan Berkala

Pengukuran parameter kelistrikan seperti arus, tegangan, faktor daya, serta pembebanan transformator perlu dilakukan secara berkala menggunakan alat ukur seperti *power quality analyzer*. Data hasil pengukuran dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kondisi sistem distribusi dan mendukung pengambilan keputusan terkait peningkatan kapasitas jaringan, penggantian penghantar, maupun pemasangan peralatan kompensasi daya reaktif.

4.2.10 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian mengenai pengaruh pertumbuhan beban terhadap kinerja sistem distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo selanjutnya dibandingkan dengan beberapa penelitian terdahulu yang memiliki topik serupa. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian hasil penelitian dengan teori maupun penelitian sebelumnya serta memperlihatkan kontribusi penelitian yang dilakukan.

Tabel 4. 16 Perbandingan Hasil Penelitian Dengan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Fokus Penelitian	Hasil Penelitian	Hasil Penelitian Ini

Stevenson (1982)	Analisis sistem distribusi tenaga listrik	Peningkatan arus menyebabkan jatuh tegangan dan rugi daya meningkat.	Hasil penelitian menunjukkan kenaikan arus dari 592,55 A menjadi 781,30 A menyebabkan jatuh tegangan meningkat dari 4,35% menjadi 6,17% dan rugi daya meningkat dari 13,83 kW menjadi 24,06 kW.
Wadhwa (2009)	Sistem Distribusi Tenaga Listrik	Faktor daya yang menurun menyebabkan kebutuhan daya semu dan arus meningkat.	Faktor daya turun dari 0,95 menjadi 0,92 sehingga daya reaktif dan arus sistem meningkat.
Glover dkk. (2017)	Analisis Sistem Tenaga Listrik	Pertumbuhan beban menyebabkan efisiensi sistem distribusi menurun apabila kapasitas jaringan tidak ditingkatkan.	Efisiensi sistem menurun dari 96,58% menjadi 95,39% akibat peningkatan rugi daya pada penghantar.
Penelitian Ini	Analisis peningkatan kapasitas jaringan distribusi akibat pertumbuhan beban di PT Galatta Abadi Plastindo	Menganalisis hubungan pertumbuhan beban dengan pembebanan transformator, jatuh tegangan, rugi daya, efisiensi sistem, dan faktor daya secara terpadu.	Memberikan gambaran menyeluruh mengenai pengaruh pertumbuhan beban terhadap kinerja sistem distribusi sebagai dasar evaluasi peningkatan kapasitas jaringan.

Berdasarkan Tabel 4.16, hasil penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan teori dan penelitian terdahulu mengenai karakteristik sistem distribusi tenaga listrik. Stevenson (1982) menjelaskan bahwa peningkatan arus pada penghantar akan menyebabkan kenaikan jatuh tegangan dan rugi daya. Hasil penelitian di PT Galatta Abadi Plastindo memperlihatkan kondisi yang serupa, yaitu meningkatnya arus beban dari 592,55 A menjadi 781,30 A diikuti dengan

kenaikan jatuh tegangan dari 4,35% menjadi 6,17% serta rugi daya dari 13,83 kW menjadi 24,06 kW.

Selanjutnya, hasil penelitian ini juga mendukung teori yang dikemukakan oleh Wadhwa (2009), yang menyatakan bahwa penurunan faktor daya akan meningkatkan kebutuhan daya semu sehingga arus sistem bertambah besar. Pada penelitian ini, faktor daya mengalami penurunan dari 0,95 menjadi 0,92, sedangkan daya reaktif meningkat dari 128,19 kVAr menjadi 211,89 kVAr. Kondisi tersebut menyebabkan transformator harus menyuplai daya semu yang lebih besar dan memperberat pembebanan sistem distribusi.

Selain itu, penelitian Glover dkk. (2017) menyatakan bahwa pertumbuhan beban yang tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas jaringan akan menurunkan efisiensi sistem distribusi. Hasil penelitian ini menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu efisiensi sistem menurun dari 96,58% menjadi 95,39% sebagai akibat meningkatnya rugi daya pada penghantar.

Perbedaan utama penelitian ini dibandingkan penelitian terdahulu terletak pada pendekatan analisis yang digunakan. Penelitian ini tidak hanya mengevaluasi satu parameter, tetapi mengintegrasikan seluruh parameter utama sistem distribusi, yaitu pertumbuhan beban, pembebanan transformator, jatuh tegangan, rugi daya, efisiensi sistem, dan faktor daya dalam satu model analisis. Dengan demikian, hasil penelitian memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai pengaruh pertumbuhan beban terhadap kinerja sistem distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo.

Kontribusi Penelitian

Berdasarkan hasil analisis dan perbandingan dengan penelitian terdahulu, penelitian ini memberikan beberapa kontribusi sebagai berikut.

1. Menyajikan analisis menyeluruh mengenai pengaruh pertumbuhan beban terhadap kinerja sistem distribusi listrik pada lingkungan industri.
2. Mengintegrasikan analisis pembebanan transformator, jatuh tegangan, rugi daya, efisiensi sistem, dan faktor daya dalam satu pembahasan yang saling berkaitan.

3. Memberikan dasar teknis bagi PT Galatta Abadi Plastindo dalam mengevaluasi kebutuhan peningkatan kapasitas jaringan distribusi berdasarkan kondisi operasi aktual.
4. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang membahas evaluasi sistem distribusi listrik pada sektor industri dengan menggunakan parameter kinerja yang lebih lengkap.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai "Analisis Peningkatan Kapasitas Jaringan Distribusi Akibat Pertumbuhan Beban di PT Galatta Abadi Plastindo", maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Kondisi Eksisting Jaringan Distribusi Listrik PT Galatta Abadi Plastindo Sebelum Dilakukan Peningkatan Kapasitas.

Berdasarkan hasil analisis terhadap kondisi eksisting jaringan distribusi listrik, diketahui bahwa sistem distribusi PT Galatta Abadi Plastindo masih mampu melayani kebutuhan beban selama periode penelitian. Hal tersebut ditunjukkan oleh kapasitas transformator distribusi sebesar 630 kVA yang masih mampu menyuplai kebutuhan daya semu maksimum sebesar 541,30 kVA pada akhir periode penelitian.

Selama periode Januari hingga Desember terjadi peningkatan daya aktif dari 390 kW menjadi 498 kW atau meningkat sekitar 27,69%. Peningkatan tersebut diikuti oleh kenaikan daya semu dari 410,53 kVA menjadi 541,30 kVA, daya reaktif dari 128,19 kVAr menjadi 211,89 kVAr, serta arus beban dari 592,55 A menjadi 781,30 A. Akibat meningkatnya kebutuhan daya tersebut, persentase pembebanan transformator juga meningkat dari 65,16% menjadi 85,92%, sedangkan sisa kapasitas transformator menurun dari 34,84% menjadi 14,08%.

Walaupun transformator belum mengalami kondisi overload, hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas cadangan transformator semakin berkurang sehingga ruang untuk melayani penambahan beban di masa mendatang menjadi semakin terbatas. Dengan demikian, kondisi eksisting jaringan distribusi masih berada pada kondisi layak beroperasi, namun menunjukkan kecenderungan

mendekati batas pemanfaatan kapasitas sehingga diperlukan evaluasi dan perencanaan peningkatan kapasitas apabila pertumbuhan beban terus berlangsung.

Dengan demikian, rumusan masalah pertama telah terjawab, yaitu kondisi eksisting jaringan distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo masih memenuhi kebutuhan operasional perusahaan, namun telah mengalami peningkatan tingkat pembebanan sehingga memerlukan evaluasi kapasitas sebagai langkah antisipasi terhadap pertumbuhan beban pada masa mendatang.

2. Pengaruh Pertumbuhan Beban terhadap Penurunan Kinerja Sistem Distribusi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan beban memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan kinerja sistem distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo. Peningkatan daya aktif sebesar 27,69% menyebabkan kenaikan arus penghantar sebesar 31,86%, sehingga mempengaruhi seluruh parameter utama sistem distribusi.

Pertumbuhan beban menyebabkan nilai jatuh tegangan meningkat dari 17,39 Volt (4,35%) menjadi 24,66 Volt (6,17%). Nilai tersebut mulai melampaui batas rekomendasi PUIL sebesar 5% sejak bulan Mei, yang menunjukkan adanya penurunan kualitas tegangan pada sisi beban.

Selain itu, rugi daya penghantar mengalami peningkatan dari 13,83 kW menjadi 24,06 kW, yang mengakibatkan efisiensi sistem distribusi menurun dari 96,58% menjadi 95,39%. Peningkatan rugi daya terjadi karena kenaikan arus beban yang mengikuti karakteristik hubungan kuadrat arus terhadap rugi-rugi penghantar.

Di sisi lain, faktor daya mengalami penurunan dari 0,95 menjadi 0,92, sedangkan daya reaktif meningkat dari 128,19 kVAr menjadi 211,89 kVAr. Penurunan faktor daya menyebabkan transformator harus menyuplai daya semu yang lebih besar sehingga pembebanan transformator dan arus penghantar semakin meningkat.

Secara keseluruhan, hasil penelitian membuktikan bahwa semakin besar pertumbuhan beban, maka semakin besar pula penurunan kinerja sistem distribusi yang ditandai oleh meningkatnya jatuh tegangan, meningkatnya rugi daya, menurunnya faktor daya, meningkatnya pembebanan transformator, serta menurunnya efisiensi sistem distribusi.

Dengan demikian, rumusan masalah kedua telah terjawab, yaitu pertumbuhan beban berpengaruh secara langsung terhadap penurunan kinerja sistem distribusi listrik di PT Galatta Abadi Plastindo melalui peningkatan jatuh tegangan, peningkatan rugi daya, penurunan faktor daya, serta meningkatnya pembebanan transformator yang pada akhirnya dapat mempengaruhi keandalan sistem distribusi listrik.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. PT Galatta Abadi Plastindo perlu melakukan evaluasi kapasitas jaringan distribusi secara berkala untuk mengantisipasi pertumbuhan beban yang terus meningkat sehingga sistem distribusi tetap beroperasi secara aman dan andal.
2. Perusahaan disarankan melakukan optimalisasi faktor daya melalui pemasangan atau pengaturan bank kapasitor agar daya reaktif dapat dikurangi, arus beban menurun, rugi daya berkurang, serta efisiensi sistem distribusi meningkat.
3. Mengingat nilai jatuh tegangan telah mencapai 6,17%, perusahaan perlu mengevaluasi konfigurasi jaringan distribusi, termasuk panjang penghantar, pembagian beban, serta kemungkinan penggunaan penghantar dengan luas penampang yang lebih besar agar kualitas tegangan tetap memenuhi standar PUIL.
4. Apabila pertumbuhan beban diperkirakan terus meningkat pada tahun-tahun berikutnya, perusahaan perlu mempertimbangkan peningkatan kapasitas transformator atau penambahan transformator distribusi agar pembebanan tidak mendekati kapasitas nominal dan keandalan sistem tetap terjaga.
5. Monitoring parameter kelistrikan seperti arus, tegangan, faktor daya, pembebanan transformator, serta kualitas daya perlu dilakukan secara berkala menggunakan alat ukur seperti Power Quality Analyzer sehingga perubahan kondisi sistem dapat dideteksi lebih dini dan menjadi dasar pengambilan keputusan teknis.

6. Penelitian selanjutnya disarankan tidak hanya menganalisis kondisi eksisting sistem distribusi, tetapi juga melakukan simulasi peningkatan kapasitas menggunakan perangkat lunak analisis sistem tenaga seperti ETAP, DIgSILENT PowerFactory, atau MATLAB/Simulink, sehingga diperoleh alternatif desain jaringan distribusi yang lebih optimal dalam menghadapi pertumbuhan beban di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

Aditya, R., Suryanto, A., & Widyanto, S. (2021). Transformator Distribusi: Peran dan Fungsi dalam Sistem Tenaga Listrik. *Jurnal Teknik Elektro, 10*(2), 123-134.

Afriza, R., Suryanto, A., & Widyanto, S. (2023). Jaringan distribusi primer 20 kV: Peran dan fungsi dalam sistem tenaga listrik. *Techne : Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, *12*(1), 36–47.

Ananda, R. (2022). Pengaruh pertumbuhan beban terhadap rugi daya gardu distribusi. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, *7*(2), 1–12.

Arismunandar. (1993). *Teknik Tenaga Listrik.* Erlangga.

Arrillaga, J., Bathurst, G. N., & Watson, N. R. (2003). *Adaptive Deviration Of Inter-Harmonicsin Variable Speed Drives, EPE 2001 C0nference*. Gratz.

Basuki, H., Hafizhuddin, A., & Abdul, M. (2022). Faktor daya leading dan lagging: Konsep dan Aplikasi. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, *11*(1), 1–8.

Berlianti, M., Suryanto, A., & Widyanto, S. (2022). Fungsi jaringan distribusi listrik: Konsep dan aplikasi. *RELE: Rekayasa Elektrikal Dan Energi Jurnal Teknik Elektro*, *11*(2), 116–124.

Della Saskia Amelia, R., Suryanto, A., & Widyanto, S. (2022). Pengaruh pertumbuhan beban terhadap jatuh tegangan pada gardu distribusi. *Jurnal Teknik Elektro*, *11*(1), 1-8.

Gonen, T. (2015). *Electric Power Distribution System Engineering*. CRC Press.

Kevin, M., Suryanto, A., & Widyanto, S. (2020). Sistem distribusi tenaga listrik: Konsep dan aplikasi. *Jurnal Teknik Elektro, 9*(1), 1–12.

Lubis, A., Suryanto, A., & Widyanto, S. (2024). Sistem radial: Konsep dan aplikasi. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, *6*(7), 52–64.

Muhammad, R. (2023). Pengaruh pertumbuhan beban terhadap gardu distribusi. *Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems*, *12*(2), 1–10.

Mukti, A., & Anisa, M. (2023). Transformator Energi: Prinsip dan Aplikasi.

Jurnal Teknik Elektro, *12*(1), 1–10.

Nanang, S., Suryanto, A., & Widyanto, S. (2020). Beban listrik: Klasifikasi dan karakteristik. *Jurnal Teknik Elektro*, *9*(2), 135–146.

Nita Nurdiana, S. (2017). Jaringan distribusi listrik: Konsep dan aplikasi. *VOLT : Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, *6*(1), 141–156.

Noer, S., Suryanto, A., & Widyanto, S. (2019). Transformator Distribusi: Peran dan Fungsi dalam Sistem Tenaga Listrik. *Jurnal Teknik Elektro*, *8*(1), 1–12.

Pabla, A. S. (2017). *Electric Power Distribution.* New Delhi: McGraw-Hill.

Suganda, R., Suryanto, A., & Widyanto, S. (2022). Jaringan distribusi tenaga listrik: Konsep dan aplikasi. *Protek : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, *7*(4), 44–58.

Suprianto, S. (2018). Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, *7*(1), 1–10.

Suwarno, S., & Pasaribu, R. A. (2016). Thermal aging of mineral oil-paper composite insulation for high voltage transformer,. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, *8*(4), Suwarno, dan Pasaribu, R. A. (2016): Thermal aging.

Nahor, K. E. B., Zebua, O., & Hakim, L. (2023). Penentuan lokasi dan kapasitas kapasitor bank pada jaringan distribusi penyulang Americano untuk meminimalkan rugi-rugi daya dengan metode Grey Wolf Optimizer (GWO). *Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, *17*(1), 100–107. https://doi.org/10.23960/elc.v17n1.2376

Rahman, A. H., Hidayahtullah, A., Ulfa, A. N., Ahmad, R. Z., & Putra, J. T. (2021). Improvement of the power factor on the distribution line feeder Sutami 23 Lampung using capacitor bank and SVC with ETAP 12.6 simulation. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, *17*(2), 191–199.

Situmorang, H. F., Wibowo, P., & Lubis, Z. (2024). Analisis penggunaan kapasitor bank dalam upaya perbaikan faktor daya pada low voltage main distribution panel (LVMDP) di PT

Permata Hijau Palm Oleo KIM II. *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, *7*(3), 1048–1056.

https://doi.org/10.31539/intecoms.v7i3.10813 Stevenson, W. D. (1982). *Elements of Power System Analysis* (4th ed.). McGraw-Hill.

Ariwata, H., Agustini, N. P., & Setiawan, R. (2024). Optimalisasi penempatan kapasitor untuk meningkatkan profil tegangan pada jaringan distribusi 20 kV. *SinarFe7, 7*(1), 231–239.

Aji, A. P., Irawan, D., & Astutik, R. P. (2025). Analisis pemasangan kapasitor bank sebagai solusi untuk mengurangi drop tegangan pada penyulang Lowayu. *Uranus: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains dan Informatika, 3*(2), 1–31. https://doi.org/10.61132/uranus.v3i2.766

Alkaf, H. S., Thaha, S., & Jabir, N. (2023). Analisis pengaruh kapasitor bank untuk perbaikan faktor daya dan tegangan menengah PT PLN ULP Maros. *Journal of Applied Electrical and Energy System, 5*(2), 77–84.

Gonen, T. (2014). *Electric Power Distribution Engineering* (3rd ed.). CRC Press.

Gupta, B. R. (2018). *Power System Analysis and Design*. S. Chand Publishing.

Hadi, S., Nugroho, A., & Pratama, R. (2022). Analisis kapasitas panel distribusi listrik pada sistem tenaga industri berdasarkan pertumbuhan beban. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, 11*(2), 87–95.

International Electrotechnical Commission. (2021). *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies (IEC 61439)*. IEC.

Patel, M., & Patel, R. (2021). Assessment of protection coordination in low-voltage industrial distribution systems. *International Journal of Electrical and Computer Engineering, 11*(4), 3124–3133. https://doi.org/10.11591/ijece.v11i4.pp3124-3133

Pabla, A. S. (2011). *Electric Power Distribution* (6th ed.). Tata McGraw-Hill Education.

Schneider Electric. (2023). *Electrical Distribution Guide 2023*. Schneider Electric.

International Electrotechnical Commission. (2023). *IEC 60287: Electric cables—Calculation of the current rating*. IEC.

Nasution, M. R., & Lubis, A. H. (2023). Analisis kemampuan hantar arus kabel pada sistem distribusi tegangan rendah akibat pertumbuhan beban industri. *Jurnal Teknologi Elektro, 14*(2), 95–103.

Pabla, A. S. (2011). *Electric Power Distribution* (6th ed.). Tata McGraw-Hill Education.

Siregar, D. A., Simanjuntak, J., & Putra, R. (2022). Analisis rugi-rugi daya pada jaringan distribusi tegangan rendah menggunakan variasi luas penampang kabel. *Jurnal Rekayasa Elektrika, 18*(3), 156–164. https://doi.org/10.17529/jre.v18i3.24567

Stevenson, W. D. (1982). *Elements of Power System Analysis* (4th ed.). McGraw-Hill.

Yusmartato, Y., & Harahap, P. (2021). Analisis jatuh tegangan pada instalasi tenaga listrik industri berdasarkan variasi panjang penghantar. *Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil), 2*(1), 1–8.

Sapitri, N., Rahmawati, D., & Hidayat, T. (2022). Evaluasi kapasitas kabel distribusi terhadap peningkatan kebutuhan daya pada sistem kelistrikan industri manufaktur. *Jurnal Energi dan Kelistrikan, 14*(1), 45–53.

Chapman, S. J. (2012). *Electric Machinery Fundamentals* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Umans, S. D. (2003). *Electric Machinery* (6th ed.). McGraw-Hill.

Gonen, T. (2014). *Electric Power Distribution Engineering* (3rd ed.). CRC Press.

Guru, B. S., & Hiziroglu, H. R. (2001). *Electric Machinery and Transformers* (3rd ed.). Oxford University Press.

Kumar, R., & Singh, P. (2022). Performance evaluation of diesel generator systems under varying load conditions in industrial power systems. *International Journal of Electrical and Computer Engineering, 12*(4), 3821–3830. https://doi.org/10.11591/ijece.v12i4.pp3821-3830

Pabla, A. S. (2011). *Electric Power Distribution* (6th ed.). Tata McGraw-Hill Education.

Siregar, R. A., Lubis, M. A., & Harahap, F. R. (2023). Analisis kapasitas generator set sebagai sumber daya cadangan pada sistem tenaga listrik industri manufaktur. *Jurnal Teknik Energi Elektrik, 12*(2), 87–95.

Stevenson, W. D. (1982). *Elements of Power System Analysis* (4th ed.). McGraw-Hill.

Widianto, A., Nugroho, S., & Prasetyo, H. (2021). Analisis pembebanan generator set terhadap keandalan sistem distribusi tenaga listrik industri. *Jurnal Elektro Indonesia*, *9*(3), 145–153.

Arifin, Z., & Hidayat, R. (2021). Analisis jatuh tegangan pada jaringan distribusi tegangan rendah menggunakan ETAP. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(2), 87–95.

Fauzan, M., & Yusmartato. (2022). Analisis pembebanan transformator distribusi akibat pertumbuhan beban. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 18(1), 45–53.

Hidayat, A., & Prasetyo, B. (2020). Analisis rugi-rugi daya pada sistem distribusi tenaga listrik. *Jurnal Teknologi Elektro*, 11(3), 143–151.

Maulana, R., & Siregar, H. (2021). Evaluasi faktor daya pada instalasi industri menggunakan bank kapasitor. *Jurnal Teknik Energi Elektrik*, 9(2), 75–83.

Pratama, D., & Setiawan, E. (2023). Analisis peningkatan kapasitas transformator distribusi akibat pertumbuhan beban industri. *Jurnal Elektro Indonesia*, 15(1), 21–30.

Putra, A., & Nugroho, S. (2020). Analisis kualitas tegangan pada sistem distribusi tegangan rendah. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, 9(4), 390–397.

Rahman, M., & Kurniawan, A. (2021). Analisis efisiensi sistem distribusi tenaga listrik pada industri manufaktur. *Jurnal EECCIS*, 15(2), 109–118.

Siregar, M., & Harahap, R. (2022). Analisis pertumbuhan beban terhadap keandalan sistem distribusi listrik. *Jurnal Teknologi dan Sistem Tenaga Listrik*, 7(1), 15–24.

Syafii, S., & Yuniarto, E. (2021). Analisis pembebanan transformator distribusi pada sistem tenaga listrik. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 17(3), 172–181.

Utama, B., & Wibowo, H. (2023). Evaluasi kinerja jaringan distribusi listrik akibat peningkatan beban industri. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Diponegoro*, 25(2), 110–120.

Alam, M. J., Muttaqi, K. M., & Sutanto, D. (2013). Effective utilization of available wind generation and DSTATCOM to improve voltage profile in

distribution systems. *IEEE Transactions on Industry Applications, 49*(4), 1664–1672.

Kersting, W. H. (2001). Radial distribution test feeders. *IEEE Transactions on Power Systems, 6*(3), 975–985.

Singh, D., Singh, D., & Verma, K. S. (2009). Multi-objective optimization for DG planning considering load growth. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 31*(7–8), 356–364.

Willis, H. L. (2004). Power distribution planning for future load growth. *Electric Power Systems Research, 69*(2–3), 111–119.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : Dwi Azis Arfansyah

Tempat/ Tanggal Lahir : Durin Simbelang/ 12 Mei 2001

Jenis Kelamin : Laki-Laki

Agama : Islam

Alamat : Dusun III Durin Simbelang

Nomor Telepon : 0811-6161-3054

Email : dwiazis151@gmail.com

PENDIDIKAN FORMAL

Tahun 2007-2013 : SD Negeri 101821 Pancur Batu

Tahun 2013-2016 : SMP Negeri 4 Pancur Batu

Tahun 2016-2019 : SMK Swasta Yayasan Perguruan Era Utama Pancur Batu

Tahun 2022-2026 : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara