

ANALISIS PERBANDINGAN TEKNO-EKONOMI TERHADAP
PERBAIKAN MUTU TEGANGAN DENGAN METODE
REKONFIGURASI JARINGAN DAN UP RATING
TRANSFORMATOR



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan diploma
empat (D-4) Program Studi Teknik Listrik
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Ujung Pandang

JUVENTRI BUNTU PAYUNG
421 24 316

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR

2025

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **Analisis Perbandingan Tekno-ekonomi terhadap Perbaikan Mutu Tegangan dengan Metode Rekonfigurasi Jaringan dan Up Rating Transformator** oleh Juventri Buntu Payung NIM 42124316 dinyatakan layak untuk diujikan

Makassar, Oktober 2025

Pembimbing I



Ruslan L, S.T., M.T.
NIP 19640918 199003 1 002

Pembimbing II



Kazman Riyadi, S.T., M.T.
NIP 19831010 201903 1 008

Mengetahui,

Koordinator Program Studi D4 Teknik Listrik



Andarini Asri, S.T., M.T.
NIP 19901001 201903 2 018

HALAMAN PENERIMAAN


Pada hari ini, 22 Oktober 2025, Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima dengan baik skripsi oleh mahasiswa: Juventri Buntu Payung NIM 421 24 316 dengan judul Analisis Perbandingan Tekno-ekonomi terhadap Perbaikan Mutu Tegangan dengan Metode Rekonfigurasi Jaringan dan Up Rating Transformator.

Makassar, 22 Oktober 2025

Tim Penguji Laporan Skripsi:

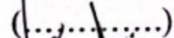
1. Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T.

Ketua

(.....)

2. Wisna Saputri Alfira WS, S.Pd., M.T.

Sekretaris

(.....)

3. Purwito, S.T., M.T.

Anggota 1

(.....)

4. Usman, S.T., M.T.

Anggota 2

(.....)

5. Ruslan L, S.T., M.T.

Pengarah 1

(.....)

6. Kazman Riyadi, S.T., M.T.

Pengarah 2

(.....)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat anugerah dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Perbandingan Tekno-ekonomi terhadap Perbaikan Mutu Tegangan dengan Metode Rekonfigurasi Jaringan dan Up Rating Transformator”. Skripsi ini disusun sebagai persyaratan kelulusan pada Program Studi Teknik Listrik Diploma – 4 Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Dalam penulisan Skripsi ini penulis banyak mendapat saran, dorongan, serta dukungan dari berbagai pihak, dalam hal ini merupakan pengalaman yang tidak dapat diukur secara materi. Oleh karena itu, dengan segala hormat dan kerendahan hati perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi keselamatan, kesehatan, perlindungan, dan kelancaran bagi penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
2. Kedua orang tua dan saudara yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan serta senantiasa menjadi sumber kekuatan terbesar dan inspirasi penulis.
3. Prof. Rusdi Nur, S. ST., M.T., Ph.D. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Prof. Ahmad Rizal Sultan, S.T., M.T., Ph.D. selaku ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Ibu Andarini Asri, S.T., M.T. selaku ketua Program Studi D4 Teknik Listrik

Politeknik Negeri Ujung Pandang

6. Bapak Ruslan L, S.T., M.T. sebagai pengarah I dan Bapak Kazman Riyadi, S.T., M.T. sebagai pengarah II yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Para dosen dan seluruh staf Politeknik Negeri Ujung Pandang yang tidak disebutkan namanya satu persatu atas torehan ilmunya.
8. Staf Teknik dan seluruh Pegawai PT.PLN (Persero) ULP Mattoanging
9. Teman-teman RPL angkatan 2024 khususnya kelas 4E Teknik Listrik atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini.
10. Semua pihak yang terlibat dan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Dalam penulisan ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu penulis mohon maaf dan sangat mengharapkan kritik serta masukan yang bersifat membangun bagi penulis.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi institusi pendidikan, masyarakat luas, serta untuk penulis sendiri.

Makassar, Oktober 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
SURAT PERNYATAAN	xi
RINGKASAN	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	5
2.1.1 Klasifikasi Berdasarkan Nilai Tegangan	6
2.1.2 Klasifikasi berdasarkan Sistem Penyaluran	7
2.1.3 Klasifikasi Berdasarkan Susunan Rangkain.....	8
2.1.4 Gardu Distribusi	11
2.2 Mutu Tegangan.....	14
2.2.1 Jatuh Tegangan.....	15
2.3 Pembebanan Transformator	17

2.4	Rekonfigurasi Jaringan Distribusi.....	18
2.5	Uprating Transformator.....	20
2.6	Analisis Tekno-Ekonomi.....	21
2.6.1	Aspek Teknis.....	23
2.6.2	Aspek Ekonomi.....	23
2.6.3	Integrasi Tekno-ekonomi.....	24
2.7	ETAP.....	24
2.7.1	Standar ETAP.....	25
2.7.2	Langkah Menjalankan Program ETAP.....	26
BAB III METODE PENELITIAN.....		29
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	29
3.2	Alat.....	29
3.3	Teknik Pengumpulan Data.....	31
3.4	Flowchart Penelitian.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		Error! Bookmark not defined.
4.1	Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
4.2	Perhitungan Jatuh Tegangan.....	Error! Bookmark not defined.
4.3	Perencanaan Perbaikan Jatuh Tegangan.....	Error! Bookmark not defined.
4.3.1	Rekonfigurasi Jaringan.....	Error! Bookmark not defined.
4.3.2	Up Rating Transformator.....	Error! Bookmark not defined.
4.4	Analisis Kelayakan Ekonomi.....	Error! Bookmark not defined.
4.4.1	Aspek Biaya Investasi.....	Error! Bookmark not defined.
4.4.2	Aspek Manfaat Teknis.....	Error! Bookmark not defined.
4.4.3	Aspek Manfaat Ekonomi.....	Error! Bookmark not defined.
4.4.4	Perbandingan Biaya dan Manfaat.....	Error! Bookmark not defined.
BAB V PENUTUP.....		36
5.1	Kesimpulan.....	36
5.2	Saran.....	37

DAFTAR PUSTAKA.....	39
LAMPIRAN.....	40



DAFTAR TABEL

- Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Beban Puncak pada Gardu GT. MGT016..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 2 Data Jaringan Gardu Distribusi GT. MGT016 **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Tegangan Pelanggan **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran Menggunakan Software ETAP **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 5 Perbandingan Tegangan Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 6 Pertumbuhan Beban Per Tahun Gardu GT. MGT016 **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 7 Perbandingan Tegangan Sebelum dan Sesudah Up Rating Transformator..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 8 Estimasi Total Biaya Investasi Perencanaan Rekonfigurasi Jaringan **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 9 Estimasi Total Biaya Investasi Metode Up Rating Transformator **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 10 Perhitungan Nilai Sekarang (PV) Proyek Rekonfigurasi Jaringan **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 11 Perhitungan Nilai Sekarang (PV) Proyek Up Rating Transformator **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 12 Perbandingan Biaya dan Manfaat **Error! Bookmark not defined.**



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Penyaluran Sistem Tenaga Listrik ke Komsumen.....	5
Gambar 2. 2 Diagram Sistem Distribusi Tegangan Menengah/ Primer	6
Gambar 2. 3 Jaringan Distribusi Sekunder	7
Gambar 2. 4 Konfigurasi Jaringan Radial.....	9
Gambar 2. 5 Konfigurasi Jaringan Loop.....	10
Gambar 2. 6 Konfigurasi Jaringan Jala (Net).....	10
Gambar 2. 7 Konfigurasi Jaringan Spindle	11
Gambar 3. 1 Spesifikasi Laptop yang digunakan	30
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian.....	35
Gambar 4. 1 Foto Udara Daerah Gontang	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 2 Gardu GT. MGT016.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 3 Lokasi Drop Tegangan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 4 Perencanaan Rekonfigurasi Jaringan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 5 Perbandingan Tegangan Rekonfigurasi Jaringan ...	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 6 Perbandingan Tegangan pada Up Rating Transformator	Error! Bookmark not defined.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Juventri Buntu Payung

NIM : 42124316

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul Analisis Perbandingan Tekno-ekonomi terhadap Perbaikan Mutu Tegangan dengan Metode Rekonfigurasi Jaringan dan Up Rating Transformator merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang saya gunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang telah diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dan dicantumkan dalam skripsi ini

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

dalam skripsi ini

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar,

Juventri Buntu Payung

42123316



**ANALISIS PERBANDINGAN TEKNO-EKONOMI TERHADAP
PERBAIKAN MUTU TEGANGAN DENGAN METODE
REKONFIGURASI JARINGAN DAN UP RATING TRANSFORMATOR
RINGKASAN**

Kemajuan teknologi dan meningkatnya kebutuhan energi listrik menuntut sistem distribusi yang andal dan memiliki mutu tegangan yang baik. Penelitian ini dilakukan di PT PLN (Persero) ULP Mattoanging dengan tujuan untuk menganalisis dan membandingkan efektivitas dua metode perbaikan mutu tegangan, yaitu rekonfigurasi jaringan dan up-rating transformator, baik dari aspek teknis maupun ekonomis. Metode penelitian meliputi pengumpulan data lapangan, pengukuran tegangan dan arus pada gardu distribusi GT. MGT016, serta simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP untuk memodelkan kondisi eksisting dan kondisi setelah penerapan kedua metode. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode rekonfigurasi jaringan mampu meningkatkan tegangan pelanggan dari 202–210 V menjadi 226–228 V, serta menurunkan rugi tegangan dari 8,7–12,2% menjadi 0,9–1,7%. Biaya investasi yang dibutuhkan sekitar Rp 41 juta dengan waktu pengembalian investasi 2,14 tahun. Sementara itu, metode up-rating transformator meningkatkan tegangan menjadi 204–213 V dan menurunkan rugi tegangan menjadi 7,4–11,3%, dengan biaya investasi Rp 395 juta dan tidak akan pernah mencapai titik impas (break-even) dan dinyatakan tidak layak secara ekonomi bila ditinjau dari aspek penghematan energi saja. Berdasarkan hasil tersebut, metode rekonfigurasi jaringan dinilai lebih efisien secara teknis dan ekonomis untuk

peningkatan mutu tegangan dalam jangka pendek, sedangkan up-rating transformator lebih tepat diterapkan untuk pengembangan kapasitas sistem distribusi jangka panjang.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi dan pertumbuhan ekonomi yang pesat menjadikan listrik sebagai kebutuhan utama masyarakat, baik untuk rumah tangga, industri, perdagangan, maupun layanan publik. Peningkatan permintaan energi menuntut sistem kelistrikan yang andal, efisien, dan berkualitas, dengan tantangan utama berupa ketersediaan energi berkelanjutan, efisiensi penyaluran, dan pemerataan distribusi (Ramadhan, 2020).

Dalam sistem distribusi, mutu tegangan menjadi faktor penting penentu keandalan dan kualitas layanan. Tegangan harus stabil, berfrekuensi tetap, dan berbentuk gelombang sinusoidal murni. Penurunan mutu tegangan (voltage drop) umumnya disebabkan oleh ketidakseimbangan beban, panjang saluran, dan keterbatasan kapasitas transformator, yang dapat menurunkan kinerja peralatan serta efisiensi sistem (Pangestu et al., 2023).

Penelitian ini dilakukan pada daerah dengan masalah penurunan tegangan, ditandai keluhan pelanggan seperti lampu redup dan peralatan tidak berfungsi pada malam hari. Hasil pengukuran menunjukkan adanya voltage drop dan beban trafo yang melebihi kapasitas normal, terutama pada pelanggan di ujung jaringan. Kondisi ini diperparah oleh konfigurasi jaringan rumah ke rumah (tapping) yang menambah panjang lintasan arus dan rugi tegangan.

Untuk mengatasi masalah tersebut, digunakan dua metode teknis, yaitu rekonfigurasi jaringan dan up rating transformator. Rekonfigurasi bertujuan

mengoptimalkan aliran daya dan mengurangi rugi-rugi dengan mengubah struktur jaringan, sedangkan up rating meningkatkan kapasitas trafo agar mampu menanggung beban lebih besar. Kedua metode memiliki kelebihan dan kekurangan dari sisi teknis dan ekonomi. Rekonfigurasi lebih hemat biaya namun bergantung pada kondisi jaringan, sedangkan up rating memberikan hasil teknis lebih signifikan tetapi membutuhkan investasi besar (Syukri et al., 2022).

Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan analisis perbandingan tekno-ekonomi antara metode rekonfigurasi jaringan dan up rating transformator dalam upaya memperbaiki mutu tegangan pada sistem distribusi tenaga listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas masing-masing metode dari aspek teknis seperti profil tegangan serta kelayakan dari sisi ekonomi. Dengan demikian, diharapkan dapat diperoleh rekomendasi metode yang paling optimal dan efisien dalam meningkatkan mutu tegangan sesuai dengan kondisi sistem distribusi yang diteliti.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah di atas, dapat diketahui rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana mutu tegangan pada sistem distribusi sebelum dan sesudah diterapkannya metode rekonfigurasi jaringan dan up rating transformator?
2. Bagaimana perbandingan kinerja teknis antara metode rekonfigurasi jaringan dan up rating transformator dalam meningkatkan mutu tegangan?

3. Metode manakah yang lebih layak secara ekonomi antara rekonfigurasi jaringan dan up rating transformator jika ditinjau dari biaya dan manfaat yang dihasilkan.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari Penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis mutu tegangan sebelum dan sesudah penerapan metode rekonfigurasi jaringan dan up rating transformator.
2. Membandingkan kinerja teknis kedua metode dalam meningkatkan mutu tegangan
3. Mengevaluasi kelayakan ekonomi dari kedua metode berdasarkan biaya dan manfaat yang dihasilkan.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dilakukan dengan lebih terarah dan mendalam, penulis menganggap perlu adanya pembatasan terhadap permasalahan yang dikaji.

Adapun Batasan masalah dalam kegiatan ini adalah sebagai berikut:

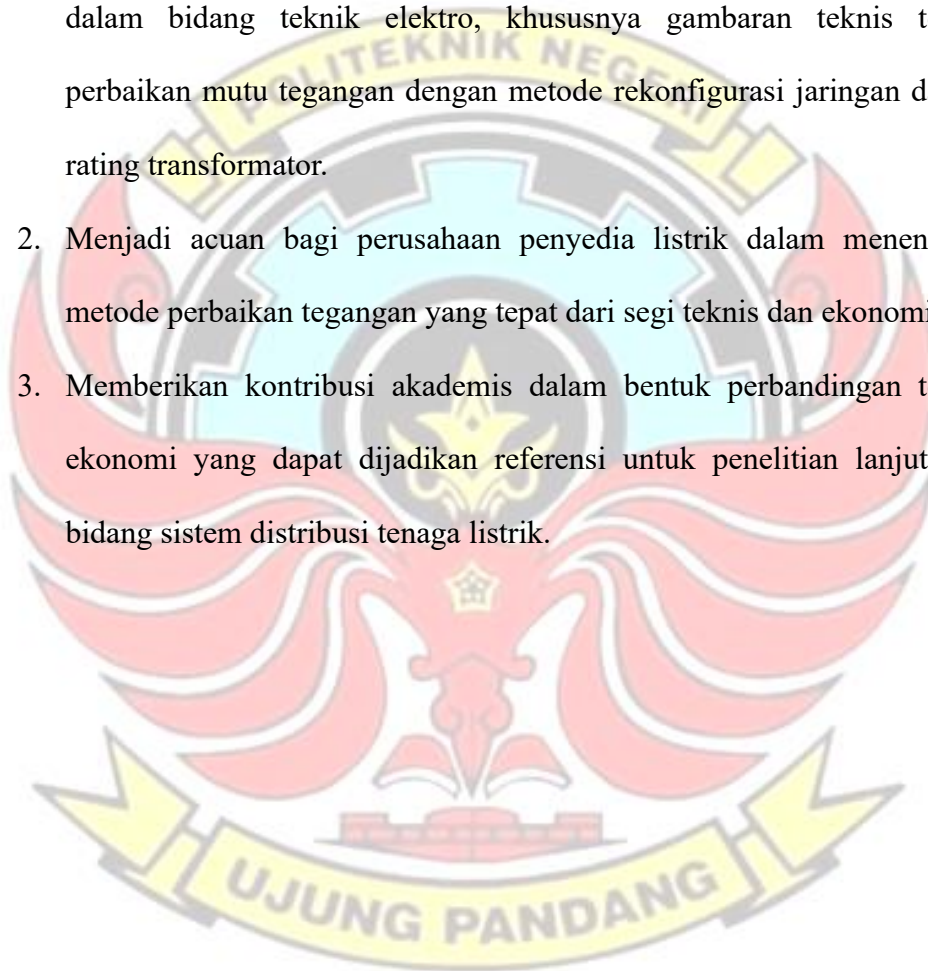
1. Penelitian dibatasi pada sistem distribusi JTR berdasarkan data SLD yang tersedia dengan analisis hanya mencakup dua metode yaitu rekonfigurasi jaringan dan up rating transformator
2. Perhitungan teknis terbatas pada parameter mutu tegangan
3. Aspek ekonomi yang dianalisis hanya mencakup biaya investasi (pembelian, pemasangan, dan pemeliharaan) serta manfaat yang berkaitan langsung dengan peningkatan kualitas tegangan

4. Evaluasi tidak mencakup aspek lingkungan, sosial atau kebijakan regulasi yang berlaku.

1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini, sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat menambah wawasan dan memperkaya referensi dalam bidang teknik elektro, khususnya gambaran teknis terkait perbaikan mutu tegangan dengan metode rekonfigurasi jaringan dan up rating transformator.
2. Menjadi acuan bagi perusahaan penyedia listrik dalam menentukan metode perbaikan tegangan yang tepat dari segi teknis dan ekonomi
3. Memberikan kontribusi akademis dalam bentuk perbandingan tekno-ekonomi yang dapat dijadikan referensi untuk penelitian lanjutan di bidang sistem distribusi tenaga listrik.

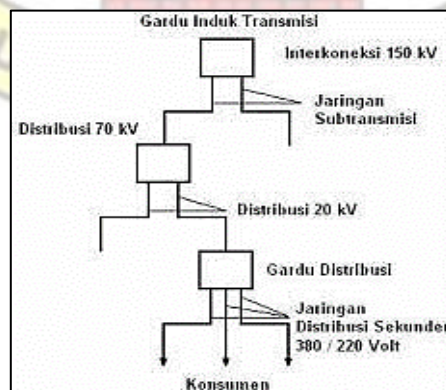


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan salah satu bagian dalam sistem tenaga listrik, yaitu dimulai dari sumber daya atau pembangkit tenaga listrik sampai kepada para konsumen. Pada masa sekarang ini dimana kebutuhan akan tenaga listrik meningkat, maka diperlukan suatu sistem pendistribusian tenaga listrik dari pembangkit sampai kepada para konsumen yang memiliki keandalan yang tinggi.

Terdapat 2 (dua) sistem distribusi yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder. Distribusi primer, penyalurannya dimulai dari gardu induk (sisi sekunder trafo daya) ke gardu distribusi (sisi primer trafo distribusi) atau dari gardu induk langsung ke konsumen tegangan menengah 20 kV dimana tegangan tinggi terlebih dahulu diturunkan menjadi tegangan menengah sebesar 20 kV melalui transformator *step down*. Distribusi sekunder, penyalurannya dimulai dari gardu distribusi (sisi sekunder trafo distribusi) ke konsumen tegangan rendah. Dapat dilihat pada Gambar 2.1 proses penyediaan tenaga listrik bagi para konsumen.



Gambar 2. 1 Penyaluran Sistem Tenaga Listrik ke Komsumen

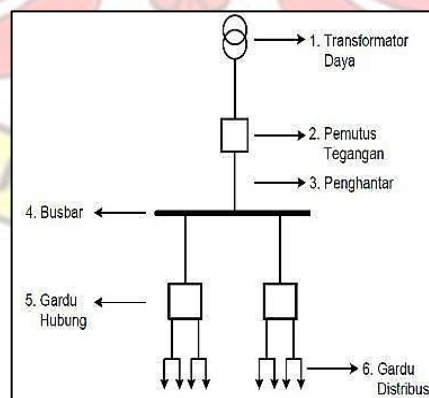
2.1.1 Klasifikasi Berdasarkan Nilai Tegangan

Menurut nilai tegangannya, sistem distribusi dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu:

a. Sistem Distribusi Tegangan Menengah / Primer

Sistem distribusi primer seperti Gambar 2.2 terletak di antara gardu induk dengan gardu pembagi. Sistem ini memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan terpakai untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 6 kV, 10 kV, dan 20 kV (sesuai standar PLN) sedangkan di Amerika Serikat standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 2,4 kV, 4,16 kV, dan 13,8 kV. Saluran distribusi tegangan menengah terbagi menjadi 2 bagian yaitu saluran utama dan saluran cabang.

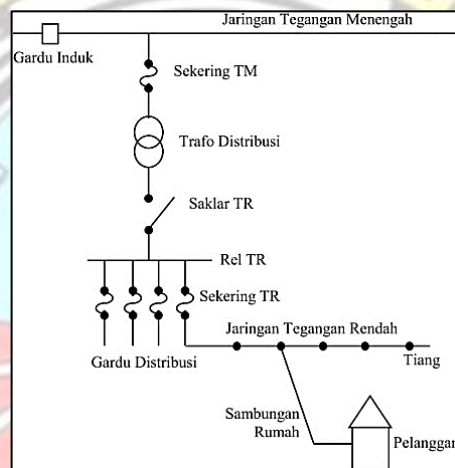
Saluran utama biasa disebut sebagai penyulang utama merupakan bagian dari jaringan distribusi tegangan menengah dengan luas penampang terbesar. Sedangkan saluran cabang merupakan percabangan dari penyulang utama. Saluran cabang memiliki luas penampang saluran yang lebih kecil dari saluran utama.



Gambar 2. 2 Diagram Sistem Distribusi Tegangan Menengah/ Primer

b. Sistem Distribusi Tegangan Rendah/ Sekunder

Sistem distribusi sekunder berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari gardu-gardu pembagi (gardu distribusi) ke pusat-pusat beban (konsumen tenaga listrik). Standar tegangan untuk jaringan distribusi sekunder adalah 127/220 V untuk sistem lama, 220/380 V untuk sistem baru, dan 440/550 V untuk keperluan industri. Adapun bentuk saluran konfigurasi horizontal dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Jaringan Distribusi Sekunder

2.1.2 Klasifikasi berdasarkan Sistem Penyaluran

Berdasarkan sistem penyaluran, jaringan distribusi dapat diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu:

a. Saluran Udara (*Overhead Line*)

Saluran udara atau *overhead line* adalah sistem penyaluran tenaga listrik melalui kawat penghantar yang ditopang pada tiang listrik. Saluran udara dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu:

1. Saluran kawat udara Apabila konduktor saluran telanjang atau tanpa isolasi pembungkus maka disebut dengan saluran kawat udara.

2. Saluran kabel udara, Apabila konduktor saluran udara terbungkus isolasi maka disebut dengan saluran kabel udara.

Penggunaan saluran udara mempunyai beberapa keuntungan, meliputi lebih mudah dalam pemasangan, dapat digunakan untuk penyaluran tenaga listrik di atas 66 kV, lebih fleksibel dan leluasa apabila akan diadakan perluasan beban, serta mudah dalam proses pengatasaan dan pendeteksian bila terjadi gangguan hubung singkat.

b. Saluran Bawah Tanah (*Underground Line*)

Saluran bawah tanah adalah sistem penyaluran tenaga listrik menggunakan kabel tanah (*ground cable*) yang dipasang di dalam tanah. Saluran bawah tanah mempunyai beberapa keuntungan seperti tidak terpengaruh oleh kondisi atmosfer maupun kemungkinan tertimpa pohon, tidak mengganggu pandangan, lebih sempurna dan lebih indah dipandang, mempunyai batas umur pakai dua kali lipat dari saluran udara, tegangan drop lebih rendah dibandingkan saluran udara karena masalah induktansi bisa diabaikan, serta biaya pemeliharaan lebih murah karena tidak perlu adanya pengecatan.

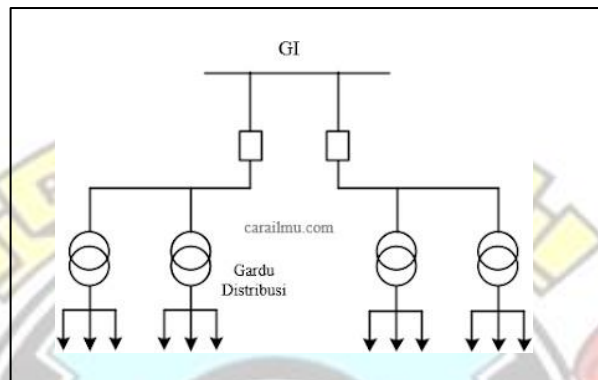
2.1.3 Klasifikasi Berdasarkan Susunan Rangkain

Menurut susunan rangkaiannya, sistem distribusi dapat dibedakan menjadi empat macam yaitu:

a. Jaringan Distribusi Konfigurasi Radial

Bentuk jaringan distribusi radial seperti yang terlihat pada Gambar 2.4 merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang

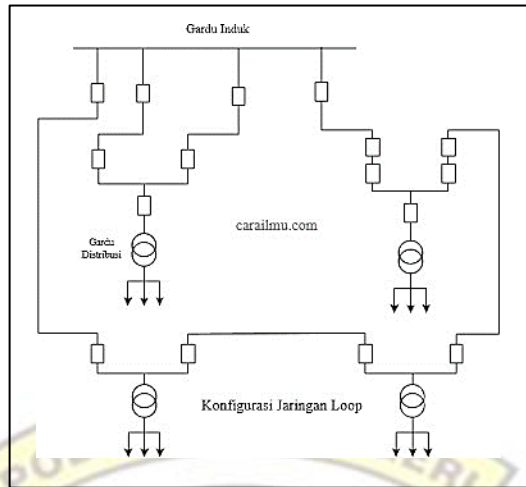
merupakan sumber dari jaringan itu, dan dicabang-cabang ke titik-titik beban yang dilayani. Catu daya berasal dari satu titik sumber. Arus beban yang mengalir sepanjang saluran menjadi tidak sama besar karena terdapat pencabangan-pencabangan ke titik-titik beban pada saluran



Gambar 2. 4 Konfigurasi Jaringan Radial

b. Jaringan Distribusi Ring

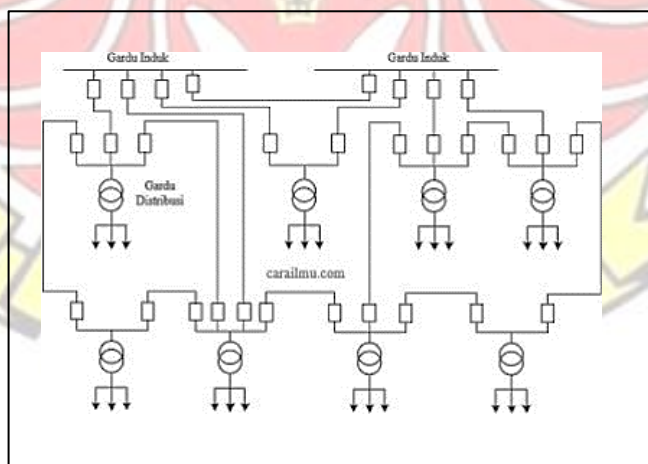
Jaringan distribusi ring atau loop merupakan jaringan distribusi bentuk tertutup. Pada titik beban terdapat dua alternatif saluran berasal lebih dari satu sumber. Susunan rangkaian penyulang membentuk ring sehingga memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah penyulang. Dengan begitu kontinuitas pelayanan menjadi lebih terjamin. Kualitas dayanya pun menjadi lebih baik karena rugi tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil. Adapun bentuk jaringan distribusi seperti terlihat dalam Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Konfigurasi Jaringan Loop

c. Jaringan Distribusi Jala (Net)

Jaringan distribusi jala atau jaring-jaring merupakan gabungan dari beberapa saluran, dimana terdapat lebih satu sumber sehingga berbentuk saluran interkoneksi. Bentuk jaringan distribusi jala seperti terlihat pada Gambar 2.6 ini adalah kombinasi antara bentuk radial dan loop.

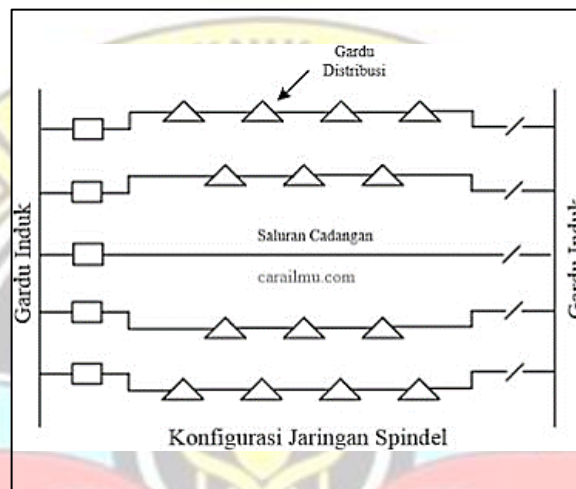


Gambar 2. 6 Konfigurasi Jaringan Jala (Net)

d. Jaringan Distribusi Spindle

Di samping bentuk-bentuk dasar dari jaringan distribusi yang telah

disebutkan sebelumnya, telah dikembangkan pula bentuk-bentuk modifikasi yang bertujuan meningkatkan keandalan dan kualitas sistem. Salah satu bentuk modifikasi yang paling terkenal adalah bentuk spindle. Bentuk jaringan spindle biasanya terdiri atas maksimum 6 penyulang dalam keadaan dibebani, dan satu penyulang dalam keadaan kerja tanpa beban, seperti terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Konfigurasi Jaringan Spindle

2.1.4 Gardu Distribusi

Gardu distribusi merupakan salah satu komponen dari suatu sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk membagikan/mendistribusikan tenaga listrik pada beban/konsumen baik konsumen tegangan menengah maupun konsumen tegangan rendah. Gardu Distribusi merupakan kumpulan/gabungan dari perlengkapan hubung bagi baik tegangan menengah dan tegangan rendah. Jenis perlengkapan hubung bagi tegangan menengah pada gardu distribusi berbeda sesuai dengan jenis konstruksi gardunya. Gardu ini juga bertanggung jawab dalam menjaga kestabilan tegangan serta melindungi sistem dari gangguan listrik. Adapun fungsi gardu distribusi:

1. Menurunkan Tegangan. Gardu distribusi berfungsi menurunkan tegangan listrik dari tegangan menengah (20 kV atau 6,6 kV) menjadi tegangan rendah (220/380 V) agar dapat digunakan oleh pelanggan.
2. Mendistribusikan Listrik ke Konsumen. Setelah tegangan diturunkan, listrik disalurkan ke jaringan tegangan rendah dan akhirnya ke pelanggan rumah tangga, industri, maupun bisnis.
3. Menjaga Kestabilan Tegangan. Gardu distribusi membantu menjaga agar tegangan tetap dalam batas yang aman dan sesuai standar, sehingga peralatan listrik pelanggan dapat bekerja dengan optimal.
4. Melindungi Sistem dari Gangguan. Gardu dilengkapi dengan peralatan pengaman seperti pemutus sirkuit (*circuit breaker*) dan fuse yang berfungsi mencegah kerusakan akibat gangguan listrik seperti arus lebih atau hubung singkat.

Gardu distribusi terdiri dari beberapa jenis berdasarkan konstruksinya, diantaranya sebagai berikut:

a) Gardu Beton

Gardu Beton adalah jenis gardu distribusi yang ditempatkan dalam bangunan berbahan beton untuk melindungi peralatan listrik dari cuaca, gangguan eksternal, dan faktor lingkungan lainnya. Gardu ini digunakan untuk menurunkan tegangan dari jaringan tegangan menengah ke jaringan tegangan rendah sebelum didistribusikan ke pelanggan. Gardu beton umumnya digunakan di kawasan perkotaan, industri, dan area dengan konsumsi daya

tinggi karena lebih aman, tahan lama, serta memiliki sistem proteksi yang lebih baik dibandingkan gardu jenis lainnya.

b) Gardu Portal

Gardu Portal adalah jenis gardu distribusi yang menggunakan struktur rangka baja atau beton berbentuk portal sebagai penyangga peralatan listrik, seperti transformator, pemutus sirkuit, dan isolator. Gardu portal biasanya digunakan di kawasan industri atau daerah dengan kebutuhan daya yang cukup besar, karena memiliki kapasitas beban yang lebih tinggi serta lebih kuat dan tahan terhadap kondisi lingkungan.

c) Gardu Cantol

Gardu Cantol adalah jenis gardu distribusi yang dipasang pada tiang listrik dengan cara menggantung atau mencantolkan peralatan utama seperti transformator, pemutus sirkuit, dan perlengkapan lainnya. Gardu cantol umumnya digunakan di daerah dengan kebutuhan daya kecil hingga menengah, seperti perumahan atau pedesaan, karena lebih praktis, hemat biaya, dan mudah dalam pemasangan serta perawatannya.

d) Gardu Distribusi Mobile

Gardu Distribusi Mobile adalah jenis gardu distribusi yang dirancang dalam bentuk unit bergerak, biasanya dipasang pada trailer atau kendaraan khusus, sehingga dapat dipindahkan sesuai kebutuhan pelanggan, terutama dalam kondisi darurat atau sementara.

2.2 Mutu Tegangan

Tegangan bermutu adalah tegangan listrik yang memenuhi standar kualitas tertentu sehingga dapat digunakan dengan aman dan efisien dalam sistem tenaga listrik serta perangkat elektronik. Mutu tegangan mengacu pada kestabilan, keandalan, dan kesesuaian tegangan dengan spesifikasi yang dibutuhkan oleh peralatan listrik. Perbaikan mutu tegangan adalah upaya untuk menjaga kualitas tegangan listrik agar tetap stabil, sesuai dengan standar yang ditetapkan, dan tidak mengalami gangguan yang dapat merugikan sistem tenaga listrik maupun peralatan listrik pengguna.

Mutu tegangan mengacu pada kualitas tegangan listrik yang diukur berdasarkan beberapa parameter dikemukakan oleh Ariyadi dkk (2023) seperti berikut.

- a) Stabilitas tegangan: Tegangan tidak mengalami fluktuasi yang berlebihan.
- b) Harmonik yang rendah: Tidak ada gangguan sinyal listrik akibat distorsi harmonik.
- c) Faktor daya yang baik: Mendekati 1, yang berarti efisiensi daya tinggi.
- d) Minimnya gangguan (Sags, Swells, Flicker): Tegangan tidak mengalami penurunan (sag) atau lonjakan (swell) secara tiba-tiba.

Mutu tegangan yang buruk dapat disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain:

- a) Beban berlebih: Jika beban listrik terlalu tinggi, tegangan bisa turun.
- b) Jarak jaringan yang Panjang: Semakin jauh jarak antara sumber dan pengguna, semakin besar rugi tegangan.

- c) Gangguan di jaringan: Seperti petir, gangguan mekanis, atau gangguan peralatan.
- d) Penyalaan beban induktif atau kapasitif secara mendadak: Seperti motor listrik atau kapasitor yang besar.

2.2.1 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan adalah penurunan tegangan listrik yang terjadi saat arus listrik mengalir melalui suatu penghantar atau komponen listrik akibat adanya hambatan atau impedansi dalam rangkaian. Jatuh tegangan ini menyebabkan tegangan yang diterima di beban lebih rendah dibandingkan dengan tegangan sumber akibat bertambahnya beban atau konsumen yang tersambung (Ramadhan, 2020). Jika ukuran tegangan listrik dari sumber 380 Volt, kemudian disalurkan oleh kabel penghantar ke berbagai ujung peralatan listrik, sehingga besar tegangan yang didapat peralatan listrik akan rendah (kurang dari 380V).

Menurut Abrar Tanjung (2014:164), terdapat dua komponen yang mempengaruhi terjadinya penurunan tegangan yaitu

- a). $I \times R_s$ yaitu rugi-rugi tegangan yang diakibatkan oleh tahanan saluran
- b). $I \times X_1$ yaitu rugi-rugi tegangan yang diakibatkan oleh reaktansi induktif saluran

Sehingga besarnya jatuh tegangan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta V = I \cdot R \cdot \cos \varphi + I \cdot X \cdot \sin \varphi \quad (1)$$

Untuk menghitung besarnya hambatan (R) digunakan rumus

$$R = \frac{\rho \times l}{A} \quad (2)$$

Keterangan

ΔV : Jatuh tegangan (Volt)

I : Arus yang mengalir (Ampere)

R : Tahanan saluran (Ohm)

X : Reaktansi (Ohm)

ϕ : Sudut dari faktor daya beban

Z : Impedansi saluran

ρ : tahanan jenis penghantar (mm²/m)

Penurunan tegangan maksimum pada beban penuh, yang dibolehkan di beberapa titik pada jaringan distribusi adalah (SPLN 72 :1987):

- a. SUTM = 5 % dari tegangan kerja bagi sistem radial
- b. SKTM = 2 % dari tegangan kerja pada sistem spindel dan gugus.
- c. Trafo distribusi = 3 % dari tegangan kerja
- d. Saluran tegangan rendah = 4 % dari tegangan kerja tergantung kepadatan beban.
- e. Sambungan rumah = 1 % dari tegangan nominal.

Untuk menghitung presentase jatuh tegangan yang terjadi pada jaringan digunakan rumus:

$$\Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

V_s = tegangan pada pangkal pengiriman

V_r = tegangan pada ujung penerimaan

2.3 Pembebanan Transformator

Transformator merupakan sesuatu perlengkapan listrik yang bisa memindahkan serta mengonversikan tenaga listrik dari satu maupun beberapa rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya dengan sesuatu gandengan magnet yang berlandaskan kepada prinsip induksi elektromagnet. Pemanfaatan transformator pada sistem tenaga listrik perlu disesuaikan dengan kebutuhan, baik dalam hal tegangan tinggi, menengah, juga rendah. Daya kerja pada transformator menandakan kapasitas transformator dengan menggunakan persamaan:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (4)$$

Jadi, untuk dapat menghitung nilai persentase pembebanan pada transformator menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\%b = I_{rata-rata} \times IFL \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan:

S : Daya pada transformator (kVA)

V : Tegangan transformator pada sisi sekunder (kV)

I : Arus listrik pada jala-jala (Ampere)

%b : Persentase pembebanan pada trafo (%)

$I_{rata-rata}$: Arus rata-rata pada ketiga fasa (Ampere)

IFL : Arus beban ketika full (Ampere)

Transformator distribusi perlu dilakukan pembagian beban yang merata supaya tidak ada arus pada netral dan tidak menimbulkan rugi-rugi daya (*losses*) sehingga kualitas listrik yang dikirim ke pelanggan menjadi baik. Terjadinya arus

pada netral transformator sangat sulit untuk dihindari. Hal tersebut dikarenakan pertumbuhan penduduk di suatu daerah layanan dan pemakaian beban listrik oleh konsumen yang beragam. Menurut standar Perusahaan Listrik Negara (PLN), pembebanan pada transformator distribusi tidak melebihi dari 80%. Jadi, apabila kondisi pembebanan tinggi maka transformator akan berakibat menjadi kelebihan beban (overload) sehingga dapat mengurangi umur dari transformator dan juga dapat menyebabkan kerusakan akibat panas yang berlebihan.

2.4 Rekonfigurasi Jaringan Distribusi

Rekonfigurasi jaringan distribusi yaitu dengan mengatur ulang konfigurasi jaringan dengan jalan membuka dan menutup switch yang terdapat pada jaringan distribusi untuk mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dan sekaligus meningkatkan profil tegangan sistem distribusi sehingga efisiensi daya listrik yang disalurkan meningkat dan konsumen dapat dilayani dengan baik.

Beberapa metode telah digunakan dalam melakukan rekonfigurasi jaringan. Salah satu metode yang umum digunakan dalam rekonfigurasi jaringan adalah metode Simple Branch Exchange (SBE) (Baran, M.E. & Wu, F.F., 1989), (Fan, J. Y., dkk, 1996) & (Aksan, F.N & Samsurizal, 2021). Metode SBE merupakan metode jenis heuristic. Konsep dari metode ini adalah menentukan rugi-rugi daya dengan mengubah switch off atau switch-on pada sebuah breaker. Pada penelitian ini menggunakan metode simple branch exchange. Metode ini merupakan jenis dari metode heuristic. Rekonfigurasi dilakukan dengan mengubah on atau off switch dan saluran pada setiap konfigurasi sistem daya yang mungkin untuk mendapatkan rugi-

rugi daya yang terkecil. Metode ini merupakan dasar untuk menentukan rugi-rugi daya.

$$P_{loss} = \sum r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \quad (6)$$

Metode ini bertujuan untuk mendapatkan konfigurasi dengan jaringan yang baru berdasarkan rugi-rugi daya yang terkecil. Oleh karena itu kelebihan dari branch exchange untuk mencari solusi optimal cabang untuk menurunkan rugi-rugi daya. Metode ini hanya digunakan pada sistem distribusi dengan topologi jaringan radial

Pada sistem distribusi seringkali terjadi beban yang tidak seimbang pada setiap fasanya (sistem distribusi merupakan sistem tiga fasa) atau terjadi kelebihan beban karena pemakaian alat-alat elektronik dari konsumen energi listrik. Keadaan tersebut jika dibiarkan terus-menerus maka akan menyebabkan terjadinya penurunan keandalan sistem tenaga listrik dan kualitas energi listrik yang disalurkan serta menyebabkan kerusakan alat-alat yang bersangkutan. Untuk itu diperlukan suatu tindakan yang mengurangi pembebanan yang tidak seimbang (unbalanced loading) pada fasa dan kelebihan beban (over loading) pada jaringan distribusi listrik. Selain itu, sistem distribusi radial juga mempunyai rugi-rugi daya yang cukup besar sehingga menyebabkan keandalan sistem menjadi berkurang. Dalam kondisi operasi normal, rekonfigurasi jaringan dilakukan karena dua alasan:

1. Mengurangi rugi-rugi daya pada sistem (*loss reduction*).
2. Mendapatkan pembebanan yang seimbang untuk mencegah pembebanan yang berlebih pada jaringan (*load balancing*).

2.5 Uprating Transformator

Mutu tegangan merupakan salah satu indikator penting dalam menilai kualitas pelayanan tenaga listrik kepada pelanggan. Tegangan yang berada di luar batas standar ($\pm 5\%$ dari tegangan nominal) dapat menimbulkan gangguan pada kinerja peralatan listrik serta mengurangi efisiensi sistem distribusi. Salah satu faktor utama penyebab penurunan tegangan (drop voltage) adalah meningkatnya beban pada jaringan, terutama ketika kapasitas transformator telah mendekati batas kemampuannya. Kondisi ini menyebabkan arus beban yang mengalir semakin besar sehingga menimbulkan rugi tegangan pada penghantar. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terhadap tingkat pembebanan transformator untuk mengetahui sejauh mana transformator bekerja mendekati kapasitas nominalnya. Nilai pembebanan ini dapat dihitung menggunakan rumus persentase pembebanan (% loading) yang menggambarkan perbandingan antara daya beban aktual dengan kapasitas nominal transformator.

$$\% \text{Pembanaan} = \frac{\left(\frac{\text{total arus RST} \times \text{tegangan } F - N}{1000} \right) \times 100}{\text{Kapasitas transformator}} \quad (7)$$

Uprating transformator adalah metode peningkatan kapasitas daya trafo dengan mengganti transformator yang lama (kapasitas kecil) dengan transformator berkapasitas lebih besar. Penambahan kapasitas ini membuat trafo bekerja pada pembebanan yang lebih ringan, sehingga:

- a. Mengurangi arus beban yang melewati penghantar,
- b. Menurunkan rugi-rugi tegangan (voltage drop) di sepanjang jaringan,
- c. Dan meningkatkan kestabilan serta kualitas tegangan pada sisi pelanggan.

Keunggulan Metode Uprating dalam Perbaikan Tegangan

- I. Efisien dan Ekonomis: Uprating hanya membutuhkan penggantian trafo tanpa perlu membangun gardu baru atau menarik jaringan tambahan.
- II. Tidak memerlukan lahan tambahan: Cocok untuk lokasi padat atau perkotaan.
- III. Meningkatkan kualitas pelayanan listrik: Tegangan pelanggan lebih stabil dan sesuai standar SPLN.
- IV. Mengurangi rugi daya dan drop tegangan secara simultan.

Untuk menentukan kapasitas transformator baru agar tegangan tetap stabil, digunakan rumus

$$\text{Rating Trafo Baru (kVA)} = \frac{\text{Beban Aktual (kVA)}}{0.8} \quad (8)$$

Tujuannya agar transformator tidak dibebani lebih dari 80% kapasitasnya, yang berkontribusi terhadap kestabilan tegangan. Dengan menjaga pembebanan di bawah ambang batas tersebut, kinerja transformator menjadi lebih stabil, suhu operasi lebih terkontrol, dan penurunan tegangan (drop voltage) di jaringan distribusi dapat diminimalkan. Hal ini secara langsung berkontribusi pada peningkatan mutu tegangan yang diterima oleh pelanggan.

2.6 Analisis Tekno-Ekonomi

Tekno-ekonomi adalah pendekatan analisis yang menggabungkan dua aspek penting, yaitu aspek teknis dan aspek ekonomi, dalam mengevaluasi suatu sistem, metode, atau proyek. Pendekatan ini digunakan untuk menilai apakah suatu solusi teknis tidak hanya mampu memberikan hasil yang efektif dan andal secara teknis,

tetapi juga efisien dan layak dari sisi biaya. Dengan pendekatan tekno-ekonomi, pengambilan keputusan tidak hanya mempertimbangkan efektivitas teknis, tetapi juga keberlanjutan secara finansial, sehingga solusi yang diambil benar-benar optimal baik dari sisi operasional maupun biaya.

Pendekatan tekno-ekonomi digunakan untuk menilai efektivitas dan kelayakan penerapan metode perbaikan jaringan distribusi dari dua aspek utama, yaitu teknis dan ekonomi. Dari sisi teknis, evaluasi dilakukan dengan menganalisis besarnya penurunan rugi daya (ΔP_{loss}) setelah dilakukan tindakan perbaikan, seperti *uprating* transformator atau rekonfigurasi jaringan. Sedangkan dari sisi ekonomi, dilakukan perhitungan penghematan energi tahunan (E_{hemat}) dan nilai penghematan energi (Rp) untuk mengetahui manfaat finansial yang diperoleh dari peningkatan efisiensi sistem.

Penurunan rugi daya menunjukkan selisih antara rugi daya sebelum dan sesudah penerapan metode perbaikan, yang dapat dihitung dengan rumus:

$$\Delta P_{loss} = P_{beban} \times \frac{(Rugi_{sebelum} - Rugi_{sesudah})}{100} \quad (9)$$

Selanjutnya, besarnya penghematan energi tahunan dihitung dengan mengalikan penurunan rugi daya dengan jumlah jam operasi dalam satu tahun (8.760 jam), sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$E_{hemat} = \Delta P_{loss} \times 8.760 \quad (10)$$

Kemudian, nilai penghematan energi dikonversikan ke dalam satuan rupiah berdasarkan tarif energi listrik yang berlaku, dengan rumus:

$$Rp = E_{hemat} \times Tarif\ Listrik \quad (11)$$

2.6.1 Aspek Teknis

Aspek teknis berfokus pada performa sistem tenaga listrik dari segi operasional dan keandalan. Dalam konteks perbaikan mutu tegangan pada jaringan tegangan rendah, aspek teknis mencakup:

a. Mutu Tegangan (*Voltage Quality*)

Mengacu pada kesesuaian tegangan yang diterima pelanggan dengan batas toleransi standar ($\pm 5\%$ dari tegangan nominal). Evaluasi dilakukan sebelum dan sesudah metode diterapkan (rekonfigurasi atau uprating).

b. Jatuh Tegangan (*Voltage Drop*)

Penurunan tegangan antara titik suplai dan titik beban, dipengaruhi oleh panjang jaringan, arus beban, dan impedansi penghantar. Semakin kecil jatuh tegangan, semakin baik mutu tegangan.

c. Efisiensi Transformator dan Jaringan

Perbandingan antara daya keluar dengan daya masuk. Uprating trafo maupun rekonfigurasi dapat meningkatkan efisiensi sistem distribusi.

d. Keandalan Sistem

Ditinjau dari kontinuitas suplai dan kemudahan pengalihan beban saat terjadi gangguan.

2.6.2 Aspek Ekonomi

Aspek ekonomi menilai kelayakan biaya dari metode yang digunakan untuk meningkatkan mutu tegangan. Komponen analisis ekonomi umumnya meliputi:

a. Biaya Investasi Awal (*Capital Cost*)

Meliputi biaya pengadaan peralatan (trafo baru, panel, konektor),

pemasangan, dan rekayasa jaringan.

b. Biaya Operasi dan Pemeliharaan (O&M)

Estimasi biaya pemeliharaan jangka panjang dan potensi penghematan setelah metode diterapkan.

c. Manfaat Ekonomi (Benefit)

Pengurangan rugi daya listrik yang berkontribusi terhadap efisiensi penyaluran energi dan potensi penghematan biaya energi.

d. Analisis Biaya-Manfaat (Cost-Benefit Analysis)

Perbandingan antara biaya yang dikeluarkan dan manfaat ekonomis yang diperoleh selama umur teknis sistem.

2.6.3 Integrasi Tekno-ekonomi

Pendekatan tekno-ekonomi bertujuan untuk mencari solusi teknis yang layak secara finansial. Dalam hal ini, rekayasa sistem seperti rekonfigurasi jaringan dan uprating transformator dinilai tidak hanya dari kemampuannya dalam memperbaiki tegangan, tetapi juga dari efisiensi biaya yang ditimbulkan.

Kombinasi dua aspek ini menjadi dasar pengambilan keputusan dalam implementasi solusi teknis pada sistem distribusi tegangan rendah, khususnya untuk meningkatkan mutu tegangan secara optimal dan berkelanjutan.

2.7 ETAP

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang

terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan ETAP adalah analisa aliran daya, analisa hubung singkat, arc flash analysis dan analisa kestabilan transien

Dalam menganalisa tenaga listrik, suatu diagram saluran tunggal (single line diagram) merupakan notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam analisa rangkaian. Elemen elektrik seperti misalnya pemutus rangkaian, transformator, kapasitor, busbar maupun konduktor lain dapat ditunjukkan dengan menggunakan simbol yang telah distandardisasi untuk diagram saluran tunggal. Elemen pada diagram tidak mewakili ukuran fisik atau lokasi dari peralatan listrik, tetapi merupakan konvensi umum untuk mengatur diagram dengan urutan kiri-ke kanan yang sama, atas kebawah, sebagai saklar atau peralatan lainnya diwakili.

2.7.1 Standar ETAP

ETAP memiliki 2 macam standar yang digunakan untuk melakukan analisa kelistrikan, IEC dan ANSI. Perbedaan yang terjadi di antara kedua standar tersebut adalah frekuensi yang digunakan, yang berakibat pada perbedaan spesifikasi peralatan yang sesuai dengan frekuensi tersebut. Simbol elemen listrik yang digunakan dalam analisa dengan menggunakan ETAP pun berbeda. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP adalah:

- a. *One Line Diagram*, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- b. *Library*, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
- c. Standar yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode-metode yang dipakai.
- d. *Study Case*, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.

2.7.2 Langkah Menjalankan Program ETAP

Langkah-langkah menjalankan program ETAP dilakukan secara sistematis mulai dari membuka aplikasi hingga melakukan analisis, dengan tujuan agar setiap proses perancangan dan simulasi sistem tenaga listrik dapat berjalan sesuai kebutuhan studi

- a. Mempersiapkan plant

Mempersiapkan plant dalam menjalankan program ETAP berarti melakukan proses awal untuk membangun model sistem tenaga listrik pada software, mulai dari penggambaran diagram satu garis (single line diagram), memasukkan data peralatan seperti generator, transformator, saluran, beban, hingga pengaturan parameter operasi sehingga sistem siap dianalisis sesuai kebutuhan studi

b. Membuat proyek baru

Membuat proyek baru dalam program ETAP adalah langkah awal untuk memulai analisis, yaitu dengan membuat file kerja baru yang berfungsi sebagai wadah penyimpanan seluruh data, konfigurasi sistem, serta hasil simulasi yang akan dilakukan

c. Menggambar ETAP

Menggambar single line diagram dilakukan dengan cara memilih simbol peralatan listrik pada menu bar disebelah kanan layar. Klik pada simbol, kemudian arahkan kursor pada media gambar. Untuk menempatkan peralatan pada media gambar, klik kursor pada media gambar. Untuk mempercepat proses penyusunan single line diagram, semua komponen dapat secara langsung diletakkan pada media gambar. Untuk mengetahui kontinuitas antar komponen dapat dicek dengan Continuity Check pada menu bar utama. Pemakaian Continuity Check dapat diketahui hasilnya dengan melihat warna komponen/branch. Warna hitam berarti telah terhubung, warna abu-abu berarti belum terhubung.

d. Editing data peralatan

Editing data peralatan dalam program ETAP adalah proses mengubah, melengkapi, atau menyesuaikan parameter teknis dari setiap komponen sistem tenaga listrik, seperti generator, transformator, saluran, kabel, dan beban, agar sesuai dengan kondisi aktual maupun kebutuhan analisis

e. Menyimpan file project (*Save Project*)

Menyimpan file project (*Save Project*) dalam program ETAP adalah langkah untuk merekam seluruh data, pengaturan, serta hasil penggambaran sistem yang telah dibuat agar dapat dibuka dan digunakan kembali pada saat analisis berikutnya



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan waktu Penelitian

Kegiatan penelitian dilaksanakan pada PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Mattoanging yang beralamat di Jalan Mongisidi No.2, Maricaya Baru, Kec. Makassar, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90113, pada UP3 Makassar Selatan. ULP Mattoanging bergerak di bidang Pemeliharaan Aset Distribusi dan bertanggung jawab pada kegiatan pemeliharaan 28 Penyulang yang menjadi asuhan. Penelitian ini diperkirakan selesai dalam kurun waktu 6 bulan mulai dari bulan Februari – September 2025.

3.2 Alat

Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data melalui observasi lapangan dan pemanfaatan datasheet statistik yang telah tersedia dari instansi terkait. Dengan metode ini, penelitian tidak memerlukan bahan fisik secara spesifik, karena seluruh informasi yang dibutuhkan diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan dan data dokumentasi yang sudah ada. Alat yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Laptop

Laptop digunakan sebagai perangkat utama untuk mengolah data, menjalankan simulasi, dan menyusun laporan skripsi. Laptop dilengkapi dengan spesifikasi yang memadai, seperti prosesor AMD Ryzen 5, RAM 8 GB, dan sistem operasi Windows 11, sehingga mampu mendukung proses komputasi dan simulasi tanpa hambatan berarti.

Device specifications	
Device name	LAPTOP-UA12L7F6
Processor	AMD Ryzen 5 4600H with Radeon Graphics 3.00 GHz
Installed RAM	8.00 GB (7.42 GB usable)
Device ID	86BAB2AE-8F9F-49C2-AB4B-2B65C6FE676C
Product ID	00356-24572-67820-AAOEM
System type	64-bit operating system, x64-based processor
Pen and touch	No pen or touch input is available for this display

Windows specifications	
Edition	Windows 11 Home Single Language
Version	21H2
Installed on	6/6/2024
OS build	22000.2538
Experience	Windows Feature Experience Pack 1000.22001.1000.0
	Microsoft Services Agreement
	Microsoft Software License Terms

Gambar 3. 1 Spesifikasi Laptop yang digunakan

b. Software ETAP19

ETAP adalah perangkat lunak yang digunakan untuk pemodelan dan analisis sistem tenaga listrik. Dalam penelitian ini, ETAP berfungsi untuk melakukan simulasi aliran daya (*load flow*), analisis profil tegangan, serta membandingkan kinerja sistem pada dua skenario perbaikan mutu tegangan, yaitu metode rekonfigurasi jaringan dan *up rating* transformator. Hasil simulasi ini menjadi dasar dalam melakukan evaluasi teknis dan perhitungan kelayakan ekonomi.

c. Software Google Earth

Software Google Earth digunakan dalam penelitian ini untuk membantu pemodelan denah lokasi penelitian. Google Earth berfungsi dalam menentukan koordinat geografis, memetakan jaringan distribusi listrik, serta memberikan visualisasi kondisi nyata sistem distribusi pada wilayah yang diteliti. Dengan demikian, denah yang diperoleh dapat dijadikan acuan dalam proses analisis

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, metode atau teknik penelitian yang digunakan untuk mengumpulkan data adalah sebagai berikut:

a) Metode Literatur

Kegiatan ini berupa pencarian informasi yang berhubungan dengan skripsi kemudian membentuk konsep yang jelas dan terstruktur seperti mencari referensi dari buku-buku/Pustaka, situs-situs internet dan literatur lain yang berkaitan dengan masalah yang dibahas dalam penulisan skripsi ini.

b) Wawancara

Penulis melakukan wawancara dengan pegawai yang ada di PT. PLN (Persero) ULP Mattoanging. Selain itu, penulis juga melakukan tanya jawab kepada pihak yang memahami atau kompeten mengenai perbaikan mutu tegangan dan metode pecah beban.

c) Observasi

Observasi dilakukan pada lokasi penelitian untuk mengetahui kondisi nyata jaringan distribusi yang akan dianalisis. Data yang dikumpulkan meliputi tata letak jaringan, posisi gardu distribusi, panjang saluran, jenis konduktor, serta

kapasitas transformator yang digunakan. Dalam kegiatan ini, peneliti juga memanfaatkan software Google Earth untuk membantu pemetaan denah jaringan distribusi secara spasial.

d) Simulasi dengan Software

Data yang telah terkumpul kemudian diolah dengan menggunakan software analisis sistem tenaga listrik, yaitu ETAP. Simulasi dilakukan untuk membandingkan kondisi mutu tegangan sebelum dan sesudah dilakukan metode perbaikan, baik melalui rekonfigurasi jaringan maupun up rating transformator.

3.4 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data pada penelitian ini digunakan untuk mengevaluasi hasil simulasi perbaikan mutu tegangan dengan metode rekonfigurasi jaringan dan up rating transformator, baik dari aspek teknis maupun ekonomis. Analisis dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

- a) Tahap awal penelitian ini dimulai dengan pengumpulan referensi, berupa jurnal ilmiah dan contoh skripsi yang diperoleh dari perpustakaan, guna memperkuat landasan teori serta mendukung pembahasan yang berkaitan dengan judul penelitian
- b) Tahap kedua adalah melakukan pengumpulan data di PT. PLN (Persero) ULP Mattoanging, dengan uraian data yang diperlukan adalah:
 1. SLD gardu distribusi GT. MGT016
 2. Data gardu berupa name plate transformator, panjang dan jenis penghantar,

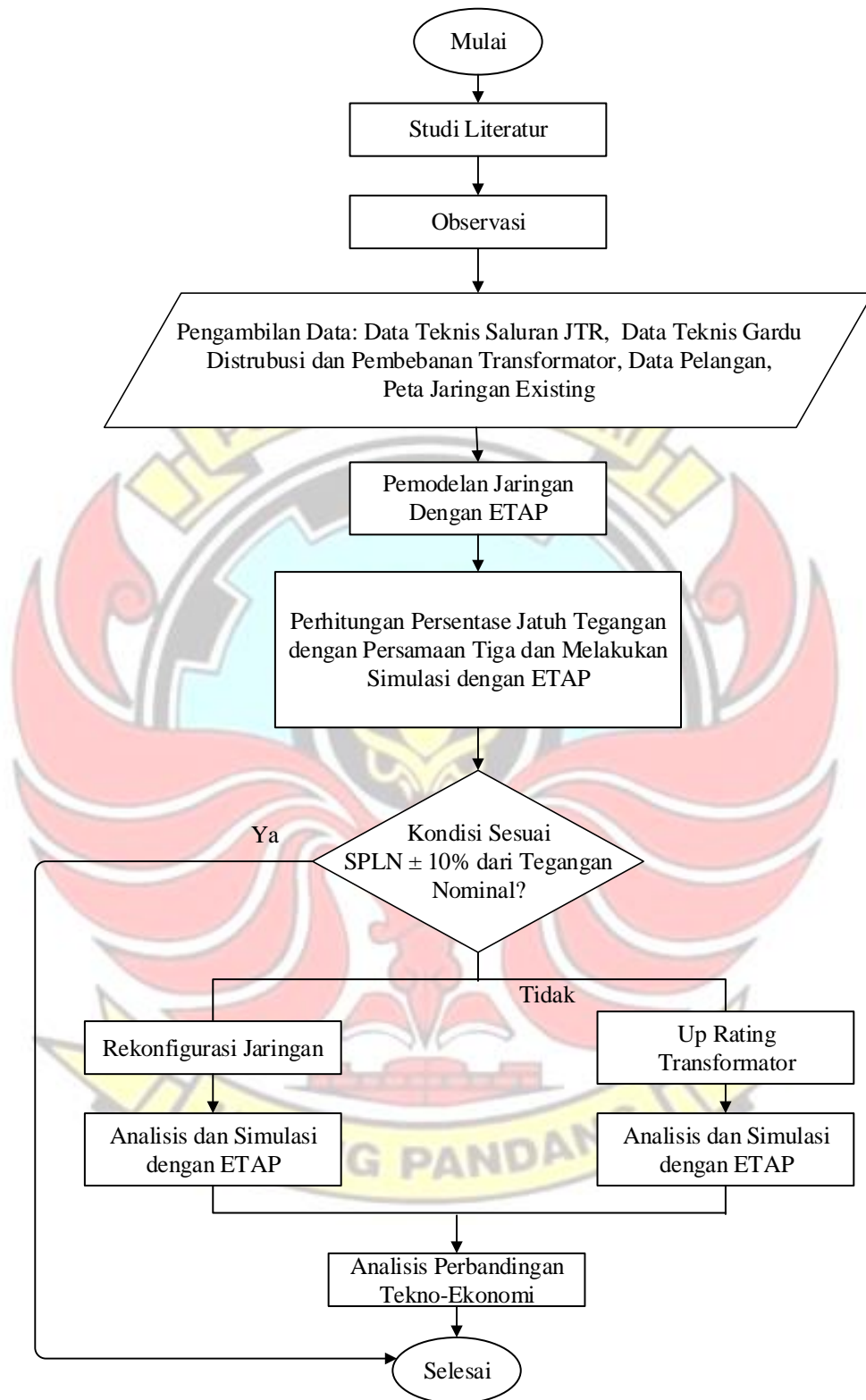
3. Data pengukuran tegangan dan beban transformator untuk melihat kualitas tegangan yang didistribusikan menuju pelanggan.
 4. RAB proyek rekonfigurasi jaringan dan up rating transformator
- c) Tahap ketiga yaitu pengolahan data. Penulis melakukan perencanaan perbaikan jatuh tegangan dengan metode rekonfigurasi jaringan dan up rating transformator kemudian melakukan simulasi menggunakan software ETAP untuk mendapatkan nilai jatuh tegangan dan tingkat pembebanan transformator.
- d) Tahap keempat adalah melakukan analisis terhadap hasil simulasi perbaikan mutu tegangan dengan metode rekonfigurasi jaringan dan *up rating* transformator. Analisis dilakukan dari dua aspek, yaitu:
1. Aspek teknis, mencakup evaluasi mutu tegangan, tingkat pembebanan transformator, serta rugi-rugi daya sebelum dan sesudah penerapan metode.
 2. Aspek ekonomis, mencakup perhitungan biaya investasi, biaya operasi, dari masing-masing metode.
- Hasil dari kedua analisis tersebut kemudian dibandingkan untuk mengetahui metode mana yang lebih efektif dalam meningkatkan mutu tegangan dan lebih layak secara ekonomi.
- e) Tahap terakhir merupakan tahap analisis dan penarikan kesimpulan. Penulis melakukan analisis menyeluruh terhadap hasil perbandingan aspek teknis dan aspek ekonomi pada upaya perbaikan mutu tegangan menggunakan metode rekonfigurasi jaringan dan *up rating* transformator, sehingga dapat diperoleh

kesimpulan yang menggambarkan metode mana yang lebih efektif dan layak diterapkan

3.4 Flowchart Penelitian

Pada penelitian ini, flowchart seperti Gambar 3.2 disusun untuk menggambarkan tahapan pelaksanaan penelitian mulai dari studi literatur dan observasi, pengumpulan data, analisis, hingga penarikan kesimpulan.





Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengumpulan data, simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP, serta analisis perbandingan antara metode rekonfigurasi jaringan dan uprating transformator dalam upaya peningkatan mutu tegangan pada pelanggan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Analisis mutu tegangan sebelum dan sesudah penerapan metode perbaikan menunjukkan bahwa kedua metode mampu meningkatkan profil tegangan pada sisi pelanggan. Pada kondisi eksisting, tegangan pelanggan berada pada kisaran 202–210 V dengan rugi tegangan mencapai 6,3%. Setelah dilakukan penerapan metode rekonfigurasi jaringan, tegangan meningkat menjadi 226–228 V dengan penurunan rugi tegangan menjadi 4,1%. Sedangkan dengan metode uprating transformator, tegangan pelanggan meningkat menjadi 204–213 V dengan rugi tegangan menurun menjadi 5,0%. Hasil ini menunjukkan bahwa mutu tegangan setelah penerapan kedua metode telah mendekati standar tegangan pelayanan PLN.
2. Perbandingan kinerja teknis antara kedua metode menunjukkan bahwa rekonfigurasi jaringan memberikan hasil yang lebih baik dalam menurunkan rugi tegangan. Hal ini disebabkan oleh penataan ulang konfigurasi sistem distribusi yang memperpendek lintasan arus, menurunkan impedansi saluran, serta menyeimbangkan beban antar-fasa. Sementara itu, metode uprating transformator memberikan manfaat utama pada peningkatan kapasitas daya

transformator dan pengurangan beban lebih (overload) pada kondisi operasi trafo eksisting.

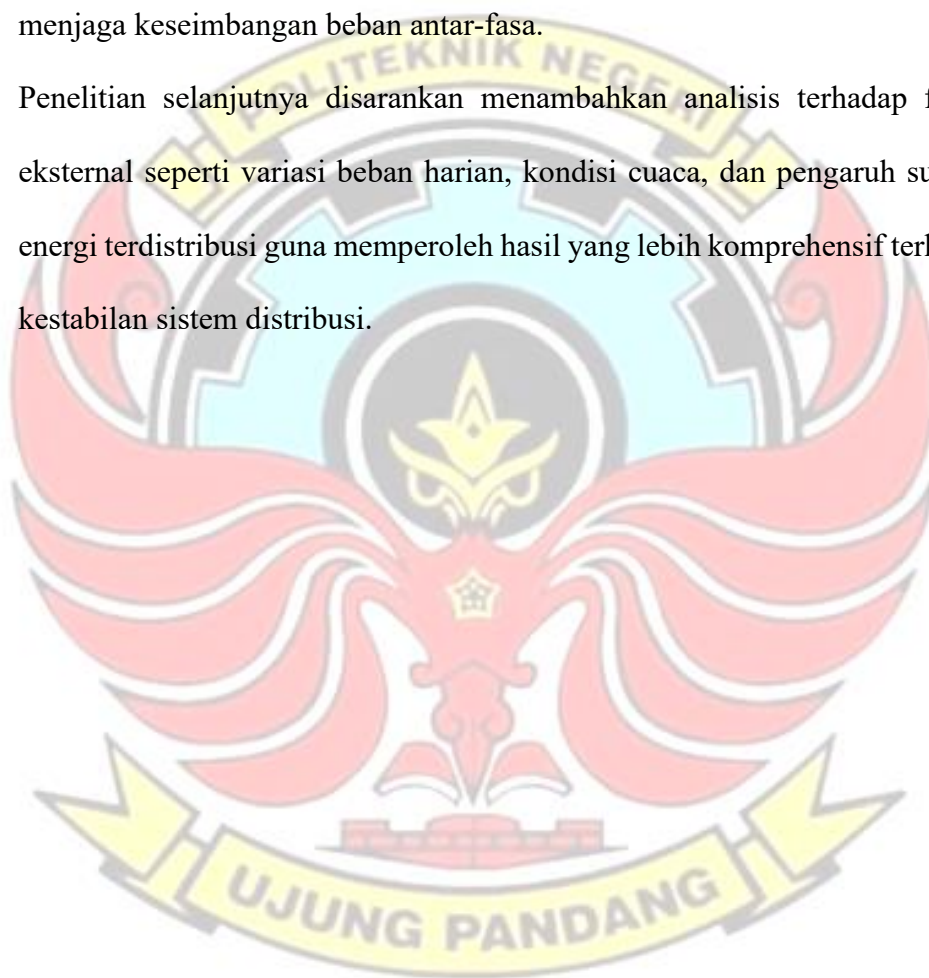
3. Rekonfigurasi mampu meningkatkan tegangan dari 202–210 V menjadi 226–228 V dan menurunkan rugi tegangan dari 8,7–12,2% menjadi 0,9–1,7%, dengan biaya investasi sekitar Rp 41 juta dan penghematan energi ± 16.000 kWh/tahun (Rp 22 juta), menghasilkan payback period sekitar 2,14 tahun. Sebaliknya, up-rating transformator hanya meningkatkan tegangan menjadi 204–213 V dengan penurunan rugi tegangan hingga 7,4–11,3%, membutuhkan investasi Rp 395 juta dengan penghematan energi ± 1.900 kWh/tahun (Rp 2,7 juta) dan payback period yang tidak tercapai bahkan setelah 20 tahun beroperasi atau tidak akan pernah mencapai titik impas (break-even) dan dinyatakan tidak layak secara ekonomi bila ditinjau dari aspek penghematan energi saja. Dengan demikian, rekonfigurasi jaringan lebih efisien untuk peningkatan mutu tegangan dan kelayakan biaya, sedangkan up-rating transformator lebih sesuai untuk peningkatan kapasitas jangka panjang.

5.2 Saran

Penulis menyadari bahwa dalam perancangan skripsi ini terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan agar hasil dari penelitian ini dapat diperbaiki dan dikembangkan melalui saran-saran berikut:

- a. Prioritaskan metode rekonfigurasi jaringan sebagai langkah awal perbaikan mutu tegangan karena terbukti lebih efektif dan efisien, dengan biaya investasi yang lebih rendah dibandingkan uprating transformator.

- b. Metode uprating transformator sebaiknya diterapkan jika kapasitas trafo sudah mendekati batas beban atau terjadi pertumbuhan beban yang tinggi, agar keandalan sistem dan kemampuan pelayanan tetap terjaga.
- c. Evaluasi dan pemantauan rutin terhadap profil tegangan dan arus beban di setiap gardu perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya overload serta menjaga keseimbangan beban antar-fasa.
- d. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan analisis terhadap faktor eksternal seperti variasi beban harian, kondisi cuaca, dan pengaruh sumber energi terdistribusi guna memperoleh hasil yang lebih komprehensif terhadap kestabilan sistem distribusi.

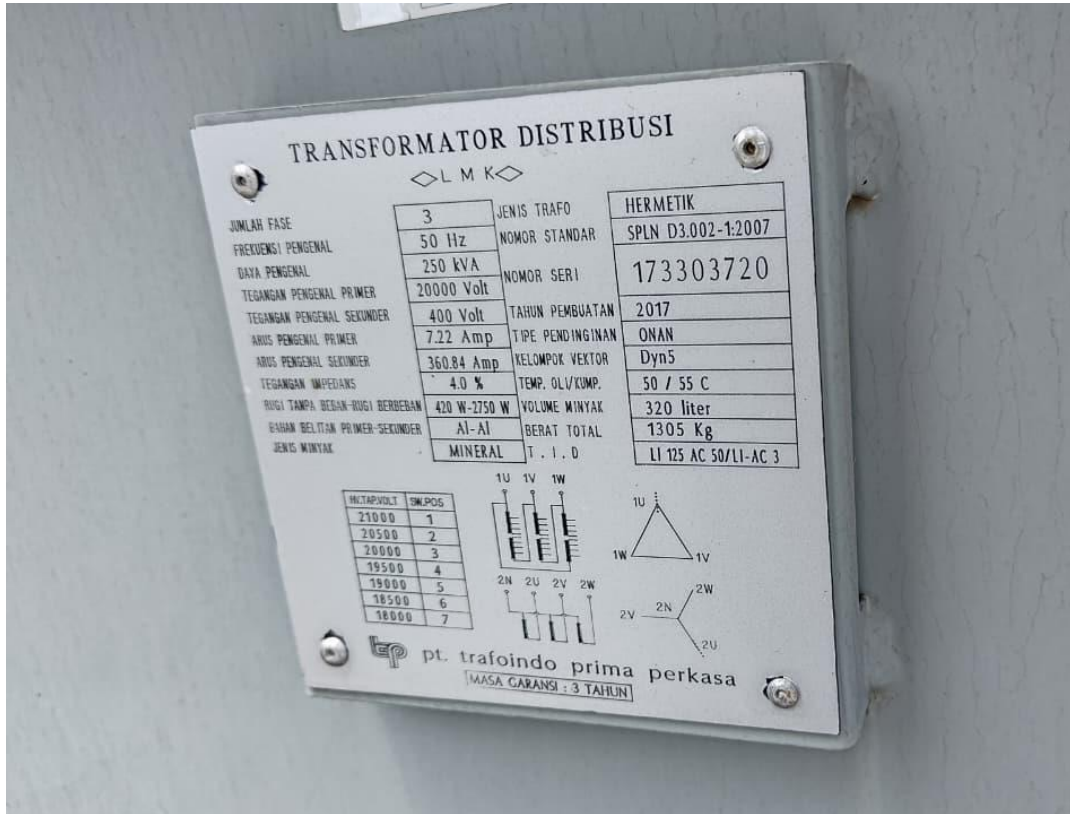


DAFTAR PUSTAKA

- Ajiatmo, D., & Dwijayani, H. (2020). Analisis Perencanaan Investasi Jaringan Tenaga Listrik. *Jurnal Intake: Jurnal Penelitian Ilmu Teknik dan Terapan*, 1(2), 51-56.
- Aksan, F. N. (2021). Studi Rekonfigurasi Sistem Distribusi Pada Jaringan 20 kV Dengan Metode Simple Branch Exchange Pada Penyulang Cempaka. *EPSILON: Journal of Electrical Engineering and Information Technology*, 19(2), 45-52.
- Fradana, M. A., Daratha, N., & Herawati, A. Rekonfigurasi Jaringan Pada Sistem Jaringan Tegangan Rendah (JTR) Universitas Bengkulu Kandang Limun.
- Pangestu, A. B., Putri, R. D. M., Hudallah, N., & Andrasto, T. (2023). ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI JARINGAN SUTM DI PT. PLN (PERSERO) UP3 YOGYAKARTA. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 14(1), 107-126.
- Ramadhan, M. G. (2020). LKP Pemeliharaan Jaringan Distribusi 20 KV pada Jaringan Udara di PT PLN (Persero) ULP Medan Johor.
- Sahidanto, M. H. S., Wafiq, B., Zain, H. A., Nurulita, F. A., & Putri, T. E. (2023). Analisis Metode Sisip Trafo Satu Fasa dan Rekonfigurasi Jaringan dalam Mengatasi Trafo Overload pada Gardu SCG08-0066 PT PLN (Persero) ULP Magelang Kota. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*, 4(2).
- PLN (Persero). (2010). *SPLN Buku 2:2010 – Standar konstruksi sambungan tenaga listrik*. Jakarta: PT PLN (Persero).
- PLN (Persero). (2014). *SPLN 17-2014: Standar pembebanan transformator distribusi*. Jakarta: PT PLN (Persero).
- Syukri, S., Asyadi, T. M., Muliadi, M., & Moesnadi, F. (2022). Analisa Pembebanan Transformator Distribusi 20 kV Pada Penyulang LS5 Gardu LSA 249. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(2), 202-206.
- Yasa, I. W. S., Pacane, I., & Suriana, I. (2023). Mengatasi overload pada transformator gardu distribusi dengan metode uprating. *Kajian Teknik Elektro*, 8(2), 82-91.

LAMPIRAN

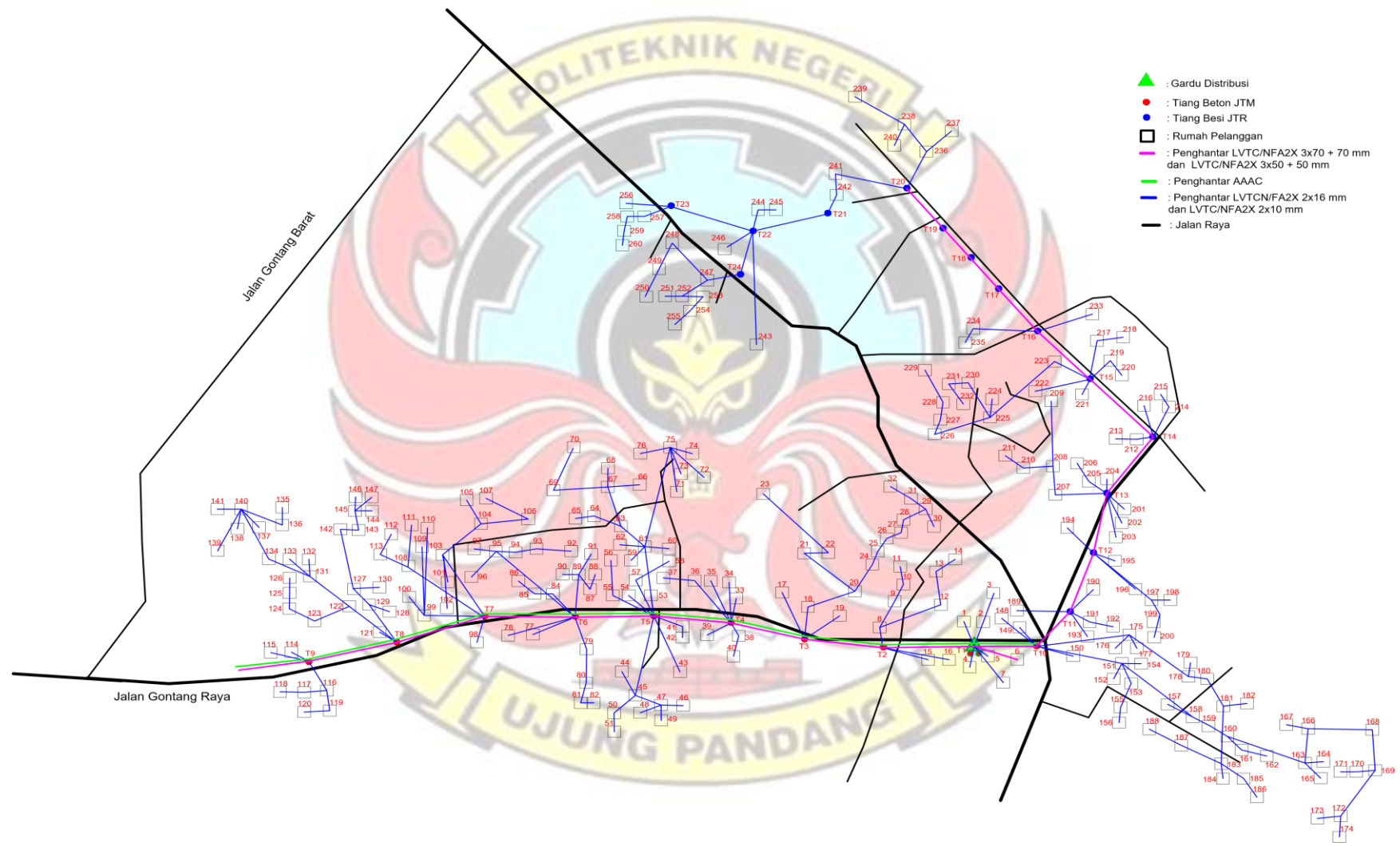
Lampiran 1 Nameplate Trafo pada Gardu GT MGT016



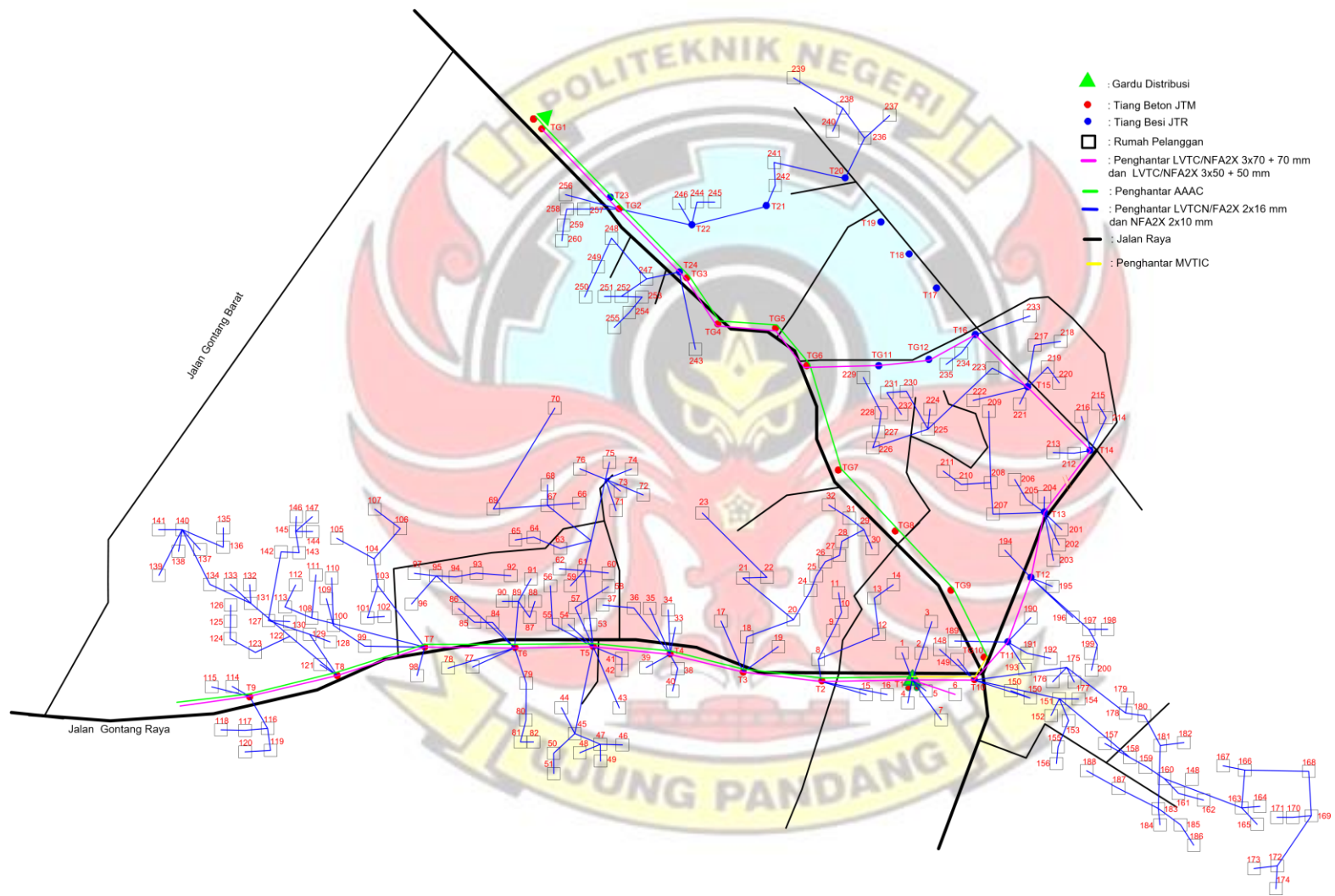
Lampiran 2 Tabel Pengukuran Beban Malam Gardu GT MGT016

KODE GARDU	ALAMAT / LOKASI / NOMOR-SERI	DATA TRAFO					DATA PENGUKURAN	JAM	ARUS (amper)				TEGANGAN (volt)			BEBAN (kVA)			PERSEN %
		KAPASITAS		TEGANGAN					R	S	T	N	PHB F-N	PHB F-F	UJUNG F-N	R	S	T	
		1 F kVA	3 F kVA	Primer / Sekunder	Operasi	Tap Operasi													
GT. MGT016	JL. GONTANG RAYA UJUNG JARING DALAM HALAMAN		250	20/220	B2	5/1	10 Oktober 2024	21:52	341	320	336	110	223	395	220	91.25	85.63	89.91	88.93
	UJUNG JARING SEBELUM MASJID								146	130	193				221				
	173303720								195	190	143				220				
									0	0	0				222				

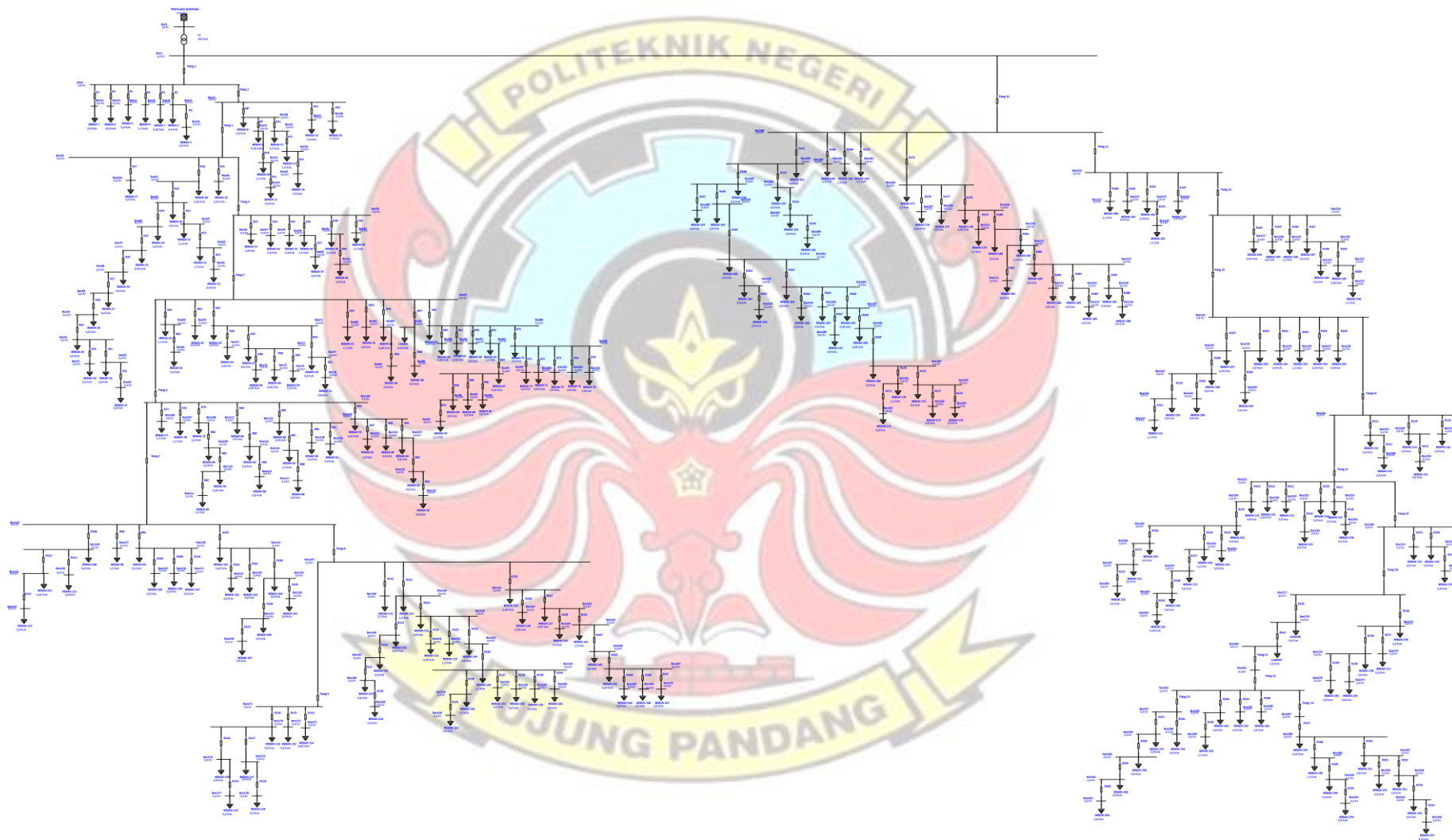
Lampiran 3 Jaringan Eksisting GT MGT016



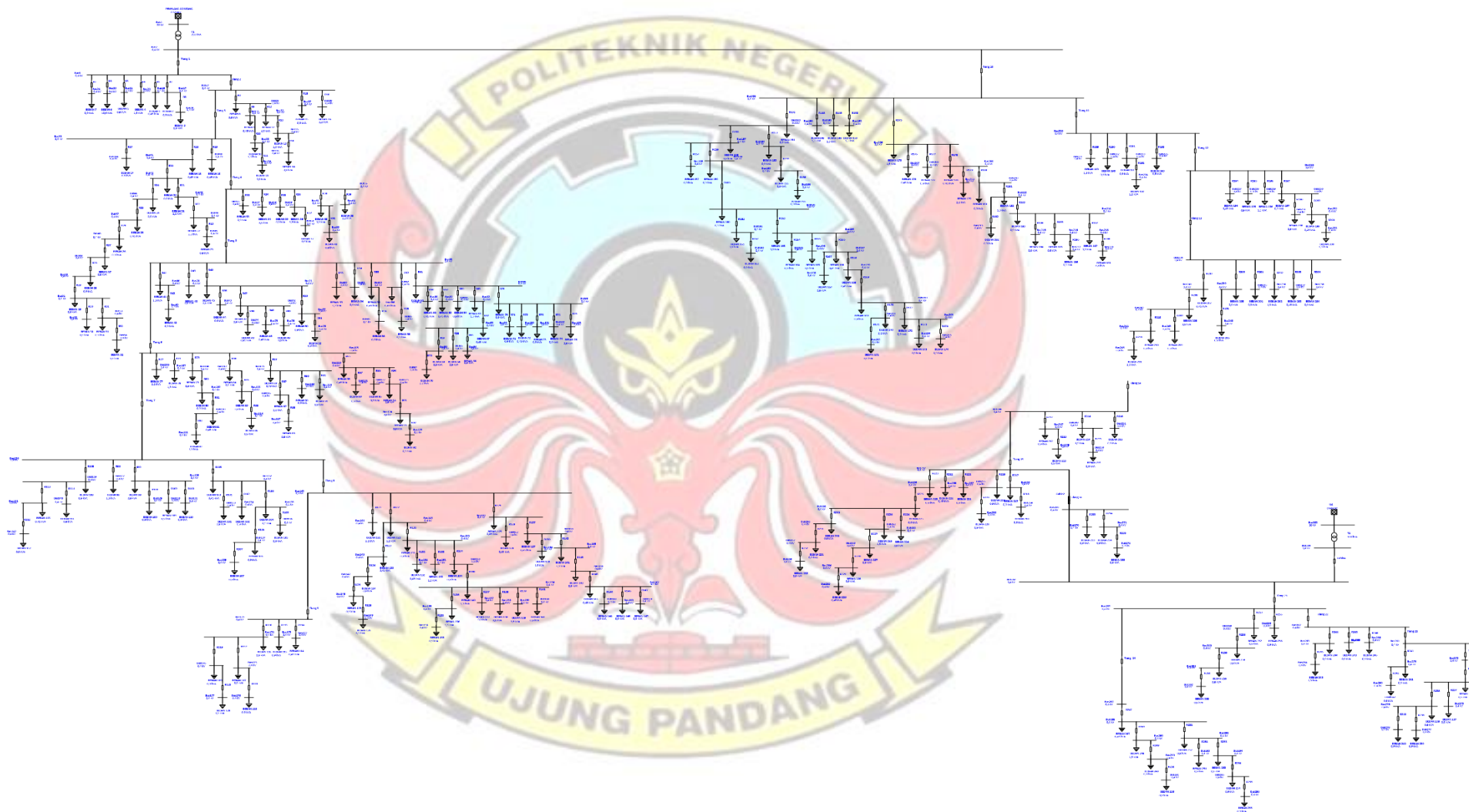
Lampiran 4 Perencanaan Rekonfigurasi Jaringan



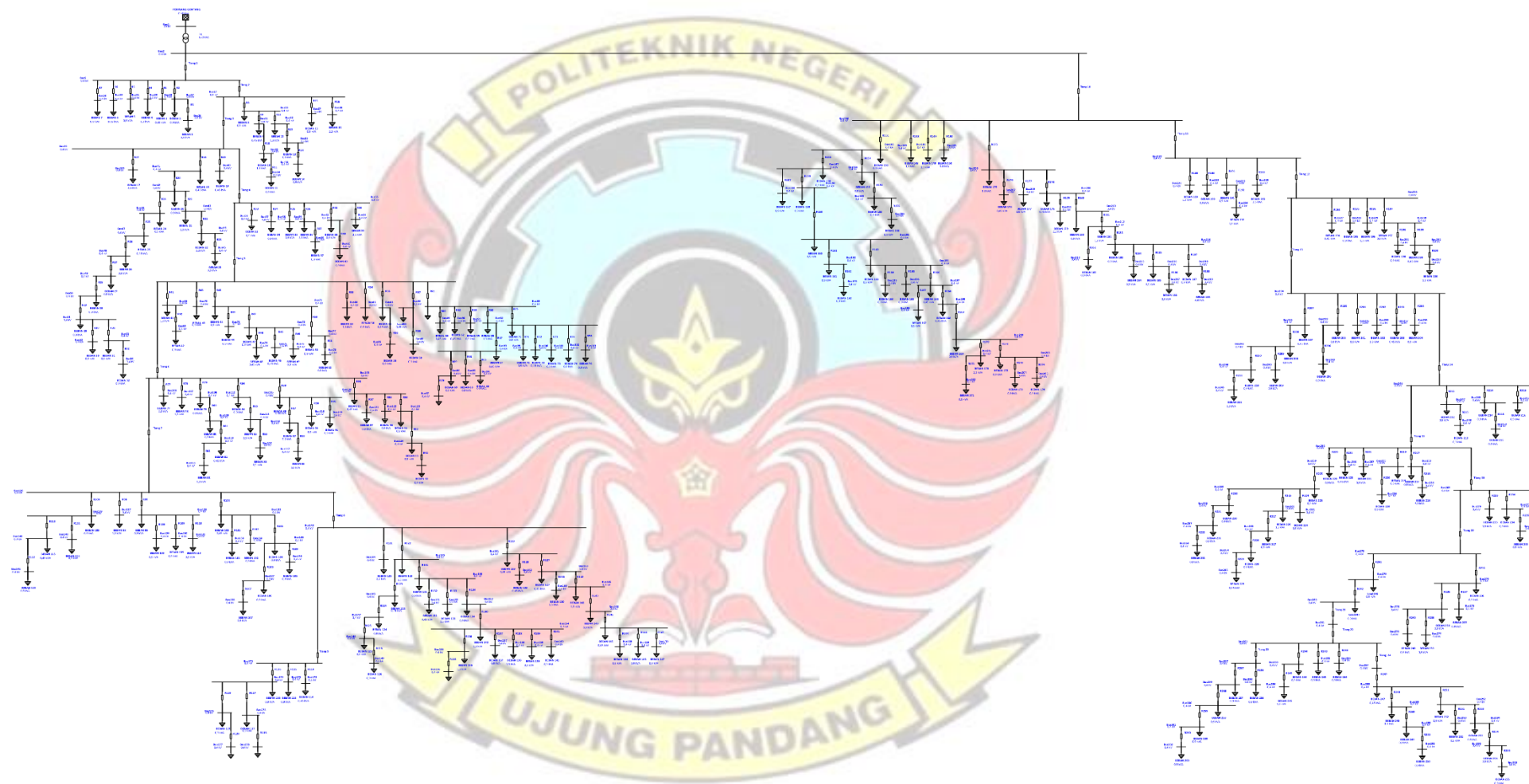
Lampiran 5 Pemodelan Jaringan Eksisting GT MGT016 pada ETAP



Lampiran 6 Pemodelan Jaringan Eksisting Metode Rekonfigurasi Jaringan pada ETAP



Lampiran 7 Pemodelan Jaringan Eksisting Metode Up Rating Transformator pada ETAP



Lampiran 8 Tabel Data Pelanggan Gardu GT MGT016

Tiang	Jenis Tiang	Kode Rumah	Daya (VA)
1	Beton (portal)	1	450
		2	900
		3	900
		4	1300
		5	900
		6	10600
		7	900
2	Beton	8	900
		9	450
		10	1300
		11	900
		12	1300
		13	1300
		14	900
		15	900
		16	2200
3	Beton	17	4400
		18	450
		19	450
		20	900
		21	2200
		22	2200
		23	900
		24	900
		25	450
		26	900
		27	900
		28	900
		29	900
		30	900
		31	900
		32	900
4	Beton	33	900
		34	900
		35	900
		36	3500

		37	900
		38	450
		39	2200
		40	900
		41	1300
		42	900
		43	900
		44	900
		45	1300
		46	450
		47	450
		48	450
		49	900
		50	900
		51	900
		52	5500
		53	1300
		54	900
		55	450
		56	900
		57	450
5	Beton	58	900
		59	900
		60	450
		61	900
		62	450
		63	1300
		64	1300
		65	1300
		66	900
		67	450
		68	900
		69	900
		70	2200
		71	900
		72	450
		73	900
		74	900
		75	900

		76	900
6	Beton	77	2200
		78	1300
		79	900
		80	900
		81	450
		82	1300
		84	900
		85	900
		86	900
		87	2200
		88	900
		89	450
		90	900
		91	900
		92	900
		93	900
		94	900
		95	450
96	900		
97	900		
7	Beton	98	1300
		99	900
		100	900
		101	900
		102	900
		103	450
		104	900
		105	900
		106	900
		107	900
		108	900
		109	900
		110	900
		111	900
		112	900
		113	450
9	Beton	114	450
		115	900

		116	900
		117	900
		118	900
		119	900
		120	900
8	Beton	121	2200
		122	1300
		123	450
		124	900
		125	900
		126	900
		127	450
		128	450
		129	450
		130	1300
		131	900
		132	450
		133	1300
		134	900
		135	900
		136	1300
		137	900
		138	900
		139	3500
		140	1300
141	900		
142	1300		
143	900		
144	900		
145	450		
146	900		
147	900		
10	Beton	148	1300
		149	1300
		150	1300
		151	900
		152	900
		153	450
		154	900

		155	900
		156	900
		157	900
		158	900
		159	450
		160	900
		161	900
		162	900
		163	450
		164	900
		165	900
		166	450
		167	900
		168	450
		169	900
		170	2200
		171	900
		172	900
		173	900
		174	900
		175	1300
		176	450
		177	900
		178	450
		179	2200
		180	900
		181	1300
		182	900
		183	900
		184	450
		185	900
		186	900
		187	900
		188	4400
11	Besi	189	1300
		190	900
		191	900
		192	1300
		193	3500

12	Besi	194	450
		195	900
		196	1300
		197	900
		198	900
		199	450
		200	1300
13	Besi	201	900
		202	1300
		203	450
		204	900
		205	900
		206	900
		207	450
		208	900
		209	900
		210	900
		211	1300
14	Besi	212	900
		213	450
		214	900
		215	900
		216	900
15	Besi	217	900
		218	5500
		219	900
		220	900
		221	900
		222	450
		223	900
		224	900
		225	900
		226	1300
		227	900
		228	900
		229	450
		230	900
		231	900
		232	900

16	Besi	233	900
		234	900
		235	900
20	Besi	236	900
		237	900
		238	900
		239	900
		240	900
		241	900
		242	900
22	Besi	243	900
		244	900
		245	1300
24	Besi	246	900
		247	450
		248	1300
		249	900
		250	900
		251	900
		252	900
		253	900
		254	900
		255	900
23	Besi	256	900
		257	900
		258	900
		259	1300
		260	900

Lampiran 9 Tabel Data Penghantar Jaringan GT MGT016

Kode		Panjang Penghantar	Jenis Penghantar
Dari	Menuju		
GT.MGT016 / T1	T2	45	LVTC/NFA2X 3X70
T2	T3	52	LVTC/NFA2X 3X70
T3	T4	36	LVTC/NFA2X 3X70
T4	T5	40	LVTC/NFA2X 3X70
T5	T6	40	LVTC/NFA2X 3X70
T6	T7	52	LVTC/NFA2X 3X70
T7	T8	44	LVTC/NFA2X 3X70
T8	T9	45	LVTC/NFA2X 3X70
GT.MGT016 / T1	T10	36	LVTC/NFA2X 3X70
T10	T11	42	LVTC/NFA2X 3X50
T11	T12	36	LVTC/NFA2X 3X50
T12	T13	36	LVTC/NFA2X 3X50
T13	T14	37	LVTC/NFA2X 3X50
T14	T15	39	LVTC/NFA2X 3X50
T15	T16	50	LVTC/NFA2X 3X50
T16	T20	132	LVTC/NFA2X 3X50
T20	T21	56	LVTC/NFA2X 2X16
T21	T22	42	LVTC/NFA2X 2X16
T22	T23	36	LVTC/NFA2X 2X16
T22	T24	26	LVTC/NFA2X 2X16
T1	1	10	LVTC/NFA2X 2X16
T1	2	12	LVTC/NFA2X 2X10
2	3	30	LVTC/NFA2X 2X16
T1	4	12	LVTC/NFA2X 2X10
T1	5	8	LVTC/NFA2X 2X10
T1	6	21	LVTC/NFA2X 2X10
T1	7	20	LVTC/NFA2X 2X16
T2	8	21	LVTC/NFA2X 2X16
8	9	32	LVTC/NFA2X 2X16
9	10	9	LVTC/NFA2X 2X10
10	11	19	LVTC/NFA2X 2X10
8	12	28	LVTC/NFA2X 2X16
12	13	25	LVTC/NFA2X 2X10
13	14	13	LVTC/NFA2X 2X10
T2	15	13	LVTC/NFA2X 2X16
T2	16	23	LVTC/NFA2X 2X16

T3	17	32	LVTC/NFA2X 2X16
T3	18	18	LVTC/NFA2X 2X16
T3	19	17	LVTC/NFA2X 2X16
18	20	23	LVTC/NFA2X 2X16
20	21	50	LVTC/NFA2X 2X16
21	22	15	LVTC/NFA2X 2X10
22	23	25	LVTC/NFA2X 2X10
20	24	21	LVTC/NFA2X 2X16
24	25	13	LVTC/NFA2X 2X10
25	26	8	LVTC/NFA2X 2X10
27	28	14	LVTC/NFA2X 2X10
28	29	17	LVTC/NFA2X 2X10
29	30	10	LVTC/NFA2X 2X10
29	31	21	LVTC/NFA2X 2X10
31	32	16	LVTC/NFA2X 2X10
T4	33	27	LVTC/NFA2X 2X16
T4	34	34	LVTC/NFA2X 2X16
T4	35	15	LVTC/NFA2X 2X10
T4	36	28	LVTC/NFA2X 2X16
36	37	24	LVTC/NFA2X 2X16
T4	38	16	LVTC/NFA2X 2X16
38	40	25	LVTC/NFA2X 2X10
T4	39	17	LVTC/NFA2X 2X10
T5	41	25	LVTC/NFA2X 2X16
41	42	34	LVTC/NFA2X 2X16
T5	43	61	LVTC/NFA2X 2X16
T5	45	55	LVTC/NFA2X 2X16
45	44	15	LVTC/NFA2X 2X10
45	47	11	LVTC/NFA2X 2X16
47	46	36	LVTC/NFA2X 2X16
47	48	21	LVTC/NFA2X 2X10
47	49	15	LVTC/NFA2X 2X10
45	50	18	LVTC/NFA2X 2X10
50	51	17	LVTC/NFA2X 2X10
T5	53	18	LVTC/NFA2X 2X10
T5	54	22	LVTC/NFA2X 2X16
T5	55	26	LVTC/NFA2X 2X16
55	56	13	LVTC/NFA2X 2X10
T5	57	45	LVTC/NFA2X 2X16

57	58	18	LVTC/NFA2X 2X10
T5	61	56	LVTC/NFA2X 2X16
61	60	17	LVTC/NFA2X 2X10
61	59	13	LVTC/NFA2X 2X10
61	62	24	LVTC/NFA2X 2X10
61	63	35	LVTC/NFA2X 2X16
63	64	16	LVTC/NFA2X 2X10
64	65	11	LVTC/NFA2X 2X10
63	67	18	LVTC/NFA2X 2X16
67	66	23	LVTC/NFA2X 2X10
67	68	12	LVTC/NFA2X 2X10
67	69	15	LVTC/NFA2X 2X10
69	70	20	LVTC/NFA2X 2X10
61	75	48	LVTC/NFA2X 2X16
75	74	9	LVTC/NFA2X 2X10
75	76	27	LVTC/NFA2X 2X10
75	72	20	LVTC/NFA2X 2X10
75	73	22	LVTC/NFA2X 2X10
75	71	29	LVTC/NFA2X 2X10
T6	77	16	LVTC/NFA2X 2X10
T6	78	31	LVTC/NFA2X 2X16
T6	79	16	LVTC/NFA2X 2X16
79	80	22	LVTC/NFA2X 2X10
80	81	12	LVTC/NFA2X 2X10
81	82	18	LVTC/NFA2X 2X10
T6	84	52	LVTC/NFA2X 2X16
84	85	10	LVTC/NFA2X 2X10
85	86	14	LVTC/NFA2X 2X10
T6	95	70	LVTC/NFA2X 2X16
95	97	13	LVTC/NFA2X 2X10
95	96	25	LVTC/NFA2X 2X10
95	94	11	LVTC/NFA2X 2X10
94	93	12	LVTC/NFA2X 2X10
93	92	20	LVTC/NFA2X 2X10
T6	89	54	LVTC/NFA2X 2X16
89	90	10	LVTC/NFA2X 2X10
89	87	14	LVTC/NFA2X 2X10
87	88	18	LVTC/NFA2X 2X10
89	91	21	LVTC/NFA2X 2X10

T7	98	6	LVTC/NFA2X 2X10
T7	99	57	LVTC/NFA2X 2X16
99	100	9	LVTC/NFA2X 2X10
100	109	9	LVTC/NFA2X 2X10
100	110	16	LVTC/NFA2X 2X10
T7	103	67	LVTC/NFA2X 2X16
103	101	15	LVTC/NFA2X 2X10
101	102	12	LVTC/NFA2X 2X10
103	104	36	LVTC/NFA2X 2X16
104	105	14	LVTC/NFA2X 2X10
104	106	15	LVTC/NFA2X 2X10
106	107	22	LVTC/NFA2X 2X10
T7	108	68	LVTC/NFA2X 2X16
108	113	16	LVTC/NFA2X 2X10
113	112	40	LVTC/NFA2X 2X10
108	111	38	LVTC/NFA2X 2X10
T8	121	6	LVTC/NFA2X 2X10
T8	129	40	LVTC/NFA2X 2X16
129	128	9	LVTC/NFA2X 2X10
129	127	14	LVTC/NFA2X 2X16
127	130	20	LVTC/NFA2X 2X10
127	142	14	LVTC/NFA2X 2X16
142	143	38	LVTC/NFA2X 2X10
143	145	7	LVTC/NFA2X 2X10
145	146	8	LVTC/NFA2X 2X10
145	147	11	LVTC/NFA2X 2X10
145	144	12	LVTC/NFA2X 2X10
T8	122	51	LVTC/NFA2X 2X16
122	123	5	LVTC/NFA2X 2X16
123	124	28	LVTC/NFA2X 2X10
124	125	10	LVTC/NFA2X 2X10
125	126	9	LVTC/NFA2X 2X10
122	131	51	LVTC/NFA2X 2X16
131	132	11	LVTC/NFA2X 2X10
131	133	13	LVTC/NFA2X 2X10
131	134	12	LVTC/NFA2X 2X16
134	140	30	LVTC/NFA2X 2X16
140	141	9	LVTC/NFA2X 2X10
140	138	45	LVTC/NFA2X 2X10

140	139	58	LVTC/NFA2X 2X10
140	137	21	LVTC/NFA2X 2X10
140	136	30	LVTC/NFA2X 2X10
136	135	27	LVTC/NFA2X 2X10
T9	114	41	LVTC/NFA2X 2X16
T9	115	50	LVTC/NFA2X 2X16
T9	116	47	LVTC/NFA2X 2X16
116	117	7	LVTC/NFA2X 2X10
117	118	13	LVTC/NFA2X 2X10
116	119	10	LVTC/NFA2X 2X10
119	120	17	LVTC/NFA2X 2X10
T10	149	14	LVTC/NFA2X 2X10
T10	148	26	LVTC/NFA2X 2X16
T10	150	15	LVTC/NFA2X 2X16
T10	151	6	LVTC/NFA2X 2X16
151	154	13	LVTC/NFA2X 2X10
151	153	15	LVTC/NFA2X 2X16
153	155	24	LVTC/NFA2X 2X10
155	156	14	LVTC/NFA2X 2X10
151	158	88	LVTC/NFA2X 2X16
158	157	8	LVTC/NFA2X 2X10
158	159	9	LVTC/NFA2X 2X10
158	160	19	LVTC/NFA2X 2X16
160	161	14	LVTC/NFA2X 2X10
161	162	7	LVTC/NFA2X 2X10
160	163	15	LVTC/NFA2X 2X16
163	164	22	LVTC/NFA2X 2X10
163	165	12	LVTC/NFA2X 2X10
163	166	30	LVTC/NFA2X 2X16
166	167	14	LVTC/NFA2X 2X10
166	168	31	LVTC/NFA2X 2X16
168	169	40	LVTC/NFA2X 2X16
169	170	11	LVTC/NFA2X 2X10
170	171	9	LVTC/NFA2X 2X10
169	172	20	LVTC/NFA2X 2X16
172	173	14	LVTC/NFA2X 2X10
172	174	17	LVTC/NFA2X 2X10
T10	175	77	LVTC/NFA2X 2X10
175	176	11	LVTC/NFA2X 2X10

175	177	16	LVTC/NFA2X 2X10
175	178	20	LVTC/NFA2X 2X16
178	179	10	LVTC/NFA2X 2X10
178	180	34	LVTC/NFA2X 2X16
180	181	21	LVTC/NFA2X 2X16
181	182	24	LVTC/NFA2X 2X10
181	183	63	LVTC/NFA2X 2X16
183	184	9	LVTC/NFA2X 2X10
183	185	8	LVTC/NFA2X 2X10
185	186	11	LVTC/NFA2X 2X10
183	187	7	LVTC/NFA2X 2X10
187	188	8	LVTC/NFA2X 2X10
T11	189	33	LVTC/NFA2X 2X16
T11	190	11	LVTC/NFA2X 2X10
T11	191	12	LVTC/NFA2X 2X10
191	192	19	LVTC/NFA2X 2X10
T11	193	13	LVTC/NFA2X 2X16
T12	194	14	LVTC/NFA2X 2X10
T12	195	15	LVTC/NFA2X 2X16
T12	196	23	LVTC/NFA2X 2X16
T12	197	7	LVTC/NFA2X 2X16
197	198	8	LVTC/NFA2X 2X10
197	199	23	LVTC/NFA2X 2X10
199	200	12	LVTC/NFA2X 2X10
T13	201	13	LVTC/NFA2X 2X10
T13	202	10	LVTC/NFA2X 2X10
T13	203	8	LVTC/NFA2X 2X10
T13	204	12	LVTC/NFA2X 2X10
T15	205	20	LVTC/NFA2X 2X10
205	206	8	LVTC/NFA2X 2X10
T15	207	11	LVTC/NFA2X 2X16
207	208	22	LVTC/NFA2X 2X16
208	209	24	LVTC/NFA2X 2X10
208	210	19	LVTC/NFA2X 2X10
210	211	10	LVTC/NFA2X 2X10
T14	212	4	LVTC/NFA2X 2X16
212	213	10	LVTC/NFA2X 2X10
T14	214	15	LVTC/NFA2X 2X16
214	215	16	LVTC/NFA2X 2X10

T14	216	25	LVTC/NFA2X 2X16
T15	217	36	LVTC/NFA2X 2X16
217	218	22	LVTC/NFA2X 2X10
T15	219	25	LVTC/NFA2X 2X16
219	220	18	LVTC/NFA2X 2X10
T15	221	12	LVTC/NFA2X 2X10
T15	222	26	LVTC/NFA2X 2X16
T15	223	40	LVTC/NFA2X 2X16
223	225	29	LVTC/NFA2X 2X16
225	224	13	LVTC/NFA2X 2X10
225	226	16	LVTC/NFA2X 2X16
226	227	21	LVTC/NFA2X 2X16
227	228	24	LVTC/NFA2X 2X16
228	229	32	LVTC/NFA2X 2X10
225	230	21	LVTC/NFA2X 2X10
230	231	18	LVTC/NFA2X 2X16
231	232	15	LVTC/NFA2X 2X10
T16	233	33	LVTC/NFA2X 2X16
T16	234	14	LVTC/NFA2X 2X16
234	235	9	LVTC/NFA2X 2X10
T20	236	15	LVTC/NFA2X 2X16
236	237	10	LVTC/NFA2X 2X10
236	238	10	LVTC/NFA2X 2X16
238	240	12	LVTC/NFA2X 2X10
238	239	13	LVTC/NFA2X 2X10
T20	241	28	LVTC/NFA2X 2X16
241	242	12	LVTC/NFA2X 2X16
T22	244	12	LVTC/NFA2X 2X10
244	245	6	LVTC/NFA2X 2X10
T22	246	18	LVTC/NFA2X 2X10
T22	243	52	LVTC/NFA2X 2X16
T24	247	20	LVTC/NFA2X 2X16
247	248	15	LVTC/NFA2X 2X16
248	249	9	LVTC/NFA2X 2X10
249	250	15	LVTC/NFA2X 2X10
247	252	7	LVTC/NFA2X 2X10
252	251	9	LVTC/NFA2X 2X10
252	253	14	LVTC/NFA2X 2X10
253	254	6	LVTC/NFA2X 2X10
254	255	8	LVTC/NFA2X 2X10

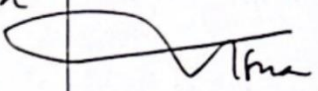

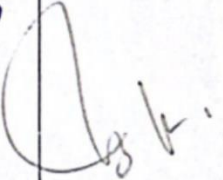

T23	256	21	LVTC/NFA2X 2X16
T23	257	27	LVTC/NFA2X 2X16
257	258	11	LVTC/NFA2X 2X10
258	259	10	LVTC/NFA2X 2X10
259	260	7	LVTC/NFA2X 2X10



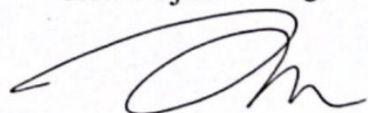
**LAMPIRAN BERITA ACARA PELAKSANAAN
UJIAN SIDANG LAPORAN TUGAS AKHIR**

Nama : JUVENTRI BUNTU PAYUNG
NIM : 42124316

Catatan/Daftar Revisi Penguji :

No.	N a m a	U r a i a n	Tanda Tangan
1	Utman	lihat catatan saya pada laporannya !!!	
2.	Purnawati	Lengkap data. & log.	
3.	Wisma	Standar & digunakan apa? data tegangan data? Lihat drpd.	
4.	Ahmad Rosyid	-Perbaiki Data pengukuran.	

Makassar, 22 Oktober 2025
Ketua Ujian Sidang,



Ahmad Rosyid Idris, S.T.,M.T.
NIP 198604042015041001