TUGAS AKHIR – EE 184801

STUDI KEANDALAN DAN REKONFIGURASI SISTEM DISTRIBUSI 20KV PADA ULP. KARANG KOTA BANDAR LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY INDEX ASSESSMENT* UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN

Jonathan Sebastian
NRP 07111640000075

Dosen Pembimbing
Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T.
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

TUGAS AKHIR – EE 184801

STUDI KEANDALAN DAN REKONFIGURASI SISTEM DISTRIBUSI 20KV PADA ULP. KARANG KOTA BANDAR LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY INDEX ASSESSMENT* UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN

Jonathan Sebastian
NRP 07111640000075

Dosen Pembimbing
Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T.
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

FINAL PROJECT – EE 184801

RELIABILITY AND RECONFIGURATION STUDY OF 20KV BANDAR LAMPUNG'S DISTRIBUTION SYSTEM IN ULP. KARANG USING RELIABILITY INDEX ASSESSMENT METHOD TO INCREASE RELIABILITY

Jonathan Sebastian
NRP 07111640000075

Supervisor(s)
Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T.
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang M.Sc., Ph.D.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR

Dengan pernyataan ini, saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan dari Tugas Akhir saya dengan judul "**Studi Keandalan dan Rekonfigurasi Sistem Distribusi 20kV pada ULP. Karang Kota Bandar Lampung Menggunakan Metode Reliability Index Assessment untuk Meningkatkan Keandalan**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2020

Jonathan Sebastian
NRP. 0711 16 4000 0075

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDI KEANDALAN DAN REKONFIGURASI SISTEM DISTRIBUSI 20KV PADA ULP. KARANG KOTA BANDAR LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY INDEX ASSESSMENT* UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T.
NIP. 19881108 2012 121001

SURABAYA
JULI, 2020

STUDI KEANDALAN DAN REKONFIGURASI SISTEM DISTRIBUSI 20KV PADA ULP. KARANG KOTA BANDAR LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY INDEX ASSESSMENT* UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN

TUGAS AKHIR

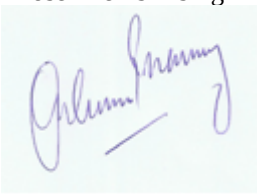
Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing II



Prof. Ir. Ontoseno Penangsang M.Sc., Ph.D.
NPP. 1949 2019 311101

SURABAYA
JULI, 2020

STUDI KEANDALAN DAN REKONFIGURASI SISTEM DISTRIBUSI 20KV PADA ULP. KARANG KOTA BANDAR LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY INDEX ASSESSMENT* UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN

Nama Mahasiswa	: Jonathan Sebastian
NRP	: 07111640000075
Dosen Pembimbing I	: Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing II	: Prof. Ir. Ontoseno Penangsang M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Sistem distribusi merupakan tahap terakhir dalam proses pengiriman listrik. Keandalan merupakan faktor penting agar suatu sistem kelistrikan dapat berjalan dengan optimal. Keandalan suatu sistem kelistrikan dapat diukur dengan indeks keandalan. Indeks keandalan yang digunakan pada tugas akhir ini terdiri dari SAIDI dan SAIFI yang menggunakan referensi data dari standar PLN. Melihat kondisi dari sistem kelistrikan kota Bandar Lampung yang masih sering terjadi gangguan pada sisi konsumen, perlunya upaya untuk meningkatkan keandalan dari sistem distribusi kota Bandar Lampung. Meningkatkan kendalan dapat dilakukan dengan cara melakukan rekonfigurasi pada jaringan dengan cara memodifikasi sistem *switching* pada sistem distribusi. Studi keandalan dan rekonfigurasi pada tugas akhir ini dilakukan dengan merancang sistem distribusi pengembangan pada tahun 2023, 2025, dan 2030 di ULP. Karang. Rekonfigurasi pada tugas akhir ini dilakukan dengan menambah penyulang dan *keypoint* baru dari sistem kelistrikan yang kemudian SAIDI dan SAIFI sistem tersebut dihitung menggunakan metode *reliability index assessment*. Dengan dilakukannya rekonfigurasi, keandalan pada sistem distribusi ULP. Karang meningkat, dibuktikan dengan SAIDI dan SAIFI pada sebelum dilakukan rekonfigurasi bernilai 26.4238 jam/tahun dan 3.9462 kali/tahun, menjadi 24.6562 jam/tahun dan 3.7832 kali/tahun pada tahun 2025 dan menjadi 20.958 jam/tahun dan 3.4723 kali/tahun pada tahun 2030. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa keandalan sistem kelistrikan dapat ditingkatkan dengan melakukan rekonfigurasi.

Kata Kunci: Distribusi, Keandalan, Rekonfigurasi, *Reliability Index Assessment*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

RELIABILITY AND RECONFIGURATION STUDY OF 20KV BANDAR LAMPUNG'S DISTRIBUTION SYSTEM IN ULP. KARANG USING RELIABILITY INDEX ASSESSMENT METHOD TO INCREASE RELIABILITY

Student's Name	: Jonathan Sebastian
ID Number	: 07111640000075
Supervisor I	: Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T.
Supervisor II	: Prof. Ir. Ontoseno Penangsang M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

The distribution system is the last stage in the electricity delivery process. Reliability is an important factor that makes an electrical system can run optimally. The reliability of an electrical system can be measured by the reliability index. The reliability index used in this final project consists of SAIDI and SAIFI using reference data from the PLN standard. Seeing the condition of the Bandar Lampung city electricity system which is still often interrupted by the consumer side, Bandar Lampung distribution system reliability needs to be improved. Increasing the reliability can be done by reconfiguring the network by modifying the switching system on the distribution system. The reliability and reconfiguration study in this final project were done by designing a development distribution system in 2023, 2025 and 2030 at ULP. Karang. Reconfiguration in this final project is done by adding feeders and new keypoints from the electrical system. After the reconfiguration is done, SAIDI and SAIFI will be calculated using reliability index assessment method. With reconfiguration on the ULP. Karang distribution system, the reliability is increased, as evidenced by SAIDI and SAIFI before being reconfigured were valued at 26.4238 hours/year and 3.9462 times/year, to 24.6562 hours/year and 3.7832 times/year in 2025 and to 20.958 hours/year and 3.4723 times/year in 2030. From the results, it can be concluded that the reliability of electrical system can be increased by doing reconfigurations.

Keywords: Distribution, Reliability, Reconfiguration, Reliability Index Assessment

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji Tuhan dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul **"STUDI KEANDALAN DAN REKONFIGURASI SISTEM DISTRIBUSI 20KV PADA ULP. KARANG KOTA BANDAR LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY INDEX ASSESSMENT* UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN"**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T. dan Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang M.Sc., Ph.D. sebagai dosen pembimbing yang telah memberi bimbingan dan nasihat selama penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu, Ayah, kakak, dan Elisabeth Ulam atas perhatian dan dukungan, kasih sayang, motivasi, dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Para asisten Laboratorium Simulasi yang menjadi teman seperjuangan dalam proses menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Semua dosen teknik elektro yang telah membantu saya berkembang dan mendapat ilmu yang berguna hingga bisa sampai pada tahap ini.
5. Pihak PLN UID. Lampung yang telah memberi data-data yang dibutuhkan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Besar harapan penulis menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat.

Surabaya, Juli 2020

Jonathan Sebastian
NRP. 0711 16 4000 0075

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....iii
HALAMAN JUDUL..... v
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....vii
HALAMAN PENGESAHAN ix
ABSTRAK xi
ABSTRACT.....xiii
KATA PENGANTAR xv
DAFTAR ISI xvii
DAFTAR GAMBAR xxi
DAFTAR TABEL.....xxiii
BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang.....1
1.2 Rumusan Masalah.....2
1.3 Tujuan 2
1.4 Batasan Masalah 2
1.5 Metodologi.....3
1.6 Sistematika.....4
1.7 Relevansi atau Manfaat 5

BAB II TEORI PENUNJANG 7

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....7

2.1.1 Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik [3] 7
2.1.2 Syarat Sistem Distribusi Tenaga Listrik [5].....8
2.1.3 Gangguan-gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....9
2.1.4 Pengaman pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik [10].... 10
2.1.5 Jenis Saluran pada Sistem Distribusi..... 12

2.2 Indeks Keandalan [6]..... 14
2.3 Studi Keandalan [6]..... 15
2.4 Reliability Index Assessment [7] 16
2.5 Perencanaan Sistem Distribusi [12]..... 17
2.6 Rekonfigurasi Jaringan [13]..... 18

BAB III METODOLOGI DAN PEMODELAN SISTEM *EXISTING* KELISTRIKAN ULP. KARANG..... 21

3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir 21

3.2 Sistem Kelistrikan *Existing* ULP. Karang.....25
3.3 Pemodelan Sistem Kelistrikan ULP. Karang 27
3.3.1 Data Gardu Induk.....27
3.3.2 Data Trafo Distribusi dan Beban.....28
3.3.3 Data Saluran.....30
3.3.4 Parameter Keandalan.....30
3.3.5 Single Line pada *Software* Microsoft Visio 31
3.3.6 Akses *Software* AMADIS V1.0 32
3.3.7 Data *Keypoint* ULP. Karang Tahun 2020 33
3.4 Hasil Pemodelan pada *Software* ETAP 16.0.0 34
3.4.1 Pemodelan Keseluruhan ULP. Karang 35
3.4.2 Pemodelan Setiap Penyulang 36
3.5 Data Pengembangan Sistem Kelistrikan ULP. Karang.....36
3.5.1 Data Peramalan Beban 37
3.5.2 Data Kepadatan Beban 38
3.5.3 Data Pembebanan Trafo Gardu Induk 39
3.6 Metode *Reliability Index Assessment*.....40
3.6.1 Perhitungan RIA Manual 41
3.6.2 Perhitungan RIA *Software* ETAP 16.0.0 41
BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA 43
4.1 Tegangan Jatuh dan Arus pada Setiap Penyulang Sistem Kelistrikan *Existing*.....43
4.2 Hasil Perhitungan SAIDI dan SAIFI Sistem Kelistrikan *Existing* di Setiap Penyulang 44
4.3 Penambahan Beban di Setiap Gardu Distribusi.....45
4.4 Tegangan Jatuh Penyulang Sebelum Rekonfigurasi Pada Tahun 2023, 2025, dan 2030. 48
4.5 Arus Penyulang Sebelum Rekonfigurasi pada Tahun 2023, 2025, dan 2030.....49
4.6 Rekonfigurasi Jaringan 50
4.6.1 Tahun 2025 50
4.6.2 Tahun 2030 55
4.7 Hasil Perhitungan SAIDI dan SAIFI Sesudah Dilakukan Rekonfigurasi 61

4.7.1 SAIDI dan SAIFI Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi pada Tahun 2025 61
4.7.2 SAIDI dan SAIFI Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi pada Tahun 2030 62

BAB V PENUTUP 65

5.1 Kesimpulan 65
5.2 Saran 66

DAFTAR PUSTAKA 67
LAMPIRAN A 69
LAMPIRAN B 85
LAMPIRAN C 103
BIODATA PENULIS 111

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir..... 21
Gambar 3. 2 Jumlah Pelanggan pada ULP. Karang Tahun 2020..... 26
Gambar 3. 3 Tampilan Penyulang Alba pada Visio..... 31
Gambar 3. 4 Contoh Tampilan AMADIS pada Penyulang Kemarau .. 32
Gambar 3. 5 Peta Cakupan ULP. Karang pada AMADIS..... 32
Gambar 3. 6 Pemodelan Keseluruhan Sistem ULP. Karang 35
Gambar 3. 7 Hasil Pemodelan Penyulang Alba..... 36
Gambar 3. 8 Grafik Pembebanan Gardu Induk 39
Gambar 3. 9 Hasil Perhitungan Pemodelan Kecil ETAP 16.0.0..... 42
Gambar 4. 1 Jalur Kelistrikan Tissot Sebelum Rekonfigurasi 2025 54
Gambar 4. 2 Jalur Kelistrikan Baru Sesudah Rekonfigurasi 2025..... 55
Gambar 4. 3 Jalur Kelistrikan Sebelum Rekonfigurasi 2030 60
Gambar 4. 4 Jalur Kelistrikan Baru Sesudah Rekonfigurasi 2030..... 60

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Gardu Induk Tahun 2020 27
Tabel 3. 2 Data Gardu Induk Tahun 2020 (Lanjutan)..... 28
Tabel 3. 3 Data Trafo Terpasang Setiap Penyulang Tahun 2020 28
Tabel 3. 4 Data Trafo Terpasang Setiap Penyulang Tahun 2020 (Lanjutan)..... 29
Tabel 3. 5 Presentase Pembebanan Antar Penyulang Tahun 2020 29
Tabel 3. 6 Data Saluran Transmisi PLN 30
Tabel 3. 7 Parameter Keandalan SPLN 59 tahun 1985..... 30
Tabel 3. 8 Data Keypoint ULP. Karang Tahun 2020..... 33
Tabel 3. 9 Data Keypoint ULP. Karang Tahun 2020 (Lanjutan)..... 34
Tabel 3. 10 Data Peramalan Beban ULP. Karang 37
Tabel 3. 11 Data Kenaikan Beban Listrik pada Setiap Penyulang 38
Tabel 3. 12 Pembebanan Trafo Gardu Induk 39
Tabel 3. 13 Asumsi Parameter Keandalan Pemodelan Kecil 41
Tabel 4. 1 Data Tegangan Jatuh dan Arus Setiap Penyulang Tahun 2020 43
Tabel 4. 2 Data SAIDI dan SAIFI Sistem Kelistrikan Existing ULP. Karang..... 44
Tabel 4. 3 Penambahan Beban di Setiap Gardu Distribusi 46
Tabel 4. 4 Penambahan Beban di Setiap Gardu Distribusi (Lanjutan).. 47
Tabel 4. 5 Penambahan Beban di Setiap Gardu Distribusi (Lanjutan).. 48
Tabel 4. 6 Data Tegangan Jatuh Setiap Penyulang tahun 2023, 2025, dan 2030..... 48
Tabel 4. 7 Data Arus pada Setiap Penyulang tahun 2023, 2025, dan 2030 49
Tabel 4. 8 Data Rekonfigurasi Skenario I 2025 51
Tabel 4. 9 Data Tegangan Jatuh dan Arus Skenario I 2025 51
Tabel 4. 10 Data Prediksi Skenario I 2025 di Tahun 2030 51
Tabel 4. 11 Data Rekonfigurasi Skenario II 2025 52
Tabel 4. 12 Pembebanan Trafo GI Natar#3 52
Tabel 4. 13 Data Tegangan Jatuh dan Arus Skenario II 2025..... 53
Tabel 4. 14 Data Prediksi Skenario II 2025 di Tahun 2030 53
Tabel 4. 15 Prediksi P. Baru 2025 Setelah Rekonfigurasi P. Suzuki dan Gucci 54
Tabel 4. 16 Data Rekonfigurasi Skenario I 2030 55
Tabel 4. 17 Pembebanan Trafo GI TB#2..... 56
Tabel 4. 18 Data Tegangan Jatuh dan Arus Skenario I 2030 57

Tabel 4. 19 Data Rekonfigurasi Skenario II 2030 58
Tabel 4. 20 Data Tegangan Jatuh dan Arus Skenario II 2030 59
Tabel 4. 21 SAIDI & SAIFI Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi 2025 61
Tabel 4. 22 SAIDI & SAIFI Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi 2030 62

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem distribusi merupakan tahap terakhir dalam proses pengiriman listrik, dimana listrik yang dikirimkan dari sisi transmisi yang memiliki level tegangan dalam kategori tinggi akan di *step down* (diturunkan) menjadi tegangan level menengah yang kemudian akan disalurkan ke konsumen-konsumen. Dalam praktiknya, listrik yang disalurkan ke konsumen tidak selalu sesuai dengan yang diharapkan dikarenakan beberapa faktor, yang salah satunya adalah keandalan. Keandalan merupakan hal yang fundamental agar suatu sistem distribusi kelistrikan dapat berjalan dengan optimal. Melihat keandalan suatu sistem dapat dilakukan dengan cara menghitung indeks-indeks keandalan (SAIDI dan SAIFI) [1]. Keandalan sendiri dapat ditingkatkan dengan menambahkan beberapa perangkat *switching* serta melakukan rekonfigurasi pada sistem kelistrikan. Rekonfigurasi dapat dilakukan dengan cara mengubah status atau mengubah sistem *switching* yang sudah ada sebelumnya sesuai dengan kebutuhan penyaluran beban [2].

Melihat kondisi sistem kelistrikan kota Bandar Lampung yang masih sering terjadi gangguan di sisi konsumen, dibutuhkannya suatu cara yang tepat agar sistem kelistrikan di kota bandar Lampung ini dapat diperbaiki dan kerugian yang dirasakan oleh konsumen dapat diminalisir. Upaya yang dapat dilakukan adalah menghitung indeks keandalan dan juga melakukan rekonfigurasi pada sistem kelistrikan kota Bandar Lampung di masa depan. Rekonfigurasi ditujukan untuk mengurangi kerugian daya total yang disalurkan. Besarnya kerugian daya total sangat berpengaruh bagi sistem distribusi, dimana dengan rugi daya yang besar akan menyebabkan nilai dari laju kegagalan akan semakin besar dan membuat gangguan lebih sering terjadi.

Seiring dengan pertumbuhan penduduk kota Bandar Lampung, maka kebutuhan listrik pun juga bertambah. Meningkatkan keandalan disini juga harus mempertimbangkan aspek pertumbuhan beban, oleh karenanya, diperlukan pengembangan sistem kelistrikan yang mencakup dibutuhkan atau tidaknya pengembangan gardu induk, penambahan perangkat s*witching* dan juga rekonfigurasi saluran untuk meningkatkan keandalan dan memastikan keseimbangan antara kapasitas distribusi dan kebutuhan daya listrik kota Bandar Lampung di masa depan.

Dengan adanya permasalahan diatas, maka diperlukannya upaya untuk memenuhi kebutuhan listrik di masa depan dengan mempertimbangkan aspek keandalan dari sistem kelistrikan agar tidak terjadi banyak gangguan dalam operasinya. Oleh karenanya, studi keandalan dan rekonfigurasi pada jaringan distribusi sistem kelistrikan ini dibutuhkan agar sistem distribusi kota Bandar Lampung menjadi lebih optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Keandalan sistem distribusi pada ULP. Karang.
2. Evaluasi konfigurasi sistem distribusi pada ULP. Karang.

1.3 Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah:

1. Meningkatkan keandalan sistem distribusi pada ULP. Karang.
2. Merencanakan konfigurasi sistem distribusi yang tepat sampai sepuluh tahun kedepan pada ULP. Karang.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Pemodelan dilakukan menggunakan *software* ETAP 16.0.0.
2. Perhitungan metode *Reliability Index Assessment* (RIA) yang digunakan berasal dari kalkulasi modul keandalan pada *software* ETAP 16.0.0.
3. Cakupan ULP. pada tugas akhir ini adalah ULP. Karang kota Bandar Lampung.
4. Pengembangan sistem kelistrikan yang dilakukan adalah sampai pada tahun 2030 dengan parameter pembahasan untuk jangka pendek (3 tahun), jangka menengah (5 tahun), dan jangka panjang (10 tahun).
5. Parameter keandalan yang digunakan berdasarkan standar PLN 59 tahun 1985.
6. Indeks keandalan yang dijadikan acuan peningkatan keandalan pada tugas akhir ini adalah SAIDI dan SAIFI.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
   Mencari literatur yang akan digunakan untuk menunjang pengerjaan tugas akhir ini. Literatur yang dicari memuat tentang sistem distribusi, keandalan, rekonfigurasi, dan juga metode *reliability index assessment*. Literatur dapat berupa buku, jurnal, ataupun makalah.

2. Pengumpulan Data
   Melakukan survey dan pengambilan data yang dibutuhkan untuk melakukan pemodelan sistem kelistrikan ULP. Karang pada *software* ETAP 16.0.0.

3. Pemodelan Sistem Menggunakan *Software* ETAP 16.0.0
   Melakukan pemodelan sistem kelistrikan ULP. Karang setelah data yang dibutuhkan untuk melakukan pemodelan telah lengkap untuk dilakukan pemodelan sistem.

4. Menganalisis Kondisi Sistem *Existing*
   Data yang diperoleh dari simulasi modul *Reliability Index Assessment* dan *Load Flow* akan dianalisis keandalan SAIDI dan SAIFI, tegangan jatuh dan arus yang mengalir pada setiap penyulang ULP. Karang yang akan menjadi acuan untuk pengembangan sistem kelistrikan ULP. Karang kota Bandar Lampung.

5. Merencanakan Pengembangan Sistem Kelistrikan
   Merencanakan pengembangan sistem kelistrikan sampai dengan tahun 2030, dengan parameter jangka pendek (3 tahun), jangka mengengah (5 tahun), dan jangka Panjang (10 tahun) pada sistem kelistrikan ULP. Karang menggunakan data peramalan beban yang didapat dari PLN UID. Lampung.

6. Pemodelan dan Simulasi Sistem Pengembangan

Melakukan pemodelan untuk sistem kelistrikan baru dan kemudian mensimulasikan kembali *load flow* dan keandalan yang digunakan untuk menentukan kebutuhan pengembangan sistem kelistrikan ULP. Karang sampai dengan tahun 2030.

7. Merencanakan Rekonfigurasi Jaringan
   Dari data yang didapat dari simulasi sistem pengembangan, dapat ditentukan dari tegangan jatuh dan arus pada penyulang. Penyulang yang sudah melewati batas tegangan jatuh 10% dan arus lebih dari kapasitas suatu konduktor, maka harus dilakukan rekonfigurasi agar memenuhi standar yang ditetapkan.

8. Menganalisa Sistem Kelistrikan Setelah Rekonfigurasi
   Seusai dilakukan rekonfigurasi, maka sistem kelistrikan dianalisis kembali tegangan jatuh, arus, dan keandalannya. Apabila sudah memenuhi standar yang ditetapkan, maka sistem kelistrikan dapat dijadikan rekomendasi untuk pengembangan sistem kelistrikan ULP. Karang kedepan.

9. Pembuatan Laporan
   Membuat laporan akhir tentang segala kegiatan yang telah dilakukan dan hasil dari studi keandalan dan rekonfigurasi sistem kelistrikan ULP.Karang ini.

1.6 Sistematika

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah:

1). BAB 1: PENDAHULUAN
   Bab pendahuluan terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi tugas akhir.

2). BAB 2: DASAR TEORI
   Bab ini berisi dasar teori dan tinjauan pustaka yang mendukung dan menjelaskan segala hal yang dibutuhkan dalam memahami dan menyelesaikan tugas akhir ini,

terdapat empat poin utama, yaitu sistem distribusi tenaga listrik, studi keandalan, indeks keandalan, dan *reliability index assessment.*

3). BAB 3: METODOLOGI DAN PEMODELAN SISTEM *EXISTING* KELISTRIKAN ULP. KARANG
Bab ini menjelaskan tentang metodologi pengerjaan tugas akhir ini, menjelaskan tentang pengambilan dan pengolahan data sistem kelistrikan *existing* pada ULP. Karang yang mendukung penulis dalam pengerjaan tugas akhir. Terdiri dari data-data pendukung sebagai referensi pengembangan sistem kelistrikan di ULP. Karang kota Bandar Lampung untuk sepuluh tahun kedepan. Pada bab ini juga dibahas tentang pemodelan sistem, hasil pemodelan, dan juga data yang dibutuhkan untuk pengembangan sistem kelistrikan ULP. Karang.

4). BAB 4: HASIL DAN ANALISA DATA
Bab ini menjelaskan tentang hasil dari simulasi sistem kelistrikan *existing* dan simulasi sistem pengembangan kelistrikan pada tahun 2023, 2025, dan 2030. Hasil dari simulasi tersebut dipaparkan dan dijelaskan apakah butuh dilakukan rekonfigurasi atau tidak. Pada bab ini juga, akan dijelaskan hasil sebelum dan sesudah dilakukan rekonfigurasi pada sistem kelistrikan, yang meliputi tegangan jatuh, arus, dan juga keandalan dari sistem.

5). BAB 5: PENUTUP
Bab Ini memberikan kesimpulan dan saran dari hasil analisis yang diperoleh dari studi keandalan dan rekonfigurasi sistem distribusi 20kV pada ULP. Karang kota Bandar Lampung.

1.7 Relevansi atau Manfaat

Hasil studi ini dapat menjadi referensi atau rekomendasi dalam pengembangan sistem kelistrikan distribusi di ULP. Karang kota Bandar Lampung yang mampu menjaga kontinuitas dari penyaluran energi listrik ke konsumen dengan tingkat keandalan yang bagus sampai sepuluh tahun kedepan. Dengan adanya tingkat keandalan yang bagus,

maka gangguan akan berkurang dari segi waktu dan frekuensi, menyebabkan kepuasan pelayanan dari konsumen terhadap PLN akan meningkat. Hasil studi ini juga mampu menjadi referensi untuk penelitian lebih lanjut tentang rekonfigurasi dan peningkatan keandalan suatu sistem kelistrikan.

BAB II
TEORI PENUNJANG

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik digunakan untuk menyalurkan energi listrik ke konsumen. Sistem distribusi mengubah tegangan dari level transmisi menjadi tegangan distribusi pada gardu induk menggunakan transformator *step down*. Konsumen dibagi menjadi tiga level tegangan, yaitu rendah, menengah, dan tinggi. Untuk level tegangan rendah, tegangan distribusi ini yang kemudian akan disalurkan pada saluran distribusi primer yang kemudian akan diturunkan dengan gardu distribusi menjadi tegangan residensial (380/220V). Untuk konsumen level tegangan menengah, tegangan distribusi bisa langsung digunakan tanpa perlu di *step down*. Untuk konsumen level tegangan tinggi, energi listrik diambil dari level tegangan tinggi dari transmisi, atau dari Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) [3].

Sistem distribusi secara umum menggunakan konfigurasi radial, berbeda dengan sistem transmisi yang biasanya menggunakan konfigurasi *loop*. Dalam sistem radial, konsumen lebih sering terkena gangguan dibandingkan dengan sistem *loop*. Keandalan menjadi permasalahan utama dalam sistem distribusi radial, sehingga keandalan sistem distribusi perlu ditingkatkan. Keandalan sistem dapat ditingkatkan dengan cara mengurangi rata-rata gangguan frekuensi, *outage time*, dan luas dari zona gangguan [4].

2.1.1 Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik [3]

Struktur jaringan distribusi tenaga listrik terdiri dari empat bagian, yaitu:

1. Gardu Induk
   Gardu induk menurunkan tegangan level transmisi menjadi level distribusi, yang kemudian akan disalurkan ke pusat beban (konsumen) melalui jaringan distribusi primer dan sekunder yang dibagi menjadi tiga level konsumen (tegangan rendah, menengah, dan tinggi). Konsumen tegangan rendah akan memakai energi listrik yang di *stepdown* oleh gardu distribusi menjadi tegangan residential. Konsumen tegangan menengah akan menggunakan energi

listrik dengan level tegangan menengah (tidak harus di *step down*). Konsumen tegangan tinggi akan menggunakan level tegangan tinggi dan biasanya memiliki transformator *step down* sendiri untuk digunakan sesuai kebutuhan konsumen.

2. Jaringan Distribusi Primer
   Jaringan distribusi primer merupakan jaringan distribusi yang menyalurkan energi listrik dari gardu induk dengan level tegangan menengah ke pusat beban (konsumen). Jaringan ini hanya mencakup konsumen dengan tegangan menengah atau sampai gardu distribusi saja, yang kemudian oleh jaringan distribusi sekunder akan disalurkan ke pusat beban residensial.

3. Jaringan Distribusi Sekunder
   Jaringan distribusi sekunder merupakan jaringan distribusi yang menyalurkan energi listrik dari gardu distribusi yang menurunkan tegangan level menengah menjadi tegangan level rendah, yang kemudian akan disalurkan ke pusat beban residensial.

4. Gardu Distribusi
   Gardu distribusi terdiri dari trafo distribusi (*step down)* yang akan menurunkan tegangan dari gardu induk (level menengah) menjadi tegangan level rendah untuk disalurkan ke pusat beban residensial.

2.1.2 Syarat Sistem Distribusi Tenaga Listrik [5]

Suatu sistem distribusi tenaga listrik harus memenuhi beberapa syarat atau standar yang telah ditetapkan, antara lain:

1. Mutu Listrik
   Mutu listrik dapat diukur dari 2 parameter, yaitu tegangan dan frekuensi. Batas toleransi tegangan pada konsumen dengan tegangan menengah adalah ±5% dan untuk konsumen dengan tegangan rendah adalah ±10%. Batas frekuensi yang diperbolehkan untuk distribusi adalah ±1% dari tegangan fundamental (50Hz).

2. Keandalan
   Suatu sistem distribusi harus mampu menyalurkan listrik ke konsumen secara kontinyu. Setiap adanya gangguan harus dapat dilacak dan diatasi dan harus dilengkapi dengan pengaman atau sistem proteksi yang tepat. Keandalan memiliki indeks yang dapat digunakan untuk mengukur seberapa andal sebuah sistem distribusi. Indeks keandalan tersebut terdiri dari SAIDI (System Average Interruption Duration Index), SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index), CAIFI (Customer Average Interruption Frequency Index), dan MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index) yang menggunakan acuan dari standar PLN.

3. Keamanan dan Keselamatan
   Keamanan dan keselamatan dari konsumen dan peralatan harus terjamin. Tiang dari distribusi harus memerhatikan sesuai dengan jarak minimum dari tanah. Peralatan yang digunakan harus memiliki kualitas yang bagus agar jika terjadi gangguan dapat teratasi dengan cepat.

4. Biaya Pengoperasian
   Biaya pengoperasian sistem distribusi memiliki indikator sendiri, yaitu angka susut jaringan, yang merupakan selisih antara energi yang dikeluarkan oleh pembangkit listrik dengan energi yang digunakan oleh konsumen. Angka susut jaringan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kesalahan alat ukur, jaringan yang terlalu panjang (rugi-rugi daya besar), faktor daya rendah, pencurian listrik, dan konfigurasi jaringan yang tidak tepat. Angka susut jaringan harus memiliki angka yang sekecil mungkin yang menandakan biaya pengoperasian suatu sistem baik.

2.1.3 Gangguan-gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem distribusi:

1. Hubung Singkat

Gangguan pada hubung singkat dibagi menjadi dua jenis, yaitu gangguan temporer dan permanen. Gangguan permanen dapat terjadi antar tiga, dua, ataupun satu fasa ke tanah, sedangkan untuk gangguan temporer, biasa terjadi karena sambaran petir.

2. Beban Lebih/*Overload*
   Beban lebih terjadi karena daya yang disalurkan tidak seimbang dengan beban yang dikonsumsi, dimana kebutuhan beban melebihi kapasitas daya yang disalurkan. Apabila beban lebih terjadi dalam waktu yang lama, maka dapat mengakibatkan transformator distribusi panas dan terjadi pemutusan daya pada saluran yang diampu transformator tersebut.

3. Tegangan Lebih
   Tegangan lebih pada bus dapat terjadi karena penurunan beban yang diakibatkan karena beban pada suatu saluran putus dan gangguan pada *Automatic Voltage Regulator* yang membuat generator tidak dapat membalikan tegangan sistem menjadi stabil. Tengangan lebih dapat terjadi juga karena sambaran petir.

4. Hilangnya Sumber Tenaga
   Hilangnya sumber tenaga diakibatkan karena gangguan pada sistem yang membuat rele, cb, ataupun saluran yang menghubungkan antara daya dengan beban terputus.

2.1.4 Pengaman pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik [10]

Suatu sistem kelistrikan yang baik harus mampu menanggulangi sistem dari berbagai gangguan yang mungkin terjadi pada sistem kelistrikan. Sistem kelistrikan membutuhkan pengaman yang mampu memutus gangguan tersebut agar sistem kelistrikan tetap stabil dan tidak membuat kerusakan lebih di dalam sistem tersebut.

1. *Fuse*

Fuse adalah peralatan arus lebih yang dapat memutus rangkaian yang menggunakan sistem pemanasan secara langsung. Peralatan ini dihancurkan oleh lewatnya arus berlebih pada peralatan tersebut yang

berdampak kepada hancurnya peralatan tersebut yang membuat rangkaian terputus. Peralatan ini dirancang untuk meledak dalam waktu yang ditentukan untuk nilai arus tertentu.

2. *Automatic Circuit Reclosers*

Automatic Circuit Reclosers adalah peralatan pengaman arus lebih yang secara otomatis trip dan menutup kembali beberapa kali sesuai dengan pengaturan untuk menghilangkan gangguan sementara ataupun mengisolasi gangguan permanen. *Recloser* ini dapat diatur untuk sejumlah urutan operasi yang berbeda sesuai dengan kebutuhan. Urutan Operasi tersebut adalah:

1. Dua kali operasi seketika (membuka dan menutup) diikuti dengan dua kali operasi waktu tunda.
2. Satu kali operasi seketika diikuti dengan tiga kali operasi waktu tunda.
3. Tiga kali operasi ditambah diikuti dengan satu kali operasi waktu tunda.
4. Empat kali operasi seketika.
5. Empat kali operasi waktu tunda.

3. *Automatic Line Sectionalizers*

Automatic Line Sectioanlizers adalah peralatan pengaman arus lebih yang hanya dipasang dengan cadangan *recloser* ataupun *circuit breaker*. Peralatan ini menghitung jumlah gangguan yang disebabkan oleh peralatan pengaman gangguan otomatis cadangan dan membuka setelah dua atau tiga trip. Mode operasi dari peralatan ini telah dirangkum oleh Zimmerman menjadi:

1. Jika gangguan dihilangkan saat perangkat penutup terbuka, penghitung *sectionalizer* akan *reset* ke posisi normal setelah sirkuit ditutup kembali.
2. Jika gangguan berlanjut ketika sirkuit ditutup kembali, penghitung arus gangguan pada *sectionalizer* akan bersiap untuk menghitung pembukaan selanjutnya dari perangkat penutup tersebut.
3. Jika perangkat penutup diatur untuk mengunci pada operasi pembukaan keempat, *sectionalizer* akan diatur untuk membuka selama waktu sirkuit terbuka setelah operasi pembukaan ketiga dari perangkat penutup.

4. *Circuit Breaker*

Circuit Breaker adalah pemutus sirkuit otomatis yang mampu memutus dan menyambungkan sirkuit dalam kondisi berbeban maupun tidak berbeban. *Circuit Breaker* dilengkapi dengan alat pemadam busur api. Pemadam busur api tersebut juga bervariasi jenisnya, dari jenis isolasi udara, minyak, SF6, dan lainnya. *Circuit Breaker* ini erat hubungannya dengan rele arus lebih, dimana kedua peralatan ini akan dihubungkan secara berdampingan dan saling melengkapi. Rele arus lebih akan mendeteksi adanya arus gangguan pada sistem kelistrikan yang kemudian akan mengirimkan sinyal kepada *Circuit Breaker* untuk memutus sirkuit.

5. *Disconnecting Switch*

Disconnecting Switch adalah suatu perangkat yang berfungsi untuk memisahkan beban dari sumbernya hanya pada saat keadaan tidak berbeban. Peralatan ini dioperasikan secara manual dikarenakan waktu pemutusan tergantung pada kebutuhan. Secara umum peralatan ini digunakan untuk memutus sirkuit dalam rangka pemeliharaan ataupun perbaikan. Pada konteks distribusi listrik, peralatan ini juga dapat digunakan sebagai penentu jalur distribusi listrik ke penyulang-penyulang.

2.1.5 Jenis Saluran pada Sistem Distribusi

Pada aplikasinya, saluran sistem distribusi dibagi menjadi dua, yaitu saluran udara tegangan menengah (SUTM) dan saluran kabel tegangan menengah (SKTM). Penggunaan kedua jenis saluran ini tergantung dengan perkembangan masing-masing daerah, baik dari topologi, tata kota, kepadatan, kebijakan, dan lainnya. Kedua jenis saluran ini memiliki keuntungan dan kekurangan masing-masing yang dapat menjadi pertimbangan dalam pengaplikasiannya.

1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Saluran udara merupakan saluran yang dipasang diluar bangunan yang dilengkapi dengan isolator-isolator. Saluran udara biasa digunakan dalam *area* dengan kepadatan beban yang rendah. Jenis konduktor yang tersedia adalah alumunium (Al) dan tembaga (Cu). Tembaga memiliki kapasitas hantar yang lebih tinggi, namun secara ekonomi, alumunium lebih murah dibandingkan dengan tembaga. Hal

tersebut membuat mayoritas dari pembangunan saluran udara menggunakan alumunium.

Adapun keuntungan dalam menggunakan saluran udara dibandingkan dengan saluran bawah tanah:

1. Investasi jauh lebih murah dibandingkan denga saluran bawah tanah.
2. Pemeliharaan lebih mudah.
3. Pendeteksian gangguan lebih mudah.
4. Lebih mudah dalam pembangunan.

Adapun kekurangan dalam menggunakan saluran udara dibandingkan dengan saluran bawah tanah:

1. Mengurangi keindahan tata kota.
2. Berbahaya bagi manusia jika terdapat kawat fasa yang putus.
3. Dapat terganggu karena faktor eksternal seperti pohon dan layangan.

2. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)

Saluran kabel merupakan saluran yang ditanam dibawah tanah sepanjang dengan jalur beban yang ada pada sistem tersebut. Saluran kabel bawah tanah ini biasa digunakan dalam *area* dengan kepadatan yang tinggi. Biasa digunakan dalam daerah yang sudah maju dan tata kotanya bagus. Secara bahan konduktor sama dengan SUTM, terbagi menjadi alumunium dan tembaga. Berbeda dengan SUTM yang mengandalkan udara sebagai isolator, SKTM biasa menggunakan isolasi kertas, timah hitam, ataupun minyak sebagai bahan isolasi dari konduktor bawah tanah tersebut.

Adapun keuntungan dalam menggunakan saluran bawah tanah dibandingkan dengan saluran udara:

1. Memperbagus tata kota.
2. Tidak berbahaya bagi manusia jika terdapat kawat fasa yang putus.
3. Jarang terjadi gangguan eksternal.

Adapun kekurangan dalam menggunakan saluran bawah tanah dibandingkan dengan saluran udara:

1. Investasi jauh lebih mahal dibandingkan denga saluran udara
2. Pemeliharaan lebih sulit
3. Pendeteksian gangguan lebih sulit.

4. Lebih sulit dalam pembangunan.

2.2 Indeks Keandalan [6]

Keandalan memiliki indeks yang digunakan sebagai parameter keandalan suatu sistem distribusi. Indeks-indeks dari keandalan tersebut adalah:

1. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)
   SAIFI mengukur berapa banyak gangguan berkelanjutan yang dirasakan oleh pelanggan sepanjang tahun. SAIFI sendiri merupakan nilai dari rata-rata jumlah interupsi berkelanjutan per pelanggan selama satu tahun.

$$\text{SAIFI} = \frac{\textbf{Jumlah Gangguan Pelanggan}}{\textbf{Jumlah Pelanggan yang Dilayani}} \text{ per tahun} \quad (2.1)$$

2. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)
   SAIDI mengukur berapa banyak jam gangguan yang akan dirasakan oleh pelanggan sepanjang tahun. SAIDI sendiri merupakan nilai dari lama durasi gangguan pelanggan per pelanggan selama satu tahun.

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum \textbf{Durasi Gangguan Pelanggan}}{\textbf{Jumlah Pelanggan yang Dilayani}} \text{ jam/tahun} \quad (2.2)$$

3. CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index)*
   CAIDI mengukur berapa lama gangguan bertahandan digunakan untuk mengukur respon waktu dari *utility* terhadap kontingensi sistem. CAIDI sendiri merupakan nilai dari jumlah lama durasi gangguan pelanggan per jumlah gangguan pelanggan.

$$\text{CAIDI} = \frac{\sum \textbf{Durasi Gangguan Pelanggan}}{\textbf{Jumlah Gangguan Pelanggan}} \text{ jam} \quad (2.3)$$

4. CAIFI (*Customer Average Interruption Frequency Index*)
   CAIFI mengukur berapa banyak gangguan berkelanjutan yang dirasakan oleh pelanggan sepanjang tahun. CAIFI sendiri mirip dengan SAIFI, yang membedakan hanyalah

nilai minimum dari SAIFI adalah nol, sedangkan untuk CAIFI, nilai minimum adalah satu.

$$\text{CAIFI}= \frac{\textit{Jumlah Gangguan Pelanggan}}{\textit{Satu atau Lebih Gangguan Pelanggan}} \text{ per tahun} \quad (2.4)$$

5. MAIFI (*Momentary Average Interruption Frequency Index)*
   MAIFI mengukur berapa banyak gangguan sementara yang dirasakan oleh pelanggan sepanjang tahun. MAIFI sendiri merupakan nilai dari jumlah gangguan sementara pelanggan per jumlah pelanggan yang dilayani.

$$\text{MAIFI} = \frac{\sum \textit{Gangguan Sementara Pelanggan}}{\textit{Jumlah Pelanggan yang Dilayani}} \text{ per tahun} \quad (2.5)$$

2.3 Studi Keandalan [6]

Studi keandalan mampu membantu mengidentifikasi jumlah pengelompokan saklar yang harus ditempatkan pada suatu penyulang, lokasi optimal suatu perangkat seperti *tie switch* dan *recloser*, dan spesifikasi dari perangkat baru tersebut. Menambahkan satu *tie switch* mampu mengurangi indeks keandalan SAIDI hingga sepuluh menit dan melakukan rekonfigurasi saluran penghubung mampu mengurangi SAIDI hingga lima menit. Melakukan kedua hal tersebut secara optimal dapat mengurangi SAIDI hingga tiga puluh menit dan meningkatkan efektivitas biaya pengoperasian.

Pada sistem distribusi, peningkatan keandalan dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti:

1. *Sectionalizing* saluran penambahan: dilakukan dengan menempatkan perangkat *switching* dengan kondisi *normally closed* pada penyulang. Menambahkan *fuse* dan *recloser* mampu meningkatkan keandalan dengan memungkinkan fleksibilitas yang lebih pada sistem kelistrikan.
2. *Tie point* baru: *tie point* adalah peralatan yang memungkinkan untuk suatu penyulang terhubung dengan penyulang lain yang berdekatan. Menambahkan *tie point* akan meningkatkan pilihan jalur pendistribusian beban dan memungkinkan untuk meningkatkan keandalan sistem pada penyulang.

3. Pendistribusian beban yang dibatasi kapasitas: keandalan sistem berkurang karena peralatan yang tidak memiliki kapasitas yang cukup untuk pendistribusian beban dengan nilai tertentu. Oleh karenanya, diperlukan pendistribusian beban yang dibatasi kapasitas agar tidak terjadi *overload* pada suatu peralatan.
4. Peningkatan jalur transfer: jalur transfer sendiri adalah jalur alternatif yang digunakan untuk melayani kebutuhan beban setelah terjadi gangguan. Jika jalur transfer tidak mampu menampung arus yang melewati jalur tersebut, maka diperlukan peningkatan kapasitas konduktor.
5. Otomatisasi penyulang: Saklar yang dikendalikan secara otomatis menggunakan SCADA, memungkinkan rekonfigurasi setelah terjadi gangguan lebih cepat dibandingkan dengan sistem manual.

2.4 Reliability Index Assessment [7]

Reliability Index Assessment (RIA) merupakan suatu metode yang digunakan untuk memprediksi gangguan-gangguan pada sistem distribusi listrik berdasarkan topologi dan data-data komponen sistem kelistrikan seperti laju kegagalan, waktu perbaikan, lama pemadaman, dan lainnya. Data-data tersebut dapat digunakan untuk menilai kinerja dari sistem distribusi sebelumnya. Evaluasi kinerja dari sistem distribusi tersebut dapat berguna dalam mengindentifikasi area dengan keandalan rendah dan membutuhkan peningkatan dalam keandalan. Evaluasi kinerja tersebut juga dapat menjadi referensi untuk rencana pengembangan sistem kelistrikan kedepan.

Perihal pengembangan, sistem kelistrikan harus dirancang sebaik mungkin agar gangguan dalam sistem kelistrikan dapat diminimalisir. Studi keandalan berperan dalam membantu mengukur dampak peningkatan desain sistem kelistrikan kedepan. Opsi model pengembangan untuk pebaikan keandalan dapat berupa:

1. Penyulang baru dan ekspansi penyulang
2. Pendistribusian beban antar penyulang
3. Perluasan gardu dan ekspansi gardu
4. *Keypoint* baru
5. *Recloser* jaringan
6. Saklar *sectionalizing*
7. Otomatisasi penyulang

8. Pergantian peralatan yang sudah tua
9. Mengganti sirkuit dengan kabel bawah tanah

2.5 Perencanaan Sistem Distribusi [12]

Sistem kelistrikan harus dirancang sebaik mungkin untuk memastikan kontinuitas pelayanan dari pelanggan. Setiap tahunnya, permintaan akan beban listrik akan terus bertambah. Dengan demikian, dibutuhkan perencaan sistem distribusi yang tepat untuk memastikan bahwa di tahun-tahun mendatang, kebutuhan listrik dapat tercukupi dengan baik.

Merencanakan sistem distribusi yang baik harus memiliki pertimbangan yang banyak. Permodelan jaringan dan simulasi sangat dibutuhkan untuk memastikan kontinuitas pelayan tersebut. Dalam merencakan sistem kelistrikan tersebut, dibutuhkan peramalan beban yang tepat dan spesifik berdasarkan pemakaian lahan dari suatu daerah.

Langkah-langkah yang harus ditempuh untuk merencakan sistem kelistrikan distribusi antara lain:

1. Pengumpulan Data
   Pengumpulan data tersebut meliputi data historis pemakaian beban dan gangguan, serta untuk pengembangan, dibutuhkan data representasi geografis dari sistem kelistrikan, bersama dengan data kepadatan beban listrik dari suatu daerah.
2. Mengevaluasi Sistem Distribusi *Existing*
   Evaluasi meliputi tegangan, arus, *loading* dari peralatan, dan juga data-data lainnya.
3. Kriteria dan Standar Perencaan
   Pentingnya untuk menentukan kriteria dan standar perencaan terhadap sistem yang ingin dikembangkan untuk memastikan efektivitas, keamanan, dan juga kontinuitas dari pengembangan jaringan ini. Standar perencaaan biasanya terdiri dari tegangan, arus, daya, dan lainnya.
4. Peramalan Beban Spasial
   Peramalan beban ini meliputi peramalan pemakaian lahan, yang kemudian didapat data berupa kepadatan beban listrik yang digunakan untuk mengalokasikan hasil data peramalan yang umum dalam suatu sistem keseluruhan, menjadi lebih spesifik pembagiannya, berdasarkan lokasi masing-masing.
5. Perencanaan Sistem Kelistrikan

Perencanaan sistem kelistrikan dapat dibuat sesuai kebutuhan untuk kurun waktunya, dapat dibagi menjadi jangka waktu pendek dan jangka waktu panjang. Dalam merencakan sistem jangka panjang, sistem jangka pendek (0-3) tahun harus terlebih dahulu dirancang dengan sebaik mungkin. Dalam perencanaan jangka pendek dan panjang, dibutuhkan simulasi yang tepat dalam menganalisis dampak terhadap pengalihan beban dan rekonfigurasi untuk memastikan tercukupinya kriteria operasional dari sistem kelistrikan tersebut.

2.6 Rekonfigurasi Jaringan [13]

Rekonfigurasi jaringan merupakan metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas dari sistem kelistrikan, baik mengurangi rugi-rugi daya, arus berlebih, tegangan jatuh, dan juga meningkatkan keandalan dari sistem kelistrikan tersebut. Rekonfigurasi dilakukan dengan mengubah bentuk konfigurasi sistem kelistrikan yang sudah ada dengan tujuan akhir untuk memperbagus atau mempertahankan kualitas dari penyaluran energi listrik.

Rekonfigurasi jaringan dapat dilakukan dengan menambahkan ataupun mengalihkan beban pada suatu penyulang. Rekonfigurasi dapat ditentukan dengan mempertimbangkan kecukupan kapasitas suatu penyulang terhadap beban yang diampu oleh penyulang tersebut pada setiap tahunnya. Setiap tahun kedepannya, dengan pertumbuhan listrik di setiap daerahnya, sudah dipastikan kecukupan kapasitas suatu penyulang akan semakin berkurang. Dengan demikian, dibutuhkan adanya penambahan ataupun pengalihan penyulang di tahun-tahun kedepannya.

Terdapat batasan-batasan operasional atau lapangan yang harus terpenuhi dalam melakukan rekonfigurasi, antara lain:

1. Struktur Radial
   Sistem distribusi secara umum menggunakan struktur radial, tidak boleh ada sistem yang *loop* dalam struktur radial ini. Stuktur radial ini dipilih untuk menghindari penentuan lokasi, isolasi, dan juga koordinasi proteksi hubung singkat yang sulit.
2. Batas Tegangan pada Bus
   Batas tegangan yang ditetapkan harus berada pada standar operasional yang telah ditetapkan. Standar yang digunakan

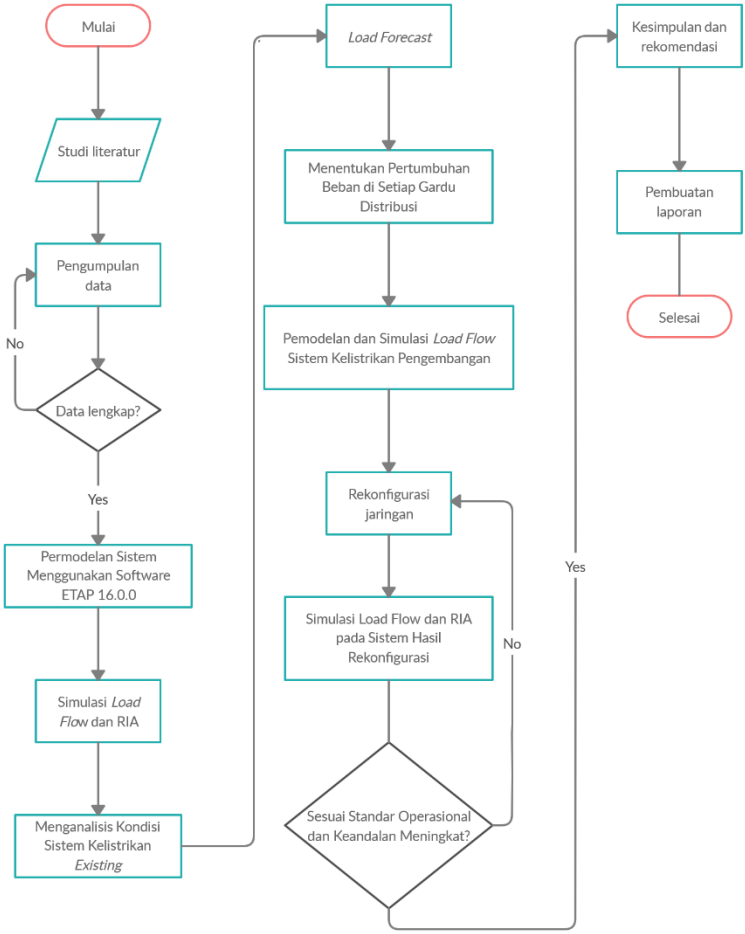
berbeda-beda dengan masing-masing referensi yang digunakan. Sehingga, pada tugas akhir ini, bila mengacu SPLN 1:1995, maka batas tegangan yang diperbolehkan adalah +5% dan -10%.

3. Batas Operasional dari Penyulang
   Kapasitas dari suatu penyulang tidak boleh dilanggar. Arus dari suatu penyulang tidak boleh melebihi kapasitas arus maksimum dari konduktor di penyulang tersebut.
4. Operasi *Switching*
   Pada sistem distribusi yang sudah terotomasi, struktur jaringan radial harus dipastikan untuk selalu terpenuhi agar tidak terjadi gangguan pada sistem proteksi yang telah dipasang. Operasi *switching* yang tidak hati-hati dapat menyebabkan struktur radial ini kehilangan sifat radialitasnya. Oleh karenanya, dalam melakukan rekonfigurasi, perangkat *switching* yang akan di *open*, harus diutamakan. Setelah perangkat tersebut *open*, baru perangkat lainnya yang akan *closed*. Hal tersebut dilakukan agar tidak terjadi *loop* dalam sistem tersebut saat akan rekonfigurasi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III
METODOLOGI DAN PEMODELAN SISTEM *EXISTING* KELISTRIKAN ULP. KARANG

3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Berikut merupakan penjelasan metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini:

1. Studi Literatur

   Mencari literatur yang dapat dijadikan referensi dalam pengerjaan tugas akhir.

2. Pengumpulan Data

   Melakukan pengumpulan data yang dibutuhkan di ULP. Karang yang dapat melengkapi kebutuhan data untuk mensimulasikan sistem kelistrikan pada *software* ETAP 16.0.0. Data-data tersebut adalah:

   a) *Single Line Diagram*
   b) Data Gardu Induk
   c) Impendasi Saluran Distribusi
   d) Kapasitas Saluran Distribusi
   e) Kapasitas Trafo
   f) Panjang Kabel
   g) Data Beban
   h) Data Keandalan

3. Pemodelan Sistem Menggunakan *Software* ETAP 16.0.0

   Pada tahap ini, data-data berupa kapasitas saluran distribusi, kapasitas trafo, impedansi saluran distribusi, panjang kabel, data beban, data-data pendukung lainnya yang didapat dari PT. PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Lampung akan ditinjau kembali kelengkapannya, yang kemudian akan dimodelkan dan disimulasikan menggunakan *software* ETAP 16.0.0.

4. Simulasi *Reliability Index Assessment* pada Sistem *Existing*

   Modul Reliability Index Assessment untuk mengetahui indeks keandalan sistem (SAIDI dan SAIFI) yang kemudian akan dianalisis keandalannya dan dijadikan acuan untuk keandalan awal yang akan ditingkatkan pada distribusi kota Bandar Lampung ULP. Karang.

5. Simulasi *Load Flow* pada Sistem *Existing*

   Simulasi *Load Flow* dibutuhkan untuk mengetahui tegangan jatuh di ujung penyulang yang dapat memberi referensi dalam menentukan rekonfigurasi sistem kedepan untuk memenuhi standar

operasional distribusi listrik sistem kota Bandar Lampung ULP. Karang di masa depan.

6. Menganalisis Kondisi Sistem *Existing*

Data yang diperoleh dari simulasi modul *Reliability Index Assessment* dan *Load Flow* akan dianalisis indeks keandalan SAIDI, SAIFI dan drop tegangan pada ujung saluran ULP. Karang yang akan menjadi acuan untuk pengembangan sistem kelistrikan ULP. Karang kota Bandar Lampung. Dimana pengembangan tersebut meliputi penambahan *keypoint*, serta rekonfigurasi jaringan yang mampu memenuhi kebutuhan listrik pada ULP Karang kota Bandar Lampung.

7. *Load Forecast*

Sebelum dilakukan pengembangan, diperlukan adanya data *load forecast* sampai pada tahun 2030 sebagai acuan dalam penambahan kebutuhan beban listrik di sepuluh tahun mendatang. Data *load forecast* yang didapat dari PLN UID. Lampung akan ditentukan penambahan setiap gardu distribusinya dan kemudian dianalisis kebutuhan pengembangan sistem kelistrikan kedepannya, baik dari pengembangan gardu induk, ekspansi atau penambahan penyulang, dan penambahan *keypoint* dari sistem kelistrikan di ULP. Karang.

8. Menentukan Pertumbuhan Beban di Setiap Gardu Distribusi

Setelah ada data peramalan beban ULP. Karang, diperlukannya pembagian dari hasil ramalan tersebut ke tiap penyulangnya. Hasil pembagian ke setiap penyulang, kemudian akan dispesifikasikan lagi menjadi pembagian tiap kelurahan yang diampu oleh penyulang tersebut. Penentuan porsi pembagian beban tiap kelurahan di setiap penyulang membutuhkan adanya data kelurahan yang diampu setiap penyulangnya yang disertai dengan data kepadatan beban setiap kelurahan. Sehingga, sampai pada tahun 2030, didapatkan peramalan beban pada gardu distribusi yang sesuai, sehingga untuk penentuan pengembangan sistem kelistrikan di ULP. Karang dapat menjadi lebih akurat.

9. Pemodelan dan Simulasi *Load Flow* Sistem Kelistrikan Pengembangan pada Tahun 2023, 2025, dan 2030

Simulasi *Load Flow* pada tahun 2023, 2025, dan 2030 dibutuhkan untuk mengetahui besar tegangan jatuh di ujung penyulang pada setiap tahun-tahun tersebut agar dapat menentukan konfigurasi yang tepat untuk sistem kelistrikan pada tahun-tahun kedepannya. Tegangan jatuh ini dapat memberi referensi dalam menentukan penyulang yang kemampuannya sudah melewati standar yang ditetapkan, sehingga dapat diatasi dengan melakukan rekonfigurasi dengan membagi beberapa titik beban di penyulang tersebut ke penyulang yang baru.

10. Rekonfigurasi Jaringan

Seiring dengan bertumbuhnya kebutuhan listrik, kapasitas suatu penyulang untuk menampung beban listrik akan semakin berkurang, maka dengan adanya pertambahan beban, sudah dipastikan akan diperlukan penambahan saluran untuk keberlanjutan distribusi listrik ke konsumen. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan penyulang baru. Dan dengan adanya penyulang baru, dipastikan ada penambahan perangkat *switching*, seperti *tie switch*, *recloser*, ataupun lainnya. Rekonfigurasi ini diperlukan untuk memastikan pendistribusian beban per penyulang tidak melewati batas pembebanan maksimal yang dapat menyebabkan banyaknya gangguan pada sistem kelistrikan. Dengan melakukan rekonfigurasi sistem kelistrikan yang tepat, maka keandalan sistem dipastikan akan meningkat dan gangguan sistem kelistrikan ULP. Karang akan berkurang.

11. Simulasi *Load Flow* dan *Reliability Index Assessment* pada Sistem Hasil Rekonfigurasi

Seusai dilakukan pengembangan pada sistem kelistrikan, maka akan dianalisis kembali tegangan jatuh dan arus setiap penyulang, apakah sudah sesuai standar yang ditetapkan atau belum. Lalu juga akan di analisis SAIDI dan SAIFI dari sistem pengembangan ini. Apabila sistem pengembangan telah sesuai dengan standar yang ditetapkan dan keandalan meningkat, maka sistem kelistrikan tersebut dapat dijadikan acuan untuk ULP. Karang kota Bandar Lampung saat mengembangkan sistem kelistrikannya di masa depan.

12. Kesimpulan dan Rekomendasi

Kesimpulan dan rekomendasi pengembangan terkait keandalan dan rekonfigurasi sistem distribusi kota Bandar Lampung ULP. Gardu Induk Karang.

13. Pembuatan Laporan

Membuat laporan akhir berupa buku tugas akhir atas segala kegiatan yang telah dilakukan serta hasil analisis dan rekomendasi pengembangan sistem kelistrikan kedepan kota Bandar Lampung pada ULP. Karang.

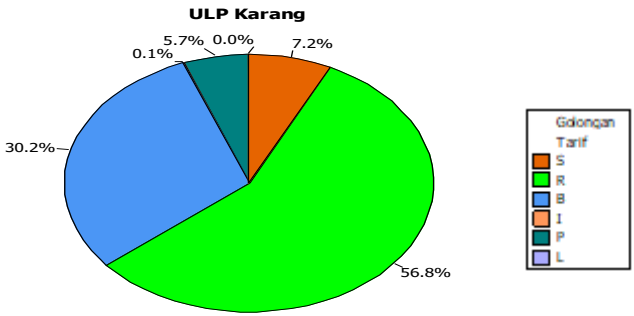
3.2 Sistem Kelistrikan *Existing* ULP. Karang

ULP. Karang adalah rayon di kota Bandar Lampung yang menjadi pokok bahasan dalam penulisan tugas akhir ini. Dalam studi keandalan dan rekonfigurasi pada tugas akhr ini, diperlukan adanya pengembangan sistem pada ULP. Karang dengan mempertimbangkan pertumbuhan beban di masa mendatang. Sebelum melakukan pengembangan, kita harus tahu terlebih dahulu sistem kelistrikan *existing* dari ULP. Karang ini. Sistem kelistrikan *existing* ULP. Karang ini akan menjadi acuan awal untuk pengembangan sistem kelistrikan kedepannya.

ULP. Karang merupakan unit layanan pelanggan Perusahaan Listrik Negara (PLN) yang melayani pelanggan di kota Bandar Lampung. Unit layanan pelanggan ini terletak di daerah Tanjung Karang, yang mayoritas bebannya adalah rumah tangga dan bisnis. Dalam pengklasifikasian jenis beban pada kota Bandar Lampung, badan pusat statistik mengklasifikasikan beban listrik menjadi enam jenis, yaitu:

1. Pelayanan Sosial (S)
2. Rumah Tangga (R)
3. Bisnis (B)
4. Industri (I)
5. Kantor Pemerintah dan PJU (P)
6. Lainnya (L)

Presentase tiap jenis beban pada ULP. Karang kota Bandar Lampung yang tercatat per Januari tahun 2020 dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Golongan	2019
S	1,991 Pelanggan
R	104,866 Pelanggan
B	9,924 Pelanggan
I	17 Pelanggan
P	423 Pelanggan

Gambar 3. 2 Jumlah Pelanggan pada ULP. Karang Tahun 2020
(Sumber: Data Gol. Pelanggan Listrik, Badan Pusat Statistik)

Dari data yang didapat dari badan pusat statistik (BPS), diketahui bahwa beban rumah tangga dan bisnis mendominasi, yaitu sebesar 56.8% dan 30.2%. Lalu jenis beban industri sebesar 7.2%, pemerintahan sebanyak 5.7% dan lain-lain adalah 0.1%.

Pelanggan pada ULP.Karang tersebut disalurkan energi listrik dari lima belas penyulang (yang tercatat sampai akhir bulan Januari 2020). Kelima belas penyulang ini di *supply* energi listrik dari empat gardu induk kota Bandar Lampung, yaitu GI. Teluk Betung, GI. Natar, GI. Tarahan, dan GI. Sukarame. Kelima belas penyulang ini adalah:

1. Penyulang Kabut di *supply* oleh GI. Teluk Betung #1
2. Penyulang Topan di *supply* oleh GI. Teluk Betung #1
3. Penyulang Embun di *supply* oleh GI. Teluk Betung #1
4. Penyulang Pelangi di *supply* oleh GI. Teluk Betung #2
5. Penyulang Cerah di *supply* oleh GI. Teluk Betung #2
6. Penyulang Tornado di *supply* oleh GI. Teluk Betung #3
7. Penyulang Lesus di *supply* oleh GI. Teluk Betung #3
8. Penyulang Kemarau di *supply* oleh GI. Teluk Betung #3
9. Penyulang Guruh di *supply* oleh GI. Teluk Betung #3

10. Penyulang Senja di *supply* oleh GI. Teluk Betung #3
11. Penyulang Pasang di *supply* oleh GI. Tarahan #2
12. Penyulang Suzuki di *supply* oleh GI. Natar #3
13. Penyulang Alba di *supply* oleh GI. Sukarame #1
14. Penyulang Tissot di *supply* oleh GI. Sukarame #2
15. Penyulang Gucci di *supply* oleh GI. Sukarame #2

3.3 Pemodelan Sistem Kelistrikan ULP. Karang

Pemodelan Sistem kelistrikan ULP. Karang akan dilakukan pada *software* ETAP 16.0.0. Dalam memodelkan sistem kelistrikan, dibutuhkan parameter-parameter yang harus dimasukan ke dalam *software* tersebut seperti: data Gardu Induk, data beban, kapasitas trafo, panjang kabel, data kabel, data keandalan, dan lainnya.

3.3.1 Data Gardu Induk

ULP. Karang memiliki lima belas penyulang yang energi listriknya disalurkan dari empat gardu induk utama, yaitu G.I. Teluk Betung, G.I. Sukarame, G.I. Natar, dan G.I. Tarahan. Setiap gardu induk mempunyai kapasitas penyaluran yang berbeda ke setiap penyulang yang diampu. Data gardu induk terdiri dari MVAsc, kapasitas trafo, dan juga rasio belitan trafo yang akan dimodelkan dalam bentuk *grid* dan trafo (150/20) kV.

Tabel 3. 1 Data Gardu Induk Tahun 2020

No	Penyulang	GI	MVAsc (VA)	Kapasitas Trafo GI (MVA)	Ratio Belitan Trafo	
					Primer (kV)	Sekunder (kV)
1	Kabut	Teluk Betung #1	2649.96	60	150	20
2	Topan	Teluk Betung #1	2649.96	60	150	20
3	Embun	Teluk Betung #1	2649.96	60	150	20
4	Pelangi	Teluk Betung #2	2727.9	60	150	20
5	Cerah	Teluk Betung #2	2727.9	60	150	20
6	Tornado	Teluk Betung #3	2623.98	60	150	20
7	Lesus	Teluk Betung #3	2623.98	60	150	20
8	Kemarau	Teluk Betung #3	2623.98	60	150	20

Tabel 3. 2 Data Gardu Induk Tahun 2020 (Lanjutan)

No	Penyulang	GI	MVAsc (VA)	Kapasitas Trafo GI (MVA)	Ratio Belitan Trafo	
					Primer (kV)	Sekunder (kV)
9	Guruh	Teluk Betung #3	2623.98	60	150	20
10	Senja	Teluk Betung #3	2623.98	60	150	20
11	Pasang	Tarahan #2	1558.8	30	150	20
12	Suzuki	Natar #3	2857.8	60	150	20
13	Alba	Sukarame #1	1428.9	30	150	20
14	Tissot	Sukarame #2	2935.74	60	150	20
15	Gucci	Sukarame #2	2935.74	60	150	20

(Sumber: Data Gardu Induk, PLN UID. Lampung)

3.3.2 Data Trafo Distribusi dan Beban

Data trafo distribusi dan beban menjadi salah satu parameter terpenting dalam pemodelan sistem, baik untuk memodelkan sistem kelistrikan *existing*, maupun untuk menjadi referensi dalam pengembangan sistem kelistrikan kedepannya. Data-data beban akan dimodelkan dalam bentuk *lumped load* pada *software* ETAP 16.0.0. Data beban yang digunakan untuk pemodelan adalah data beban per gardu distribusi. Data rekapan untuk total daya trafo terpasang dan pembebanan antar penyulang dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.5.

3.3.2.1 Data Trafo Terpasang Setiap Penyulang

Tabel 3. 3 Data Trafo Terpasang Setiap Penyulang Tahun 2020

No.	Penyulang	GI	Trafo	Total Daya Trafo Terpasang (kVA)
1	Kabut	Teluk Betung	Td-1 60 Mva/150	13100
2	Topan	Teluk Betung	Td-1 60 Mva/150	12050
3	Embun	Teluk Betung	Td-1 60 Mva/150	5640
4	Pelangi	Teluk Betung	Td-2 60 Mva/150	14510
5	Cerah	Teluk Betung	Td-2 60 Mva/150	4160
6	Tornado	Teluk Betung	Td-3 60 Mva/150	9040
7	Lesus	Teluk Betung	Td-3 60 Mva/150	11220
8	Kemarau	Teluk Betung	Td-3 60 Mva/150	7050
9	Guruh	Teluk Betung	Td-3 60 Mva/150	5530
10	Senja	Teluk Betung	Td-3 60 Mva/150	2820

Tabel 3. 4 Data Trafo Terpasang Setiap Penyulang Tahun 2020 (Lanjutan)

No.	Penyulang	GI	Trafo	Total Daya Trafo Terpasang (kVA)
11	Pasang	Tarahan	Td-2 30 Mva/150	5760
12	Suzuki	Natar	Td-3 60 Mva/150	11030
13	Alba	Sukarame	Td-1 30 Mva/150	7740
14	Tissot	Sukarame	Td-2 60 Mva/150	10030
15	Gucci	Sukarame	Td-2 60 Mva/150	6120
Total (kVA)				**125,800**

(Sumber: Data Trafo Terpasang, PLN UID. Lampung)

Data pada Tabel 3.3 menunjukan jumlah trafo distribusi yang terpasang tiap penyulang yang digunakan untuk menyalurkan daya ke konsumen pada wilayah yang dicakup oleh penyulang tersebut. Penyulang dengan kapasitas trafo distribusi yang paling besar adalah penyulang Pelangi yang mencapai 14.510kVA.

3.3.2.2 Rata-rata dan Presentase Pembebanan setiap Penyulang

Tabel 3. 5 Presentase Pembebanan Antar Penyulang Tahun 2020

No.	Penyulang	Pembebanan Penyulang (KVA)	Persentase Antar Penyulang
1	Kabut	5,536.43	8.39%
2	Topan	5,774.76	8.75%
3	Embun	4,549.83	6.89%
4	Pelangi	5,350.31	8.11%
5	Cerah	2,947.76	4.47%
6	Tornado	4,805.13	7.28%
7	Lesus	3,769.34	5.71%
8	Kemarau	4,077.40	6.18%
9	Guruh	3,957.29	6.00%
10	Senja	2,456.66	3.72%
11	Pasang	3,223.65	4.89%
12	Suzuki	3,765.58	5.71%
13	Alba	4,924.31	7.46%
14	Tissot	5,294.52	8.02%
15	Gucci	5,554.50	8.42%

(Sumber: Data Pembebanan Penyulang, PLN UID. Lampung)

Data pada Tabel 3.5 merupakan data rekapan pembebanan pada setiap penyulang di ULP. Karang. Data presentase pembebanan antar penyulang ini akan menjadi acuan untuk membagi daya hasil peramalan beban dari PLN yang kemudian akan digunakan pendekatan presentase

pembebanan antar penyulang di tahun kedepannya adalah sama dengan tahun 2020.

3.3.3 Data Saluran

Dalam memodelkan data saluran ke dalam *software* ETAP 16.0.0, digunakan *library* atau data dari PLN UID Lampung untuk model saluran transmisinya. Didapatkan data bahwa konduktor yang digunakan adalah AAAC. Ukuran dan spesifikasi dari konduktor yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Data Saluran PLN

Kode	Ukuran (mm^2)	Kapasitas Arus (A)	R (Ω)	X (Ω)
35	34.4	170	1.1477	0.0616
50	49.5	210	0.7967	0.0584
70	75.6	255	0.5247	0.0544
95	93.3	320	0.4253	0.0525
120	112.9	365	0.351	0.0508
150	157.6	425	0.2516	0.0479
240	238.8	585	0.1665	0.044

(Sumber: Data Saluran, PLN UID. Lampung)

3.3.4 Parameter Keandalan

Dalam melakukan kalkulasi *Reliability Index Assessment* pada *software* ETAP 16.0.0, selain simulasi *load flow* harus berhasil dilakukan terlebih dahulu, ada parameter keandalan yang sebelumnya harus diisi untuk melengkapi dan melakukan kalkulasi *Reliabilty Index Assessment* ini. Parameter-parameter keandalan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3. 7 Parameter Keandalan SPLN 59 tahun 1985

Peralatan	**Failure Rate (λ) (kali/km atau unit/tahun**	**r (repair time) (jam)**	**rs (switching time) (jam)**
Overhead Cables	0.2	10	0.15
Underground Cables	0.07	15	0.15
Distribution Transformer	0.005	10	0.15
Recloser	0.005	10	0.15
Tie Switch	0.003	10	0.15
Circuit Breaker	0.004	10	0.15

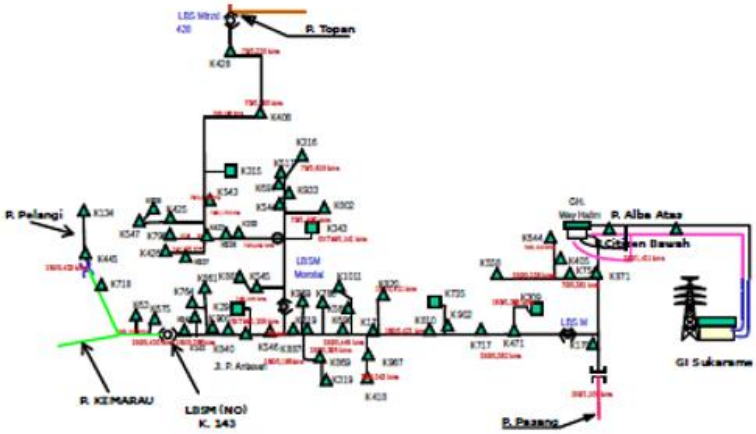
(Sumber: SPLN 59:1985)

Standar keandalan yang digunakan adalah standar PLN 59 tahun 1985, yang merupakan standar PLN tentang keandalan yang

terakhir diperbaharui. Indeks keandalan yang dijadikan parameter keandalan pada tugas akhir ini adalah SAIDI (System Average Interruption Duration Index) dan SAIFI (System Average Interruption Frequency Index). Menggunakan parameter-parameter keandalan diatas, didapat hasil dari *running* modul *reliability index assessment* setiap penyulang pada ULP. Karang.

3.3.5 Single Line pada *Software* Microsoft Visio

Pemodelan sistem kelistrikan ULP. Karang di tugas akhir ini akan mengacu pada *Software* Microsoft Visio, yang kemudian akan dimodelkan pada *software* ETAP 16.0.0. *Single Line Diagram* pada Microsoft Visio tersebut merepresentasikan single line diagram setiap penyulang pada ULP. Karang. *Single Line Diagram* ini yang juga menjadi *base case* dalam pengembangan sistem kelistrikan kedepannya. Salah satu contoh *Single Line Diagram* penyulang pada ULP. Karang dalam bentuk Microsoft Visio yang akan dimodelkan dalam *software* ETAP 16.0.0 dapat dilihat pada Gambar 3.3.

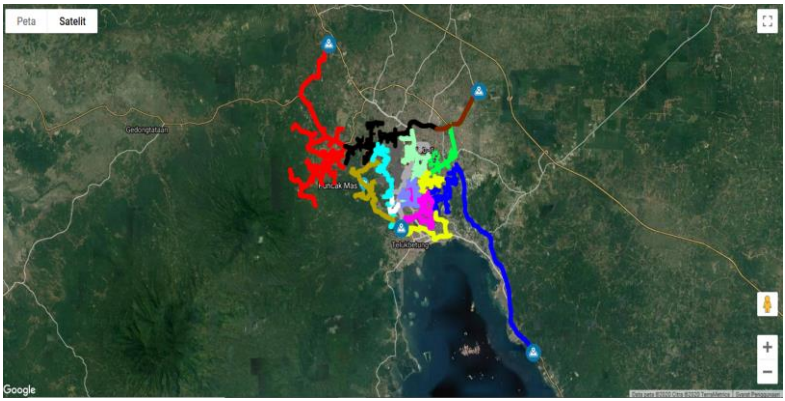


Gambar 3. 3 Tampilan Penyulang Alba pada Visio
(Sumber: Single Line Penyulang pada Microsoft Visio, PLN. UID Lampung)

3.3.6 Akses *Software* AMADIS V1.0

Akses AMADIS diberikan oleh PT. PLN UID. Lampung untuk memberi kemudahan dalam *tracing* beban di setiap penyulang untuk dimodelkan kedalam *software* ETAP 16.0.0. AMADIS digunakan untuk *tracing* letak beban yang kurang jelas ataupun kurang lengkap dalam Visio yang telah diberikan. *Software* ini juga digunakan untuk mengukur jarak saluran antar gardu distribusi dan peralatan kelistrikan lainnya berdasarkan jarak *google maps* yang akan dimasukan ke dalam *software* ETAP 16.0.0. Tampilan *software* AMADIS dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.

Gambar 3. 4 Contoh Tampilan AMADIS pada Penyulang Kemarau
(Sumber: Akses Software AMADIS, PLN. UID Lampung)



Gambar 3. 5 Peta Cakupan ULP. Karang pada AMADIS
(Sumber: Akses Software AMADIS, PLN. UID Lampung)

3.3.7 Data *Keypoint* ULP. Karang Tahun 2020

Tabel 3. 8 Data *Keypoint* ULP. Karang Tahun 2020

No	PENYULANG	NAMA KEYPOINT	TYPE ASSET	Mode
1	ALBA	MOROTAI	LBSM	REMOTE
2	ALBA	K170	LBSM	REMOTE
3	ALBA - KEMARAU	K143	LBSM	REMOTE
4	ALBA – ORIENT	K428	LBSM	REMOTE
5	ALBA – PASANG	POCARI	LBSM	REMOTE
6	ALBA – PELANGI	PALMSVILLE	LBSM	REMOTE
7	CERAH	RM GARUDA	RECLOSER	REMOTE
8	CERAH – EMBUN	POM PALAPA	LBSM	REMOTE
9	EMBUN	SISIMANGARAJA	RECLOSER	REMOTE
10	EMBUN	K35	LBSM	REMOTE
11	EMBUN	KEBERSIHAN	LBSM	REMOTE
12	EMBUN - GURUH	SUSUNAN BARU	LBSM	REMOTE
13	EMBUN - TISSOT	K68	LBSM	REMOTE
14	EMBUN (EKS)	B52	PMCB	MANUAL
15	GUCCI (EKS)	BTN	RECLOSER	REMOTE
16	GUCCI (EKS)	FLYOVER	PMCB	MANUAL
17	GURUH	CITRA LAND	RECLOSER	REMOTE
18	GURUH	LEMBAH HIJAU	RECLOSER	REMOTE
19	GURUH - TORNADO	LAMBAN GUNUNG	LBSM	REMOTE
20	GURUH - SUZUKI	K223	LBSM	REMOTE
21	KABUT	NUSA INDAH	RECLOSER	REMOTE
22	KABUT	K292	LBSM	REMOTE
23	KABUT	K19	LBSM	REMOTE
24	KABUT - KEMARAU	K217	LBSM	REMOTE
25	KEMARAU	K31	LBSM	REMOTE
26	KEMARAU - PASANG	KLUTUM	LBSM	REMOTE
27	KEMARAU - PASANG	K667	LBSM	REMOTE
28	KEMARAU - PELANGI	K164	LBSM	REMOTE
29	LESUS	TOHA	RECLOSER	REMOTE
30	LESUS	RRI	PMCB	MANUAL
31	LESUS - AWAN	K14	LBSM	REMOTE
32	LESUS - SENJA	K10	LBSM	REMOTE
33	PASANG	ANGGREK	RECLOSER	REMOTE
34	PASANG	K174	LBSM	REMOTE
35	PASANG	K499	LBSM	REMOTE
36	PELANGI	PTPN	LBSM	REMOTE
37	PELANGI	BREBES	LBSM	REMOTE
38	PELANGI	K18	LBSM	REMOTE
39	PELANGI - TOPAN	ISTANA BUAH	LBSM	REMOTE
40	SENJA (EKS)	AS-SATAR	RECLOSER	REMOTE

Tabel 3. 9 Data *Keypoint* ULP. Karang Tahun 2020 (Lanjutan)

No	PENYULANG	NAMA KEYPOINT	TYPE ASSET	Mode
41	SUZUKI	KURUNGAN NYAWA	RECLOSER	REMOTE
42	SUZUKI	MATA AIR	LBSM	REMOTE
43	SUZUKI	SPN	LBSM	REMOTE
44	SUZUKI	ENERGAS	LBSM	REMOTE
45	SUZUKI	K307	LBSM	REMOTE
46	SUZUKI	RCTI	LBSM	REMOTE
47	TISSOT	MIE ACEH	RECLOSER	REMOTE
48	TISSOT	PURNAWIRAWAN	LBSM	REMOTE
49	TISSOT	K44	LBSM	REMOTE
50	TISSOT	K451	LBSM	REMOTE
51	TISSOT - TORNADO	K145	LBSM	REMOTE
52	TOPAN	K114	LBSM	REMOTE
53	TOPAN - ORIENT	K50	PMCB	MANUAL
54	TORNADO	M. NOER	RECLOSER	REMOTE

(Sumber: Data Keypoint, PLN UID. Lampung)

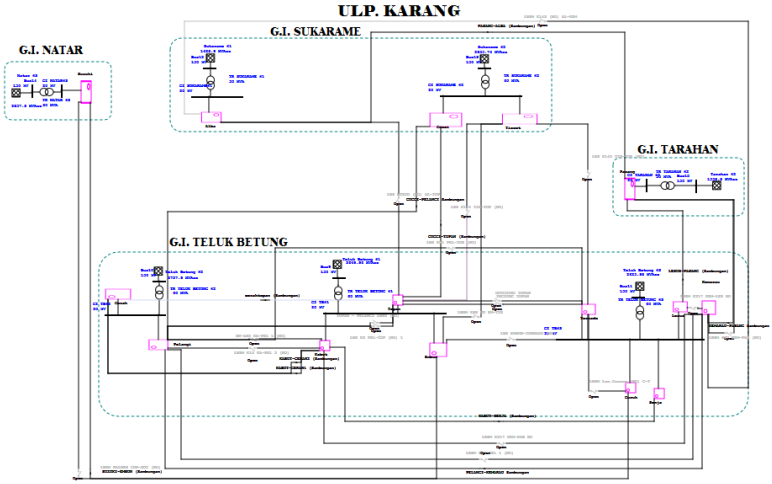
Dari data *keypoint* pada Tabel 3.8, pada tahun 2019, ULP. Karang memiliki 54 *keypoint*, yang terdiri dari *load break switch motorized* (LBSM), *recloser*, dan juga *pole mounted circuit breaker* (PMCB). Sistem kelistrikan di ULP. Karang ini sudah menggunakan teknologi SCADA yang membuat banyak dari *keypoint* tersebut dapat dioperasikan secara *remote* atau melalui kendali jarak jauh.

Keypoint akan menjadi kunci dari rekonfigurasi yang akan dilakukan, baik dengan mengubah status *switching* yang sudah ada, ataupun pada akhir diputuskan untuk menambah *keypoint* baru. Dalam pengembangan sistem kelistrikan sampai dengan tahun 2030, dipastikan akan ada penambahan ataupun perubahan status dari *keypoint* di beberapa lokasi yang dibutuhkan untuk menjaga kontinuitas pelayan listrik dan meningkatkan keandalan sistem kelistrikan ULP. Karang.

3.4 Hasil Pemodelan pada *Software* ETAP 16.0.0

Data-data yang telah didapat, kemudian dimodelkan dalam *software* ETAP 16.0.0 menjadi sistem kelistrikan *existing* ULP. Karang Bandar Lampung. Terdiri dari lima belas penyulang yang dimodelkan dalam setiap *composite network*, 723 gardu distribusi yang dimodelkan dalam bentuk trafo distribusi dan *lumped load*. ULP. Karang disuplai dari empat gardu induk utama, yaitu gardu induk Teluk Betung, Natar, Sukarame, dan Tarahan. Pemodelan dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7.

3.4.1 Pemodelan Keseluruhan ULP. Karang



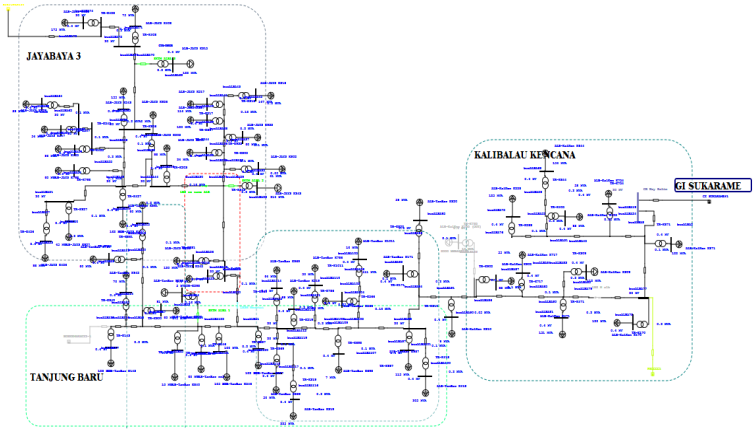
Gambar 3. 6 Pemodelan Keseluruhan Sistem ULP. Karang

Gambar 3.6 merupakan hasil pemodelan dari *single line diagram* pada *software* Microsoft Visio yang menjadi *base case* pada tugas akhir ini. Pemodelan diatas merupakan keseluruhan sistem kelistrikan pada ULP. Karang, kota Bandar Lampung, dimana dalam sistem tersebut, terdapat lima belas penyulang yang sudah digabung dalam satu sistem kelistrikan yang besar. Setiap penyulangnya dimodelkan dalam bentuk satu *composite network*, yaitu suatu jaringan pada *software* ETAP 16.0.0 yang memuat komponen kelistrikan lainnya seperti beban, trafo, kabel, *switch*¸ dan banyak komponen lainnya yang digunakan untuk memodelkan setiap penyulangnya.

Dari pemodelan diatas, dapat dilihat bahwa ULP. Karang dikelilingi oleh empat gardu induk utama, dan setiap gardu induk terhubung kepada penyulang tertentu. Banyaknya gardu distribusi dalam ULP. Karang ini dimodelkan dalam bentuk trafo distribusi yang dihubungkan dengan *lumped load* sebagai bebannya. Dimana setiap *lumped load* mencakup beberapa konsumen listrik secara keseluruhan pada setiap cakupan konsumen di gardu distribusi tersebut. Secara total, pada ULP. Karang terdapat 723 gardu distribusi dengan jumlah konsumen listrik total adalah 117.221 yang tercatat per Januari tahun 2020.

3.4.2 Pemodelan Setiap Penyulang

ULP. Karang memiliki lima belas penyulang aktif yang menyuplai 117.221 konsumen listrik. Pada tugas akhir ini, perlu dilakukan pemodelan sistem kelistrikan setiap penyulang terlebih dahulu, sebelum digabungkan menjadi sistem kelistrikan yang besar. Pemodelan dari setiap penyulang harus dipastikan bisa di *running* dan semua parameter untuk simulasi, mulai dari beban terpakai, kapasitas trafo, panjang kabel, dan lainnya sudah benar sebelum digabungkan menjadi satu sistem kelistrikan ULP. Karang.



Gambar 3. 7 Hasil Pemodelan Penyulang Alba

Gambar 3.7 merupakan contoh salah satu penyulang pada ULP. Karang, yaitu penyulang Alba. Setelah kelima belas penyulang selesai dimodelkan dan semua parameternya sudah benar, maka penyulang-penyulang tersebut akan digabungkan ke dalam sistem ULP. Karang keseluruhan dan dimodelkan dalam bentuk *composite network* untuk setiap penyulangnya. Gambar untuk setiap penyulang yang lain tertera pada lampiran tugas akhir.

3.5 Data Pengembangan Sistem Kelistrikan ULP. Karang

Pengembangan sistem kelistrikan dalam tugas akhir ini berfokus pada rekonfigurasi sistem kelistrikan guna memenuhi kebutuhan kelistrikan dan peningkatan keandalan sistem di ULP. Karang kota Bandar Lampung. Pengembangan yang dilakukan adalah sampai

sepuluh tahun kedepan, oleh karenanya dibutuhkan data-data pendukung untuk melakukan pengembangan, antara lain data perbandingan beban dengan kapasitas daya sistem kelistrikan *existing*, data keandalan sistem kelistrikan, dan data peramalan beban. Data-data tersebut dapat menjadi acuan ataupun referensi dalam pengembangan sistem kelistrikan.

3.5.1 Data Peramalan Beban

Dengan adanya peningkatan kebutuhan listrik disetiap tahunnnya, maka dibutuhkannya peramalan beban dalam pengembangan sistem kelistrikan untuk menjamin kecukupan kebutuhan listrik untuk konsumen di tahun-tahun kedepannya. Peramalan beban yang dilakukan adalah sepuluh tahun dan data ini akan menjadi acuan dalam pemodelan sistem kelistrikan di tahun-tahun kedepannya. Data peramalan beban yang didapat dari PLN UID. Lampung dapat dilihat pada Tabel 3.10.

Tabel 3. 10 Data Peramalan Beban ULP. Karang

Tahun	Forecast Energi Terjual (10^6 kWH)	Jumlah Hari	Beban (kW)
2020	399.33	366	45461.07
2021	419.77	365	47918.95
2022	442.98	365	50568.49
2023	469.17	365	53558.22
2024	498.58	366	56760.02
2025	531.47	365	60670.09
2026	568.12	365	64853.88
2027	608.82	365	69500.00
2028	653.91	366	74443.31
2029	703.73	365	80334.47
2030	758.67	365	86606.16

(Sumber: Data Peramalan Beban ULP. Karang, PLN UID. Lampung)

Data-data pada Tabel 3.10 adalah data peramalan beban di ULP. Karang secara keseluruhan sampai pada tahun 2030. Pada tugas akhir ini, data tersebut akan digunakan dalam memodelkan ke sistem pengembangan. Data yang digunakan adalah data peramalan beban pada tahun 2023, 2025, dan 2030. Dalam mengonversi menjadi data peramalan beban setiap penyulang, digunakan pendekatan *End-Use*, yaitu pendekatan untuk mengubah data keseluruhan yang umum, menjadi suatu data yang lebih spesifik berdasarkan kebutuhan. Dalam hal ini, dilakukan konversi beban listrik keseluruhan ULP. Karang ke setiap penyulang dengan asumsi presentase pembebanan penyulangnya

adalah konstan dengan pembebanan penyulang per Januari 2020 seperti pada Tabel 3.5. Kenaikan beban listrik pada setiap penyulang dapat dilihat pada Tabel 3.11.

Tabel 3. 11 Data Kenaikan Beban Listrik pada Setiap Penyulang

Kenaikan Beban Listrik (kW)			
Penyulang	**Tahun**		
	2020-2023	**2023-2025**	**2025-2030**
Kabut	679.36	596.70	2176.07
Topan	708.61	622.38	2269.74
Embun	558.30	490.36	1788.29
Pelangi	656.52	576.64	2102.92
Cerah	361.71	317.70	1158.60
Tornado	589.63	517.88	1888.64
Lesus	462.53	406.24	1481.52
Kemarau	500.33	439.45	1602.60
Guruh	485.59	426.50	1555.39
Senja	301.45	264.77	965.58
Pasang	395.57	347.43	1267.04
Suzuki	462.06	405.84	1480.04
Alba	604.25	530.72	1935.48
Tissot	649.68	570.62	2080.99
Gucci	681.58	598.64	2183.17

Data peramalan beban pada Tabel 3.11 akan digunakan sebagai acuan pengembangan sistem kelistrikan. Setelah adanya data kenaikan beban per penyulang, akan dilakukan pembagian yang lebih spesifik, yaitu pembagian kenaikan beban listrik per gardu distribusi pada setiap penyulang tersebut.

3.5.2 Data Kepadatan Beban

Setelah data ramalan beban ULP. Karang dikonversi menjadi data ramalan per penyulang, dibutuhkan suatu cara untuk membuat penyebaran jumlah beban lebih spesifik, yaitu dengan cara mencari pertambahan beban kelistrikan untuk setiap gardu distribusi yang diampu penyulang tersebut. Pembagian peramalan beban pada gardu distribusi harus memiliki dasar yang pasti untuk penambahannya.

Cara yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan data kepadatan beban. Data kepadatan di sini merepresentasikan banyaknya konsumen listrik di suatu daerah. Untuk membagi berdasarkan gardu distribusi, cakupan kelurahan setiap penyulang harus diketahui terlebih dahulu, agar pembagian data peramalan beban menjadi lebih akurat.

Data kepadatan beban setiap kelurahan ini yang kemudian akan dicari rasio kenaikan setiap gardu distribusinya dan akan dikalikan dengan nilai penambahan beban listrik pada kurun waktu tertentu. Data cakupan kelurahan dan kepadatan terlampir di lampiran.

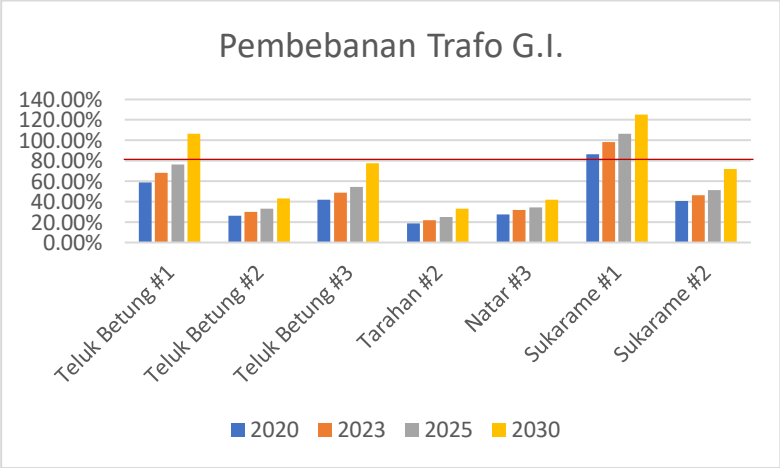
3.5.3 Data Pembebanan Trafo Gardu Induk

Data pembebanan trafo gardu induk merupakan data yang menunjukkan kecukupan dari suatu trafo gardu induk *existing* untuk menampung beban kelistrikan di tahun-tahun mendatang. Pembebanan dapat dilihat pada Tabel 3.12 dan Gambar 3.8.

Tabel 3. 12 Pembebanan Trafo Gardu Induk

Trafo GI	Trafo GI (MVA)	Pembebanan (MVA)			
		2020	2023	2025	2030
Teluk Betung #1	60	35.45	41.01	45.76	64.01
Teluk Betung #2	60	15.76	17.97	19.90	25.74
Teluk Betung #3	60	25.28	29.26	32.81	46.66
Tarahan #2	60	11.32	13.17	14.83	19.78
Natar #3	60	16.49	18.98	20.73	25.10
Sukarame #1	30	25.97	29.47	31.85	37.56
Sukarame #2	60	24.21	27.95	30.84	43.19

(Sumber: Data Pembebanan GI, PLN UID. Lampung)



Gambar 3. 8 Grafik Pembebanan Gardu Induk

Data pada Tabel 3.12 merupakan data pembebanan gardu induk di kota Bandar Lampung sampai dengan tahun 2030. Data pembebanan trafo gardu induk ini akan digunakan sebagai pertimbangan saat akan menambah penyulang baru. Pembebanan trafo gardu induk yang sudah mencapai angka 80% atau lebih diberi peringatan *overload.* Penyulang baru akan dihubungkan ke trafo gardu induk yang pembebanannya masih cukup untuk menampung beban dari penyulang baru tersebut.

3.6 Metode *Reliability Index Assessment*

Tugas akhir ini menggunakan metode prediksi keandalan *Reliability Index Assessment.* Metode ini merupakan perhitungan keandalan yang digunakan untuk memprediksi keandalan suatu sistem kelistrikan di masa mendatang. Perhitungan dilakukan memperhatikan laju kegagalan dan waktu perbaikan dari segala komponen kelistrikan yang ada. Metode ini memiliki tiga parameter dasar yang dibutuhkan untuk analisis. Parameter tersebut adalah:

- λ = Laju Kegagalan Rata-rata (Kali/Tahun)
- U = Waktu Gangguan Tahunan (Jam/Tahun)
- r = Waktu Perbaikan (Jam)

Parameter-parameter tersebut kemudian diolah berdasarkan jumlah komponen dari masing-masing penyulang pada tugas akhir ini dengan hasil akhir berupa SAIDI dan SAIFI. Pengolahan data tersebut dapat dirumuskan menjadi:

$$\text{SAIDI} = \sum_{n=1}^{k} \lambda n \tag{3.1}$$

$$\text{SAIFI} = \sum_{n=1}^{k} \text{Un} \tag{3.2}$$

dimana:
$U = \lambda.r$
n = Komponen Kelistrikan ke X

Pada tugas akhir ini, perhitungan menggunakan metode RIA dilakukan menggunakan kalkulasi dari modul keandalan pada *software* ETAP 16.0.0. Namun, sebelum menggunakan modul pada *software* tersebut, harus dilakukan validasi terlebih dahulu tentang kesamaan kalkulasi ETAP dengan RIA. Validasi tersebut dilakukan dengan membuat pemodelan sistem kecil dengan data *input* seperti Tabel 3.13.

Tabel 3. 13 Asumsi Parameter Keandalan Pemodelan Kecil

Nama Peralatan	Jumlah	Panjang (km)	λ (f/yr)	r(hr)
Generator	1	-	0.032	10
Bus	6		0.001	10
Trafo	3		0.005	10
Lumped Load	1		0.02	50
Switch	1		0.003	10
Transmission Line	2	0.8	0.2/km	10

3.6.1 Perhitungan RIA Manual

Hasil perhitungan manual dilakukan sesuai dengan rumus perhitungan RIA pada persamaan 3.1 dan 3.2.

- **Perhitungan SAIDI:**

$$(0.032\text{x}1(\text{Gen})\text{x}10(\text{jam})) + (0.001\text{x}6(\text{Bus})\text{x}10(\text{jam})) + (0.005\text{x}3(\text{Trafo})\text{x}10(\text{jam})) + (0.02\text{x}1(\text{Load})\text{x}50(\text{jam})) + (0.003\text{x}1(\text{Switch})\text{x}10(\text{jam})) + \left(0.2\text{x}0.8\text{x}2(\text{Line})\text{x}10(\text{jam})\right)$$

= 4.76 Jam/Tahun

- **Perhitungan SAIFI:**

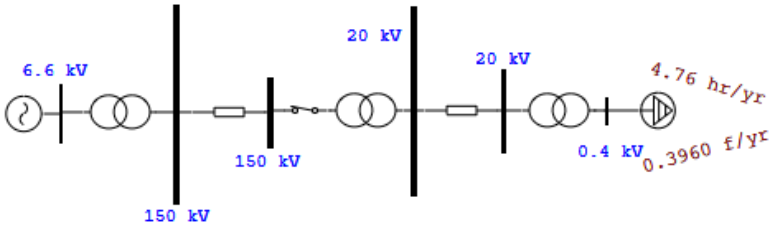
$$(0.032\text{x}1(\text{Gen})) + (0.001\text{x}6(\text{Bus})) + (0.005\text{x}3(\text{Trafo})) + (0.02\text{x}1(\text{Load})) + (0.003\text{x}1(\text{Switch})) + (0.2\text{x}0.8\text{x}2(\text{Line}))$$

= **0.396 Kali/Tahun**

Hasil perhitungan manual menunjukkan angka SAIDI sebesar 4.76 jam/tahun dan 0.396 kali/tahun. Hasil ini akan dibandingkan dengan hasil kalkulasi pada *software* ETAP 16.0.0 untuk diuji validitasnya.

3.6.2 Perhitungan RIA *Software* ETAP 16.0.0

Hasil perhitungan pada *software* ETAP 16.0.0 dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Hasil Perhitungan Pemodelan Kecil ETAP 16.0.0

Hasil perhitungan pada ETAP 16.0.0 menunjukkan angka SAIDI sebesar 4.76 jam/tahun dan SAIFI sebesar 0.396 kali/tahun. Dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan manual dan perhitungan pada kalkulasi ETAP 16.0.0 adalah sama. Hasil perbandingan ini menunjukkan validitas dari metode RIA pada ETAP 16.0.0. Sehingga, untuk tugas akhir ini, perhitungan RIA menggunakan *software* ETAP 16.0.0 dapat dilakukan.

BAB IV
HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Tegangan Jatuh dan Arus pada Setiap Penyulang Sistem Kelistrikan *Existing*

Tegangan jatuh dan arus setiap penyulang dapat menjadi referensi untuk menentukan kebutuhan penyulang di masa mendatang agar tegangan jatuh di ujung saluran tidak melewati batas yang diperbolehkan. Tegangan jatuh yang besar disebabkan karena besarnya beban listrik dan lokasi penyaluran yang jauh dari gardu induk ke beban tersebut. Oleh karenanya, tegangan jatuh ini dapat menjadi referensi atau acuan untuk penambahan ataupun pengalihan penyulang kedepannya. Data tegangan jatuh dan arus pada sistem kelistrikan ULP. Karang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data Tegangan Jatuh dan Arus Setiap Penyulang Tahun 2020

No	Penyulang	GI	%VD		Arus (A)
			Tegangan Ujung Penyulang	Tegangan Jatuh	
1	Kabut	Teluk Betung	94.84	5.16	203.1
2	Topan	Teluk Betung	95.29	4.71	161
3	Embun	Teluk Betung	96.82	3.18	104
4	Pelangi	Teluk Betung	94.79	5.21	284.1
5	Cerah	Teluk Betung	98.11	1.89	50
6	Tornado	Teluk Betung	95.66	4.34	152.6
7	Lesus	Teluk Betung	94.02	5.98	167
8	Kemarau	Teluk Betung	93.47	6.53	141.9
9	Guruh	Teluk Betung	96.46	3.54	62.4
10	Senja	Teluk Betung	97.19	2.81	36.3
11	Pasang	Tarahan	92.29	7.71	114.1
12	Suzuki	Natar	91.72	8.28	198.1
13	Alba	Sukarame	95.1	4.9	148.8
14	Tissot	Sukarame	91.52	8.48	214.7
15	Gucci	Sukarame	96.97	3.03	39

Standar yang ditetapkan (SPLN 1:1995) untuk tegangan jatuh maksimal yang diperbolehkan adalah 10%. Diketahui dari Tabel 4.1, pada penyulang Pasang, Suzuki, dan Tissot memiliki tegangan jatuh yang cukup besar dibandingkan dengan yang lainnya. Namun, untuk arus yang mengalir pada sistem kelistrikan setiap penyulang masih dikatakan aman, melihat kapasitas arus maksimal yang diperbolehkan

untuk operasional dari konduktor AAAC 150mm^2, yaitu 400A. Arus terbesar terdapat pada penyulang Pelangi yang mencapai 284.1A. Data tersebut dapat menjadi acuan untuk penambahan ataupun pengalihan penyulang terhadap beban-beban pada penyulang yang sudah atau hampir melewati standar yang diperbolehkan.

4.2 Hasil Perhitungan SAIDI dan SAIFI Sistem Kelistrikan *Existing* di Setiap Penyulang

Setelah dilakukan pemodelan sistem kelistrikan *existing* pada *software* ETAP 16.0.0, maka dapat dilakukan kalkulasi SAIDI dan SAIFI menggunakan metode RIA pada modul keandalan ETAP 16.0.0. Hasil kalkulasi dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Data SAIDI dan SAIFI Sistem Kelistrikan *Existing* ULP. Karang

No	Penyulang	SAIDI (jam/pelanggan)	SAIFI (kali/pelanggan)
1	Kabut	32.7783	2.3227
2	Topan	31.5951	2.2367
3	Embun	29.4121	1.9688
4	Pelangi	35.1003	3.3271
5	Cerah	24.2143	1.5654
6	Tornado	31.8349	2.3198
7	Lesus	37.3985	2.8717
8	Kemarau	42.9418	3.6766
9	Guruh	22.2205	1.172
10	Senja	23.8315	1.3654
11	Pasang	59.8154	4.9676
12	Suzuki	52.4119	4.9163
13	Alba	42.4109	3.5004
14	Tissot	49.525	4.3824
15	Gucci	47.0495	3.6699
ULP. Karang Keseluruhan		26.4238	3.9462

Data pada Tabel 4.2 merupakan data keandalan SAIDI dan SAIFI setiap penyulang dan keseluruhan sistem kelistrikan *existing* pada ULP. Karang. Diketahui SAIDI dan SAIFI sistem kelistrikan ULP. Karang secara keseluruhan adalah 26.4238 jam/tahun dan 3.9462 jam/tahun. Data tersebutlah yang menjadi acuan dalam pengembangan sistem kelistrikan dalam hal keandalan pada tugas akhir ini. Pada tugas akhir ini akan dilakukan rekonfigurasi yang tepat agar keandalan sistem kelistrikan di ULP. Karang menjadi lebih andal.

4.3 Penambahan Beban di Setiap Gardu Distribusi

Data penambahan beban di setiap gardu distribusi merupakan salah satu data paling penting yang dibutuhkan dalam pengembangan sistem kelistrikan. Data ini digunakan untuk mengetahui besar penambahan beban secara spesifik per gardu distribusi yang diampu suatu penyulang. Penentuan penambahan beban baru dapat diperoleh setelah adanya data peramalan beban per penyulang yang sebelumnya sudah dikonversi berdasarkan presentase pembebanan masing-masing penyulang yang ditunjukan pada Tabel 3.11. Dalam menentukan porsi pembagian beban pada setiap penyulang, dibutuhkan data cakupan kelurahan di setiap penyulang yang disertai dengan data kepadatan beban listrik. Data kepadatan beban listrik setiap kelurahan tersebut akan dikalikan dengan rasio daya setiap kelurahan yang dicakup suatu penyulang, lalu hasil perkalian tersebut akan menghasilkan sebuah koefisien pengali yang akan dibagi dengan jumlah gardu distribusi yang ada pada setiap kelurahan pada suatu penyulang, dan kemudian dikalikan dengan penambahan beban pada setiap penyulang tersebut. Penambahan ini dilakukan dalam jangka waktu sampai dengan tahun 2030 dengan parameter jangka pendek (3 tahun), jangka menengah (5 tahun), dan jangka panjang (10 tahun). Berikut adalah rangkuman rumus untuk mendapatkan penambahan beban di setiap gardu distribusi:

$$RSn = \frac{Skeln}{\sum_{n=1}^{k} Skeln} \tag{4.1}$$

dimana:
RS = Rasio Daya pada Kelurahan
Skel = Daya pada Kelurahan X
n = Kelurahan X dalam suatu penyulang
k = Kelurahan Terakhir di suatu Penyulang

$$Cn = \frac{Dnt.RSn}{\sum_{n=1}^{k} Dnt.RSn} \tag{4.2}$$

dimana:
Cn = Koefisien Pengali Kelurahan X
Dnt = Kepadatan Kelurahan X
t = tahun Y

$$PBn = \frac{Cn.LFx}{\sum_{n=1}^{k} GDn} \tag{4.3}$$

dimana:

PBn = Pertumbuhan Beban di Setiap GD Kelurahan X
LFx = Peramalan Beban di Penyulang X
GDn = Gardu Distribusi pada Kelurahan X

Proses pengolahan data secara lengkap dapat dilihat pada lampiran. Hasil pengolahan data untuk penambahan beban di setiap gardu distribusi dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Penambahan Beban di Setiap Gardu Distribusi

Penyulang	Lingkup Kelurahan	Jumlah Trafo per Kelurahan	(+) Beban tiap Trafo 2023 (kW)	(+) Beban tiap Trafo 2025 (kW)	(+) Beban tiap Trafo 2030 (kW)
Kabut	Enggal	10	8.2472	15.3065	39.5142
	Gotong Royong	17	10.6328	20.2115	58.4912
	Pelita	25	8.6957	16.1389	41.663
	Tanjung Karang	13	12.0275	22.8665	62.7212
	Kebon Jeruk	5	8.4764	15.7319	41.1366
Topan	Palapa	22	11.2354	20.6158	51.9185
	Penengahan	4	9.4364	17.3148	56.1269
	Pasir Gintung	18	11.7853	23.2946	63.7668
	Surabaya	13	14.3308	26.2955	73.8414
	Gunung Sulah	3	8.4148	15.6786	42.092
Embun	Durian Payung	19	10.091	19.7465	60.0846
	Kelapa Tiga Permai	5	9.5395	17.3475	45.3654
	Gedong Air	7	18.602	34.8099	87.1234
	Gunung Agung	11	17.1506	31.1883	78.0591
Pelangi	Gotong Royong	11	6.3828	12.0904	33.8568
	Pasir Gintung	9	12.0022	23.9116	65.0699
	Jagabaya I	2	12.9921	24.0283	60.4231
	Jagabaya II	13	7.0951	13.1221	34.5773
	Jagabaya III	4	6.2568	11.5718	29.4827
	Penengahan	8	7.1639	13.2494	42.6954
	Sidodadi	12	9.492	17.5551	45.1626
	Kebon Jeruk	8	16.3558	30.2494	76.5384
	Sawah Lama	4	5.2462	9.7027	33.2
	Sawah Brebes	2	5.9997	11.2837	30.5581

Tabel 4. 4 Penambahan Beban di Setiap Gardu Distribusi (Lanjutan)

Penyulang	Lingkup Kelurahan	Jumlah Trafo per Kelurahan	(+) Beban tiap Trafo 2023 (kW)	(+) Beban tiap Trafo 2025 (kW)	(+) Beban tiap Trafo 2030 (kW)
Cerah	Gotong Royong	2	80.5393	153.2872	440.2956
	Palapa	4	50.1583	93.2088	239.3553
Tornado	Kaliawi Persada	8	10.6632	20.4083	57.8905
	SukaJawa	11	16.6941	30.2772	79.9803
	Kaliawi	9	13.4081	25.1016	67.9936
	Durian Payung	10	7.4062	14.4261	43.1441
	SukaMenanti	12	10.4958	20.0844	50.8208
Lesus	Kupang Teba	13	5.2744	10.363	30.5812
	Kota Baru	4	5.7112	10.6529	28.3376
	Pahoman	3	4.6732	8.7068	23.1959
	Rawa Laut	30	5.6751	10.5736	28.1267
	Enggal	20	9.342	17.4055	46.2999
Kemarau	Kota Baru	16	10.4471	19.635	53.0374
	Tanjung Raya	3	8.4209	15.8531	43.5844
	Tanjung Agung Raya	12	16.2956	30.5925	82.6354
	Kedamaian	14	8.0259	15.0674	40.8144
Guruh	Susunan Baru	9	39.1608	74.0917	205.2477
	Sukadanaham	20	6.6571	12.2632	31.0126
Senja	Pelita	6	33.8485	63.0801	164.0677
	Gotong Royong	3	32.7866	62.5798	182.4647
Pasang	Kota Baru	7	9.7035	18.0186	46.1769
	Bumi Kedamaian	20	9.5295	17.9559	50.3258
	Tanjung Gading	3	1.982	4.6315	14.7405
	Tanjung Raya	13	10.085	18.758	48.9278
Suzuki	Kemiling Raya	14	4.9245	9.5844	27.3528
	Pinang Jaya	9	4.2684	8.1202	24.8199
	Beringin Jaya	23	2.7673	5.2756	14.2443
	Beringin Raya	31	8.7836	16.2981	42.7544
	Sumber Agung	11	1.7062	3.0963	8.0567
Alba	Tanjung Baru	22	11.1571	20.0124	50.1319
	Jagabaya III	23	9.1433	16.9747	44.7443
	Kalibalau Kencana	11	13.4996	27.6618	85.3115

Tabel 4. 5 Penambahan Beban di Setiap Gardu Distribusi (Lanjutan)

Penyulang	Lingkup Kelurahan	Jumlah Trafo per Kelurahan	(+) Beban tiap Trafo 2023 (kW)	(+) Beban tiap Trafo 2025 (kW)	(+) Beban tiap Trafo 2030 (kW)
Tissot	Segala Mider	30	10.4535	19.5243	51.6891
	Gunung Terang	14	10.108	18.8789	49.5895
	Langkapura	19	5.7754	11.1489	33.5216
	Langkapura Baru	12	7.0691	13.2031	34.9542
Gucci	Penengahan	6	113.5965	213.3703	577.2323

Data pada Tabel 4.3 digunakan untuk menambahkan *loading* dari beban di tahun 2023, 2025, dan 2030. Data tersebut akan kembali dimodelkan ke dalam sistem kelistrikan pengembangan pada ETAP 16.0.0 menjadi sistem kelistrikan pengembangan ULP. Karang. Sistem pengembangan tersebut akan kembali disimulasikan di analisis *Load Flow*nya untuk menentukan rekonfigurasi yang harus dilakukan pada ULP. Karang di tahun-tahun kedepannya.

4.4 Tegangan Jatuh Penyulang Sebelum Rekonfigurasi Pada Tahun 2023, 2025, dan 2030.

Tabel 4. 6 Data Tegangan Jatuh Setiap Penyulang tahun 2023, 2025, dan 2030

No	Penyulang	GI	%VD		
			2023	2025	2030
1	Kabut	Teluk Betung	5.91	6.6	9.29
2	Topan	Teluk Betung	5.5	6.22	9.11
3	Embun	Teluk Betung	3.78	4.32	6.45
4	Pelangi	Teluk Betung	5.72	6.19	7.64
5	Cerah	Teluk Betung	2.2	2.48	3.01
6	Tornado	Teluk Betung	5.05	5.7	8.38
7	Lesus	Teluk Betung	6.8	7.54	9.27
8	Kemarau	Teluk Betung	7.56	8.5	12.43
9	Guruh	Teluk Betung	4.4	5.2	8.85
10	Senja	Teluk Betung	3.37	3.88	6.07
11	Pasang	Tarahan	8.82	9.84	13.95
12	Suzuki	Natar	9.09	9.82	12.64
13	Alba	Sukarame	5.68	6.38	9.15
14	Tissot	Sukarame	9.73	10.9	16.62
15	Gucci	Sukarame	4.59	6.11	14.33

Data pada Tabel 4.6 merupakan data tegangan jatuh setiap penyulang pada tahun 2023, 2025, dan 2030. Dapat dilihat bahwa pada tahun 2023, penyulang Pasang, Suzuki, dan Tissot memiliki tegangan jatuh yang sangat tinggi, hampir melewati batas yang diperbolehkan (10%). Terlihat bahwa tegangan jatuh yang paling tinggi berada pada penyulang Tissot, yaitu mencapai angka 9.73%.

Pada tahun 2025, penyulang Tissot sudah melewati batas yang diperbolehkan, yaitu mencapai 10.9%. Penyulang Pasang dan Suzuki juga hampir melewati batas yang diperbolehkan, yaitu mencapai 9.84% dan 9.82%. Sedangkan penyulang yang lain masih berada cukup jauh dari standar yang diperbolehkan. Pada tahun ini, perlu dilakukan rekonfigurasi terhadap penyulang Tissot.

Pada tahun 2030, terdapat total lima penyulang pada ULP. Karang yang memiliki tegangan jatuh melewati batas yang diperbolehkan. Kelima penyulang tersebut adalah penyulang Kemarau, Pasang, Suzuki, Tissot, dan Gucci. Penyulang Tissot sudah dilakukan rekonfigurasi pada tahun 2025, sehingga pada tahun ini, yang perlu rekonfigurasi adalah penyulang Kemarau, Pasang, Suzuki, dan Gucci jika dilihat dari tegangan jatuhnya.

4.5 Arus Penyulang Sebelum Rekonfigurasi pada Tahun 2023, 2025, dan 2030.

Tabel 4. 7 Data Arus pada Setiap Penyulang tahun 2023, 2025, dan 2030

No	Penyulang	GI	Arus (A)		
			2023	2025	2030
1	Kabut	Teluk Betung	228.7	251.7	339.9
2	Topan	Teluk Betung	187.8	211.9	304.8
3	Embun	Teluk Betung	124.9	143.7	216.5
4	Pelangi	Teluk Betung	309.2	331.6	415.1
5	Cerah	Teluk Betung	63.2	75.5	88.6
6	Tornado	Teluk Betung	175.2	195.5	274
7	Lesus	Teluk Betung	185.1	201.2	263.4
8	Kemarau	Teluk Betung	162.1	180.5	254.1
9	Guruh	Teluk Betung	80.9	98.0	173.8
10	Senja	Teluk Betung	47.4	57.4	97.0
11	Pasang	Tarahan	130.2	144.8	202.7
12	Suzuki	Natar	217.0	233.8	298.8
13	Alba	Sukarame	171.7	192.4	273.1
14	Tissot	Sukarame	243.0	269.0	377.4
15	Gucci	Sukarame	64.9	89.6	281.4

Data pada Tabel 4.7 merupakan data arus yang mengalir pada setiap penyulang pada tahun 2023, 2025, dan 2030. Dapat dilihat bahwa pada tahun 2023 dan 2025 arus yang melewati setiap penyulang masih dibatas aman, belum melewati 400A (kapasitas arus maksimum untuk operasional dari AAAC 150mm^2). Namun, pada tahun 2030, terdapat arus yang melewati kapasitas arus maksimum pada konduktor, yaitu pada penyulang Pelangi dengan besar arus 415.1A. Sehingga pada tahun 2030, penyulang Pelangi juga harus dilakukan rekonfigurasi karena arusnya melebihi kapasitas arus maksimum yang diizinkan.

4.6 Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi dilakukan dengan melakukan pengalihan beban ke suatu penyulang, baik ke penyulang yang sudah ada sebelumnya, ataupun penyulang baru sesuai dengan kebutuhan. Dalam melakukan rekonfigurasi, banyak aspek yang dipertimbangkan, antara lain tegangan jatuh, arus, keandalan, letak *keypoint*, syarat penambahan penyulang baru, kapasitas gardu induk yang akan menyuplai penyulang baru, dan juga faktor-faktor lainnya.

Pada tahun 2023, melihat dari tegangan jatuh dan arus yang mengalir pada setiap penyulang, belum ada tegangan jatuh ataupun arus yang melewati batas yang diperbolehkan. Tegangan jatuh di ujung saluran tidak ada yang melewati batas yang diperbolehkan oleh SPLN (10%) dan arus yang mengalir tidak ada yang melebihi kapasitas maksimum untuk operasional dari konduktor AAAC 150mm^2 (400A). Sehingga, pada tahun 2023 tidak perlu dilakukan rekonfigurasi jaringan.

Tugas akhir ini akan menunjukkan dua skenario rekonfigurasi pada tahun 2025 dan dua skenario rekonfigurasi pada tahun 2030 yang terdiri dari satu skenario yang akan dipakai untuk rekonfigurasi dan satu contoh skenario lainnya yang akan menjadi pertimbangan untuk pengembangan sistem kelistrikan ULP. Karang. Skenario rekonfigurasi yang akan dipilih adalah yang memenuhi standar operasional yang telah ditentukan, yaitu tegangan jatuh maksimal adalah 10% (SPLN 1:1995) dan arus penyulang tidak lebih dari 400A (Kapasitas maksimum untuk operasional AAAC 150mm^2).

4.6.1 Tahun 2025

Pada tahun 2025, dilihat dari arus yang mengalir pada setiap penyulang, belum ada yang melebihi batas. Namun, jika dilihat dari tegangan jatuh, penyulang Tissot sudah melewati batas yang

diperbolehkan, yaitu mencapai 10.9%. Sehingga, pada tahun 2025 perlu dilakukan rekonfigurasi pada penyulang Tissot.

4.6.1.1 Skenario I 2025

Tabel 4. 8 Data Rekonfigurasi Skenario I 2025

REKONFIGURASI 2025					
No	Nama	Keterangan			Penyulang
1	LBSM K451	Keypoint	Existing	Open	Tissot
2	LBSM K68	Keypoint	Existing	Closed	Embun-Pec. Tissot

Skenario I pada tahun 2025 adalah melakukan rekonfigurasi pada penyulang Tissot dengan mengubah status LBSM K451 pada penyulang Tissot menjadi *normally open* (NO). Dengan dibukanya LBSM K451, maka terdapat beban pada penyulang Tissot yang terpecah, sehingga beban pecahan Tissot tersebut butuh untuk disuplai. Beban terpecah pada Tissot tersebut akan dialihkan ke penyulang Embun dengan cara mengubah status dari LBSM K68 menjadi *normally closed* (NC). Sehingga, LBSM K68 tersebut menghubungkan beban-beban penyulang Tissot yang terpecah tersebut dan menjadi bagian dari penyulang Embun pada tahun 2025. Setelah dilakukan rekonfigurasi, maka analisis operasional lebih lanjut ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Data Tegangan Jatuh dan Arus Skenario I 2025

Penyulang	Sebelum (2025)		Sesudah (2025)	
	VD (%)	Arus (A)	VD (%)	Arus (A)
Tissot	10.9	269	3.48	105.5
Embun	4.32	143.7	8.63	301.4

Melihat pada Tabel 4.9, tegangan jatuh dan arus dari kedua penyulang di atas masih aman untuk dilakukan rekonfigurasi pada tahun 2025. Namun, analisa lebih lanjut terhadap dampak rekonfigurasi skenario I untuk tahun 2030 mendatang juga perlu dilakukan sebagai pertimbangan. Prediksi dampak rekonfigurasi skenario I di tahun 2030 dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Data Prediksi Skenario I 2025 di Tahun 2030

Penyulang	Sebelum (2025)		Sesudah (2030)	
	VD (%)	Arus (A)	VD (%)	Arus (A)
Tissot	3.48	105.5	4.83	144.0
Embun	8.63	301.4	12.5	439

Melihat pada Tabel 4.10, tegangan jatuh dan arus dari penyulang Tissot pada tahun 2030 masih berada dalam standar yang

diperbolehkan, namun melihat kondisi tegangan jatuh dan arus dari penyulang Embun, penyulang Embun memiliki tegangan jatuh dan arus yang melewati standar operasional yang diperbolehkan. Sehingga, rekonfigurasi ini hanya dapat dilakukan pada tahun 2025. Pada tahun 2030 akan dibutuhkan rekonfigurasi lagi untuk penyulang Embun jika menggunakan skenario I. Hal ini dapat menjadi pertimbangan dalam menentukan rekonfigurasi yang terbaik.

4.6.1.2 Skenario II 2025

Tabel 4. 11 Data Rekonfigurasi Skenario II 2025

REKONFIGURASI 2025					
No	Nama	Keterangan			Penyulang
1	LBSM K451	Keypoint	Existing	Open	Tissot
2	P. Baru 2025	Penyulang	New	Closed	G.I Natar – Pec. Tissot
3	LBSM NT3-P.2025	Keypoint	New	Closed	P. Baru 2025
4	REC NT3-P.2025	Keypoint	New	Closed	P. Baru 2025

Skenario II dilakukan dengan mengalihkan beban dari penyulang Tissot dengan membuka LBSM K451. Beban terpecah tersebut akan dihubungkan dengan penyulang baru 2025 yang dihubungkan dengan gardu induk Natar#3 dengan beban pecahan dari Tissot. Penyulang baru ini akan dilengkapi dengan LBSM dan Recloser di awal saluran sebagai perangkat pengaman di penyulang baru ini.

Gardu Induk Natar#3 dipilih karena memiliki jarak yang paling dekat dengan gardu induk lainnya, yaitu sepanjang 4.63 km. Dengan jarak yang dekat, maka tegangan jatuh, arus, dan keandalan dapat menjadi lebih optimum, karena semakin jauh suatu saluran, maka impedansi semakin besar dan laju kegagalan akan semakin besar pula. Selain alasan jarak, gardu induk Natar#3 dipilih karena trafo gardu induk Natar#3 masih cukup untuk menampung beban pecahan dari Tissot tersebut pada tahun 2025 dan 2030. Diketahui bahwa penyulang Baru 2025 akan menambah pembebanan trafo GI Natar#3 sebanyak 5.15 MVA pada tahun 2025, dan 9.36 MVA pada tahun 2030. Perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Pembebanan Trafo GI Natar#3

Trafo GI	**Kapasitas Trafo GI (MVA)**	**Pembebanan Trafo G.I Natar#3 (MVA)**			
		Sebelom Rekonfigurasi		**Setelah Rekonfigurasi**	
		2025	**2030**	**2025**	**2030**
Natar #3	60	20.73	25.10	25.88	30.09

Pertimbangan dibuat penyulang baru ini adalah agar pada tahun 2030, penyulang baru ini juga mampu menampung pecahan beban dari penyulang lain yang jaraknya berdekatan, yaitu pecahan beban dari penyulang Suzuki dan Gucci yang akan direkonfigurasi pada tahun 2030 nanti. Rekonfigurasi ini dirancang agar tidak perlu menambahkan penyulang baru khusus untuk penyulang Suzuki dan Gucci pada tahun 2030 nanti. Setelah dilakukan rekonfigurasi, maka analisis operasional lebih lanjut ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Data Tegangan Jatuh dan Arus Skenario II 2025

Penyulang	Sebelum (2025)		Sesudah (2025)	
	VD (%)	Arus (A)	VD (%)	Arus (A)
Tissot	10.9	269	3.48	105.5
P. Baru 2025	-	-	4.19	148.6

Data yang dicakup pada Tabel 4.13 merupakan data perbandingan penyulang yang direkonfigurasi pada tahun 2025. Dari data diatas, dapat disimpulkan bahwa dengan rekonfigurasi yang dilakukan pada penyulang Tissot di tahun 2025, rekonfigurasi ini mampu menurunkan tegangan jatuh dari 10.9% menjadi 3.48%. Arus pada penyulang Tissot juga turun dari 269A menjadi 105.5A. Tegangan jatuh dan arus pada penyulang Baru 2025 juga masih dibatas yang diperbolehkan. Penurunan ini terjadi karena adanya pengalihan beberapa beban dari penyulang Tissot ke penyulang Baru 2025, yang membuat arus yang beroperasi dan panjang saluran pada penyulang Tissot menjadi berkurang.

Tabel 4. 14 Data Prediksi Skenario II 2025 di Tahun 2030

Penyulang	Sebelum (2025)		Sesudah (2030)	
	VD (%)	Arus (A)	VD (%)	Arus (A)
Tissot	3.48	105.5	4.83	144.0
P. Baru 2025	4.19	148.6	5.57	195.7

Data pada Tabel 4.14 merupakan data prediksi terhadap tegangan jatuh dan arus pada penyulang Tissot dan penyulang Baru 2025 pada tahun 2030 mendatang. Dilihat dari tegangan jatuh dan arus, kedua penyulang tersebut berada di dalam standar operasional yang diperbolehkan. Pertimbangan lebih lanjut sesuai dengan rencana awal dilakukannya penambahan penyulang adalah untuk menggabungkan pecahan beban dari penyulang Suzuki dan Gucci di tahun 2030 mendatang ke dalam penyulang Baru 2025. Analisa lebih lanjut terhadap prediksi opsi tersebut di tahun 2030 dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Prediksi P. Baru 2025 Setelah Rekonfigurasi P. Suzuki dan Gucci

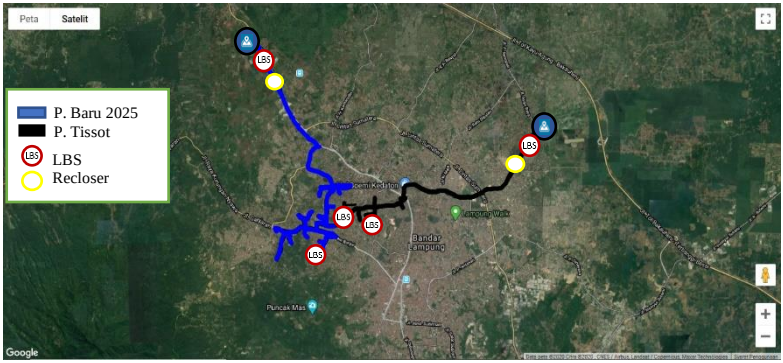
Penyulang	Sebelum (2030)		Sesudah (2030)	
	VD (%)	Arus (A)	VD (%)	Arus (A)
P. Baru 2025	5.57	195.7	8.99	326.8

Data pada Tabel 4.15 merupakan prediksi terhadap tegangan jatuh dan arus pada penyulang Baru 2025 pada tahun 2030 mendatang setelah ditambah dengan pecahan beban dari penyulang Suzuki dan Gucci. Dilihat dari tegangan jatuh dan arus, P. Baru 2025 belum melewati batas yang diperbolehkan, sehingga dapat disimpulkan bahwa P. Baru 2025 ini mampu menampung pecahan beban-beban tersebut di tahun 2030 mendatang nanti, sehingga opsi untuk melakukan penambahan penyulang pada tahun 2025 layak untuk dilakukan. Rekonfigurasi pada Skenario II ini dapat dibandingkan dengan skenario I untuk opsi yang terbaik.

4.6.1.3 Rekonfigurasi Tahun 2025 yang Digunakan

Menimbang dari kedua skenario yang telah dibuat, dapat disimpulkan bahwa rekonfigurasi Skenario II memiliki rancangan yang lebih baik dibandingkan dengan Skenario I, dibuktikan dengan tegangan jatuh dan arus pada penyulang yang mampu memenuhi standar yang telah ditetapkan. Skenario II juga diprediksi mampu menampung beban pecahan dari penyulang Suzuki dan Gucci pada tahun 2030 nanti. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka Skenario II akan digunakan untuk rekonfigurasi pada tahun 2025. Jalur kelistrikan sebelum dan sesudah dilakukan rekonfigurasi dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.

Gambar 4. 1 Jalur Kelistrikan Tissot Sebelum Rekonfigurasi 2025



Gambar 4. 2 Jalur Kelistrikan Baru Sesudah Rekonfigurasi 2025

4.6.2 Tahun 2030

Pada tahun 2030, dilihat dari tegangan jatuh dan arus yang mengalir pada setiap penyulang, rekonfigurasi yang harus dilakukan pada tahun ini cukup banyak jika dibandingkan dengan rekonfigurasi yang dilakukan pada tahun 2025. Pada tahun 2030 ini, ada total lima penyulang yang harus direkonfigurasi, yaitu penyulang Suzuki, Gucci, Kemarau, serta Pasang untuk tegangan jatuh yang melewati batas (10%), dan juga penyulang Pelangi karena arus yang mengalir melewati kapasitas arus maksimum dari penyulang tersebut (400A).

4.6.2.1 Skenario I 2030

Tabel 4. 16 Data Rekonfigurasi Skenario I 2030

REKONFIGURASI 2030					
No	**Nama**	**Keterangan**			**Penyulang**
1	P. Baru 2030	Penyulang	New	Closed	G.I TB – Pec. PEL
2	LBSM TB2-P.2030	Keypoint	New	Closed	P.2030
3	REC TB2-P.2030	Keypoint	New	Closed	P.2030
4	LBSM Brebes	Keypoint	Existing	Open	Pelangi
5	LBSM K31	Keypoint	Existing	Open	Kemarau
6	LBSM K164 (PEL)	Keypoint	Existing	Closed	Pec. PEL - Pec. KEM
7	LBSM K247	Keypoint	New	Open	Suzuki
8	LBSM K581	Keypoint	New	Open	Gucci
9	LBSM SUZ-GUC	Keypoint	New	Closed	Pec. SUZ – Pec. GUC
10	LBSM P.2025-SUZ	Keypoint	New	Closed	P.2025 – Pec. SUZ
11	LBSM K499	Keypoint	Existing	Open	Pasang
12	LBSM Klutum	Keypoint	Existing	Closed	Kemarau - Pasang

Pada tahun 2030, rekonfigurasi Skenario I dilakukan dengan melakukan pengalihan beban pada penyulang Suzuki, Gucci, Kemarau, Pasang, dan Pelangi. Pada penyulang Pelangi dan Kemarau, dilakukan pelepasan beberapa beban pada kedua penyulang tersebut dengan mengubah status LBSM Brebes dan LBSM K31 menjadi *normally open*. Kedua beban tersebut akan dihubungkan satu sama lain melalui LBSM K164. Beban yang sudah terhubung tersebut, akan dijadikan satu penyulang baru di tahun 2030. Rekonfigurasi ini dilakukan dengan menambahkan penyulang baru yang dihubungkan dengan gardu induk Teluk Betung#2. Penyulang baru tahun 2030 ini akan dilengkapi dengan LBSM dan Recloser di awal saluran sebagai perangkat pengaman di penyulang baru ini.

Gardu induk Teluk Betung#2 dipilih karena jarak antara pecahan beban dari penyulang Pelangi tersebut paling dekat dengan gardu induk Teluk Betung, yaitu sepanjang 4.1 km. Selain dari jarak, gardu induk Teluk Betung#2 juga mampu menampung pecahan beban dari penyulang Kemarau dan Pelangi di tahun 2030 ini. Diketahui bahwa penyulang Baru 2030 akan menambah pembebanan trafo GI Teluk Betung#2 sebanyak 10.08 MVA pada tahun 2030. Perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4. 17 Pembebanan Trafo GI TB#2

Trafo GI	Kapasitas Trafo GI (MVA)	Pembebanan Trafo G.I TB#2 (MVA)	
		Sebelom Rekonfigurasi	Setelah Rekonfigurasi
		2030	2030
Teluk Betung #2	60	25.74	35.82

Penyulang baru 2030 ini akan terhubung pertama kali dengan beban pecahan dari penyulang Pelangi yang kemudian akan dihubungkan dengan beban pecahan di penyulang Kemarau. Sebagai hasilnya, penyulang baru 2030 menghubungkan beban pecahan dari penyulang Pelangi dan Kemarau.

Pada penyulang Suzuki, dilakukan penambahan *keypoint* LBSM K247 ditengah penyulang tersebut agar memperkecil luas jaringan yang akan masuk ke penyulang Baru 2025 sehingga standar operasional tegangan jatuh pada penyulang Baru 2025 dapat terpenuhi. Pada penyulang Gucci, dilakukan penambahan *keypoint* untuk memisahkan beban K581 dengan beban sebelumnya. Pemisahan beban di K581 dilakukan karena letak beban K581 yang sangat jauh dari beban sebelumnya pada penyulang Gucci, yang mencapai dua belas kilometer

dalam jarak. Hal tersebut yang membuat tegangan jatuh pada penyulang Gucci di tahun 2030 sangat besar.

Beban yang dipisah pada penyulang Suzuki dan Gucci akan dihubungkan dengan beban pecahan Tissot yang sebelumnya direkonfigurasi ke penyulang baru 2025 dengan menambahkan *keypoint* baru antara pecahan penyulang Tissot dan pecahan Suzuki, serta pecahan Suzuki dan pecahan Gucci. Penambahan *keypoint* tersebut dilakukan untuk menghubungkan beban-beban tersebut kedalam penyulang 2025 agar menjadi satu jalur kelistrikan yang efisien dalam jarak. Sebagai hasilnya, penyulang Baru 2025 menghubungkan beban-beban terpecah dari penyulang Tissot, Suzuki, dan Gucci.

Sedangkan untuk beban yang dipisah pada penyulang Pasang, dilakukan penyaluran beban ke penyulang Kemarau dengan mengubah status dari LBSM K499 di penyulang Pasang menjadi *normally open* dan kemudian menghubungkan beban tersebut ke penyulang Kemarau melalui LBSM Klutum. Sebagai hasilnya, beban yang dipisah pada penyulang Pasang, akan menjadi bagian dari penyulang Kemarau pada tahun 2030. Setelah dilakukan rekonfigurasi, akan dilakukan analisis operasional lebih lanjut.

Tabel 4. 18 Data Tegangan Jatuh dan Arus Skenario I 2030

Penyulang	Sebelum (2030)		Sesudah (2030)	
	VD (%)	Arus (A)	VD (%)	Arus (A)
P. Baru 2025	5.57	195.7	8.99	326.8
Pasang	13.95	202.7	5.88	94.5
Gucci	14.33	281.4	5.19	128.3
Pelangi	7.64	415.1	4.26	241.2
Kemarau	12.43	254.1	6.66	213.0
Suzuki	12.64	298.8	9.27	232.6
P. Baru 2030	-	-	7.13	291.0

Data pada Tabel 4.18 merupakan data perbandingan arus sebelum dan sesudah dilakukan rekonfigurasi pada tahun 2030. Data yang dicakup di atas merupakan data perbandingan penyulang yang direkonfigurasi pada tahun 2030. Pada penyulang Baru 2025, tegangan jatuh dan arus naik pada tahun 2030 dikarenakan masuknya beban pecahan dari penyulang Suzuki dan Gucci ke dalam penyulang Baru 2025. Namun, secara keseluruhan, tegangan jatuh dan arus pada penyulang Baru 2025 masih berada di dalam standar operasional yang ditetapkan.

Terlihat dengan adanya rekonfigurasi pada tahun 2030, pada penyulang Pasang, Gucci, Pelangi, Kemarau, dan Suzuki, tegangan jatuh dan arus yang melebihi batas yang diperbolehkan pada setiap penyulang dapat diatasi dan masuk sesuai standar operasional yang ditetapkan. Penyulang Baru 2030, yang mencakup beban pecahan dari penyulang Pelangi dan Kemarau juga memiliki tegangan jatuh dan arus yang masih berada di dalam standar operasional yang ditetapkan. Tegangan jatuh dan arus dapat berkurang dikarenakan adanya pengalihan beban yang membuat arus yang beroperasi dan juga panjang dari saluran di penyulang yang direkonfigurasi tersebut menjadi berkurang. Hal ini dapat menjadi pertimbangan untuk memilih rekonfigurasi yang terbaik pada tahun 2030.

4.6.2.2 Skenario II 2030

Tabel 4. 19 Data Rekonfigurasi Skenario II 2030

REKONFIGURASI 2030					
No	**Nama**	**Keterangan**			**Penyulang**
1	LBSM K31	Keypoint	Existing	Open	Kemarau
2	LBSM Brebes	Keypoint	Existing	Open	Pelangi
3	LBSM K164 (PEL)	Keypoint	Existing	Closed	Pec. PEL - Pec. KEM
4	LBSM K143	Keypoint	Existing	Closed	Alba – Pec. KEM
5	LBSM K247	Keypoint	New	Open	Suzuki
6	LBSM K581	Keypoint	New	Open	Gucci
7	LBSM SUZ-GUC	Keypoint	New	Closed	Pec. SUZ – Pec. GUC
8	LBSM K223	Keypoint	Existing	Closed	Guruh-Pec. SUZ
9	LBSM K499	Keypoint	Existing	Open	Pasang
10	LBSM Klutum	Keypoint	Existing	Closed	Kemarau – Pasang

Pada Skenario II, dilakukan rekonfigurasi dengan mengubah status dari LBSM K31 dan LBSM Brebes menjadi *normally open* (NO). Hal tersebut membuat beberapa beban pada penyulang Kemarau dan penyulang Pelangi terpecah dari penyulang tersebut. Kemudian beban-beban terpecah dari kedua penyulang tersebut akan saling dihubungkan dengan mengubah status LBSM K164 menjadi *normally closed* (NC). Kemudian, pecahan dari kedua penyulang tersebut akan dihubungkan dengan penyulang Alba melalui LBSM K143 yang menghubungkan antara penyulang Alba dengan Kemarau.

Pada penyulang Suzuki dan Gucci, dilakukan penambahan *keypoint* di dalam penyulang-penyulang tersebut untuk memisahkan beban yang ada di dalam penyulang tersebut. *Keypoint* baru tersebut akan di *open* dan akan menyebabkan pelepasan beban pada sebagian

beban di kedua penyulang tersebut. Kemudian, beban-beban tersebut akan dihubungkan satu sama lain melalui LBSM SUZ-GUC yang juga merupakan *keypoint* baru untuk menghubungkan kedua beban tersebut. Lalu beban-beban tersebut akan dihubungkan ke penyulang Guruh melalui LBSM K223. Sehingga, beban-beban tersebut akan menjadi bagian dari penyulang Guruh pada tahun 2030.

Pada penyulang Pasang, akan dilakukan hal yang serupa dengan Skenario I, yaitu mengubah status dari LBSM K499 di penyulang Pasang menjadi *normally open* dan kemudian menghubungkan beban terpisah tersebut ke penyulang Kemarau melalui LBSM Klutum. Setelah dilakukan rekonfigurasi, analisis operasional lebih lanjut dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4. 20 Data Tegangan Jatuh dan Arus Skenario II 2030

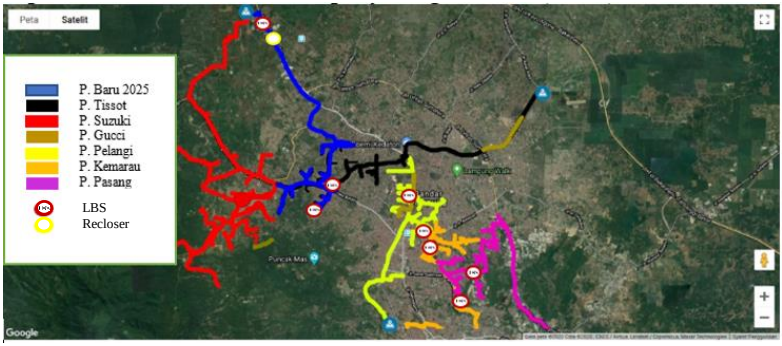
Penyulang	Sebelum (2030)		Sesudah (2030)	
	VD (%)	Arus (A)	VD (%)	Arus (A)
Pelangi	7.64	415.1	4.26	241.2
Kemarau	12.43	254.1	6.66	213
Alba	9.15	273.1	28.62	668.1
Suzuki	12.64	298.8	9.27	232.6
Gucci	14.33	281.4	5.19	128.3
Guruh	8.85	173.8	14.62	321.3
Pasang	13.95	202.7	5.88	94.5

Melihat pada Tabel 4.20, dapat dilihat bahwa tegangan jatuh dan arus dari penyulang Pelangi, Kemarau, Suzuki, Gucci, dan Pasang menjadi lebih bagus dan tidak melewati batas operasional yang diperbolehkan. Namun, jika dilihat pada penyulang Alba, dan Guruh, kedua penyulang tersebut melewati batas operasional yang diperbolehkan cukup jauh. Pada penyulang Guruh, arus pada penyulang belum melewati batas operasional, namun tegangan jatuh sudah mencapai 14.62%. Pada penyulang Alba, tegangan jatuh dan arus sangat jauh dari standar yang diperbolehkan, tegangan jatuh mencapai 28.62%, melebihi standar yang diperbolehkan (10%) sebanyak 18.62% dan arus pada penyulang mencapai 668.1A. Melihat kondisi pada Skenario II ini, maka Skenario I lebih baik untuk digunakan dalam rekonfigurasi pada tahun 2030 ini.

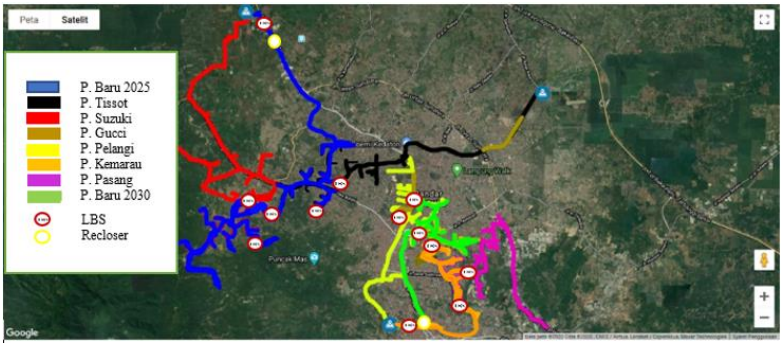
4.6.2.3 Rekonfigurasi Tahun 2030 yang Digunakan

Menimbang dari kedua skenario yang telah dibuat, dapat disimpulkan bahwa rekonfigurasi pada Skenario I memiliki rancangan

yang jauh lebih baik dibandingkan dengan Skenario II, dibuktikan dengan tegangan jatuh dan arus pada semua penyulang yang mampu memenuhi standar yang telah ditetapkan. Penyulang baru di tahun 2030 dan juga penyulang Baru 2025 yang ditambah beban dari Suzuki dan Gucci, juga masih memenuhi standar operasional yang diperbolehkan. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka Skenario I layak untuk digunakan karena memenuhi semua standar operasional yang ditetatpkan. Maka, rekonfigurasi Skenario I akan digunakan untuk rekonfigurasi pada tahun 2030 ini. Jalur kelistrikan sebelum dan sesudah dilakukan rekonfigurasi dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4. 3 Jalur Kelistrikan Sebelum Rekonfigurasi 2030



Gambar 4. 4 Jalur Kelistrikan Baru Sesudah Rekonfigurasi 2030

4.7 Hasil Perhitungan SAIDI dan SAIFI Sesudah Dilakukan Rekonfigurasi

Setelah dilakukan rekonfigurasi pada tahun 2025 dan juga tahun 2030, perlu dianalisis lebih lanjut terhadap keandalan di kedua tahun tersebut. Hasil perhitungan SAIDI dan SAIFI dari hasil rekonfigurasi pada tahun 2025 dan tahun 2030 akan dibandingkan dengan hasil sebelum rekonfigurasi, sehingga dapat disimpulkan nanti apakah keandalan akan meningkat atau tidak setelah dilakukannya rekonfigurasi di dua tahun tersebut.

4.7.1 SAIDI dan SAIFI Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi pada Tahun 2025

Tabel 4. 21 SAIDI & SAIFI Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi 2025

Penyulang	Sebelum (2025)		Sesudah (2025)	
	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
Tissot	49.525	4.3824	25.3457	2.6562
P. Baru 2025	-	-	20.9331	2.7689
ULP. Karang Keseluruhan	26.4238	3.9462	24.6562	3.7832

Data yang dicakup pada Tabel 4.21 merupakan data perhitungan SAIDI dan SAIFI pada penyulang yang direkonfigurasi pada tahun 2025. Dari data diatas, dapat disimpulkan bahwa sebelum rekonfigurasi, pada penyulang Tissot, nilai SAIDI dan SAIFI menunjukkan angka yang cukup besar dibandingkan dengan SAIDI dan SAIFI setelah direkonfigurasi. Sebelum dilakukan rekonfigurasi, nilai SAIDI dan SAIFI pada penyulang Tissot adalah 49.525 jam/tahun dan 4.3824 kali/tahun. Setelah dilakukan rekonfigurasi, SAIDI dan SAIFI pada penyulang Tissot menjadi 25.3457 jam/tahun dan 2.6562 kali/tahun. Secara keseluruhan, nilai SAIDI dan SAIFI pada ULP. Karang juga berkurang dari yang sebelumnya 26.4238 jam/tahun dan 3.9462 kali/tahun menjadi 24.6562 jam/tahun dan 3.7832 kali/tahun setelah dilakukan rekonfigurasi pada tahun 2025.

SAIDI dan SAIFI pada penyulang Tissot dapat berkurang dikarenakan jumlah komponen kelistrikan yang terdapat pada penyulang Tissot menjadi berkurang dikarenakan adanya pengalihan beban ke penyulang baru 2025, sehingga pada penyulang Tissot, nilai keandalannya akan semakin bagus. Dengan adanya pengalihan beban tersebut, maka secara otomatis laju kegagalan dan durasi dari gangguan akan berkurang dikarenakan luas dari jaringan penyulang Tissot juga berkurang. ULP. Karang keseluruhan juga ikut berkurang dikarenakan

hasil SAIDI dan SAIFI yang dihasilkan dari pengalihan beban-beban tersebut membuat resultan dari perhitungan SAIDI dan SAIFI di ULP. Karang pada tahun 2025 ini semakin kecil.

4.7.2 SAIDI dan SAIFI Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi pada Tahun 2030

Tabel 4. 22 SAIDI & SAIFI Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi 2030

Penyulang	Sebelum (2030)		Sesudah (2030)	
	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
P. Baru 2025	20.9331	2.7689	32.184	3.8309
Pasang	59.8154	4.9676	39.3969	4.0034
Gucci	47.0495	3.6699	19.1708	1.8465
Pelangi	35.1003	3.3271	15.7542	1.8478
Kemarau	42.9418	3.6766	22.6126	2.6901
Suzuki	52.4119	4.9163	33.7482	3.7633
P. Baru 2030	-	-	23.9955	3.0206
ULP. Karang Keseluruhan	24.6562	3.7832	20.958	3.4723

Data yang dicakup pada Tabel 4.22 merupakan data perhitungan SAIDI dan SAIFI pada penyulang yang direkonfigurasi pada tahun 2030. Data diatas, terlihat bahwa rekonfigurasi yang dilakukan pada tahun 2030 mampu membuat sistem kelistrikan ULP. Karang lebih andal, baik dari setiap penyulang, maupun secara keseluruhan sistem kelistrikan di ULP. Karang.

Pada penyulang Baru 2025, nilai SAIDI dan SAIFI naik dikarenakan masuknya beban pecahan dari penyulang Suzuki dan Gucci yang menyebabkan komponen kelistrikan bertambah sehingga SAIDI dan SAIFI pada penyulang Baru 2025 mengalami kenaikan. Pada penyulang Pasang, Gucci, Pelangi, Kemarau, dan Suzuki, nilai SAIDI dan SAIFI menjadi lebih andal dari sebelum direkonfigurasi. Secara keseluruhan, keandalan pada ULP. Karang memiliki nilai SAIDI dan SAIFI yang lebih baik setelah dilakukan rekonfigurasi pada tahun 2030. Nilai SAIDI dan SAIFI berkurang dari 24.6562 jam/tahun dan 3.7832 kali/tahun menjadi 20.958 jam/tahun dan 3.4723 kali/tahun.

SAIDI dan SAIFI pada setiap penyulang yang dilakukan rekonfigurasi dapat berkurang dikarenakan jumlah komponen kelistrikan yang terdapat pada penyulang-penyulang tersebut berkurang dikarenakan adanya pengalihan beban ke penyulang-penyulang baru. Dengan adanya pengalihan beban pada penyulang-penyulang tersebut, maka secara otomatis laju kegagalan dan durasi dari gangguan akan

berkurang dikarenakan luas dari jaringan setiap penyulang tersebut berkurang. ULP. Karang pada tahun 2030, secara keseluruhan juga semakin andal dikarenakan hasil SAIDI dan SAIFI yang dihasilkan dari pengalihan beban-beban tersebut membuat resultan dari perhitungan SAIDI dan SAIFI di ULP. Karang pada tahun 2030 ini semakin kecil. Hal tersebut menunjukkan sistem kelistrikan ULP. Karang menjadi lebih andal dan gangguan yang akan dialami pada sistem kelistrikan ULP. Karang pada tahun 2030 akan berkurang, baik dari segi durasi maupun frekuensi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa dari tugas akhir ini, dapat ditarik kesimpulan:

1. Tegangan jatuh dan arus berlebih pada suatu penyulang dapat diatasi dengan melakukan rekonfigurasi pada penyulang tersebut, baik dengan menambah penyulang baru, ataupun mengalihkan beban yang dipisah ke penyulang yang lain. Sebagai contoh, pada penyulang Gucci, yang memiliki tegangan jatuh paling besar, yaitu sebanyak 14.33%, dapat turun menjadi 5.19% dan penyulang Pelangi yang memiliki arus sebesar 415.1A, dapat turun menjadi 241.2A setelah dilakukan rekonfigurasi dengan menyalurkan sebagian bebannya ke penyulang baru.
2. Penambahan penyulang baru mampu memuat beban pecahan dari beberapa penyulang, tergantung dengan kecukupan dari penyulang baru tersebut, apabila tegangan jatuh dan arus masih di batas yang diperbolehkan, maka rancangan penyulang baru tersebut dapat dilakukan. Dapat dilihat dengan kedua penyulang baru, yaitu penyulang 2025 dan 2030, kedua penyulang tersebut memiliki tegangan jatuh dan arus yang masih berada di dalam batas yang diperbolehkan. Penyulang 2025 memiliki tegangan jatuh dan arus penyulang sebesar 8.99% dan 326.8A pada tahun 2030. Untuk penyulang 2030, tegangan jatuh dan arus penyulang sebesar 7.13% dan 291A pada tahun 2030. Terlihat di kedua penyulang tersebut, tegangan jatuh dan arus penyulang masih berada di dalam batas yang diperbolehkan.
3. Keandalan sistem kelistrikan dapat ditingkatkan dengan melakukan rekonfigurasi, karena rekonfigurasi dapat mempersempit cakupan luas dari suatu penyulang, yang membuat banyaknya komponen kelistrikan dalam suatu penyulang berkurang, sehingga nilai keandalan dari penyulang tersebut pun akan berkurang. Sebagai contoh,

pada penyulang Suzuki, sebelum rekonfigurasi memiliki nilai SAIDI dan SAIFI sebesar 52.4119 jam/tahun dan 4.9163 kali/tahun, setelah dilakukan rekonfigurasi, nilai SAIDI dan SAIFI menjadi lebih andal, yaitu 33.7482 jam/tahun dan 3.7633 kali/tahun. Hal tersebut menandakan bahwa durasi dan frekuensi gangguan pada penyulang tersebut akan berkurang setelah dilakukan rekonfigurasi.

4. Rekonfigurasi sistem kelistrikan mampu membuat sistem kelistrikan menjadi lebih andal, baik dari suatu penyulang, maupun keseluruhan ULP. Karang, karena semakin kecil nilai SAIDI dan SAIFI pada penyulang, maka nilai resultan dari perhitungan SAIDI dan SAIFI dalam keseluruhan ULP. Karang juga akan semakin kecil. Sehingga, gangguan yang dialami akan semakin berkurang, baik dari segi frekuensi dan waktu. Pada tahun 2025, setelah dilakukan rekonfigurasi, nilai SAIDI dan SAIFI menjadi 24.6562 jam/tahun dan 3.7832 kali/tahun dari sebelum dilakukan rekonfigurasi, yaitu sebesar 26.4238 jam/tahun dan 3.9462 kali/tahun. Pada tahun 2030, nilai SAIDI dan SAIFI menjadi 20.958 jam/tahun dan 3.4723 kali/tahun dari sebelumnya 24.6562 jam/tahun dan 3.7832 kali/tahun. Hal tersebut menandakan bahwa pada ULP. Karang, durasi dan frekuensi gangguan akan berkurang setelah dilakukan rekonfigurasi pada tahun 2025 dan 2030.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan setelah pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Rekonfigurasi dapat dilakukan sesuai dengan rencana yang dibuat pada tugas akhir ini agar permasalahan yang dihadapi di sistem kelistrikan ULP. Karang dapat diatasi sampai dengan tahun 2030.
2. Penelitian lebih lanjut mengenai dampak dari rekonfigurasi terhadap biaya operasional sistem kelistrikan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. C. Pacis, J. M. Coronel, P. K. Lampitoc, C. A. Serrano dan P. M. Tañarte, "Reliability Evaluation of a New Protective Device Scheme for the 34.5kV Power Distribution Feeder Circuit," *IEEE 9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM),* 2017.

[2] M. Baran dan F. Wu, "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 4, no. 2, pp. 1401-1407, 1989.

[3] D. Suswanto, Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Padang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, 2009.

[4] N. Kranjanaudom dan U. Supatti, "An Analytical Approach for Reliability Evaluation of Distribution Systems for Optimal Siting, Sizing and Types of Renewable Distributed Generators," *IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA),* 2015

[5] Suhadi dan T. Wrahatnolo, Teknik Distribusi Tenaga Listrik, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.

[6] R. E. Brown, Electric Power Distribution Realibility, New York: Marcel Dekker, Inc., 2002.

[7] H. Prabowo, I. S. Hernanda dan O. Penangsang, "Studi Analisis Keandalan Sistem Distribusi Pabrik Semen Tuban Menggunakan Metode Reliability Index Assessment (RIA) dan Program Analisis Kelistrikan," *TEKNIK ITS*, vol. 1, no. 1, 2012.

[8] R. S. Rao, K. Ravindra, K. Satish dan S. V. L. Narasimham, "Power Loss Minimization in Distribution System," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, no. 1, pp. 317-325, 2013.

[9] A. Zidan dan E. F. El-Saadany, "Network Reconfiguration in Balanced and Unbalanced Distribution Systems with Variable Load

Demand for Loss Reduction and Service Restoration," *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2012.

[10] G. Turan, "Electric Power Distribution Engineering Third Edition", CRC Press Taylor & Francis Group, United States of America, 2014.

[11] M. Hable, "Distribution Network Planning for High Load Density Areas," *International Conference and Exhibition on Electricity Distribution*, 2009.

[12] O. Burke, S. Hunt and W. Phang, "A Planning Approach for Urban Distribution Networks in Bahrain," *ESB International*, 2010.

[13] A. E.B., Abu-Elanien, M. Salama and K. B. Shaban, "Modern Network Reconfiguration Techniques for Service Restoration in Distribution Systems: A step to a smarter grid," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 57, pp. 3959-3967, 2018.

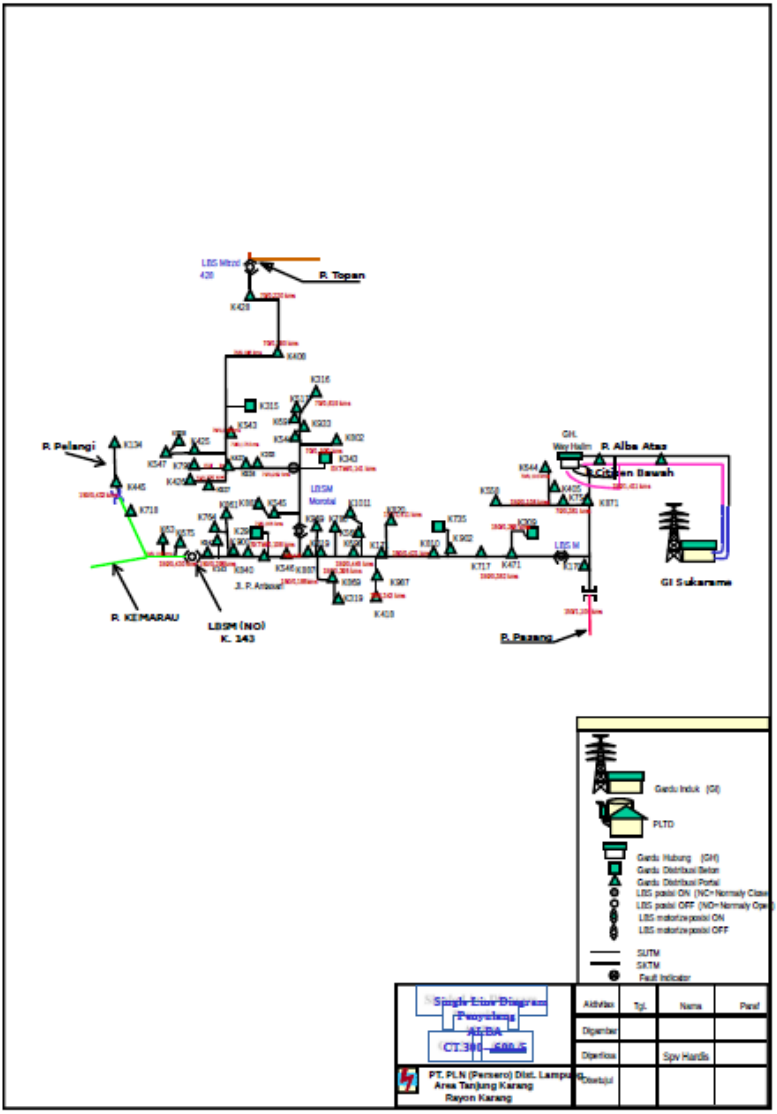
[14] A.D. Carlos and N. Ramon "Estimating Future Demand a Top Down/Bottom Up Aprroach for Forecasting Annual Growths,"*IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2005.

[15] A. Akhikpemelo, N. Eyibo and A. Adeyi, "Reliability Analysis of Power Distribution Network," *Continental J. Engineering Sciences*, vol. 11, no. 2, pp.53–63, 2016.

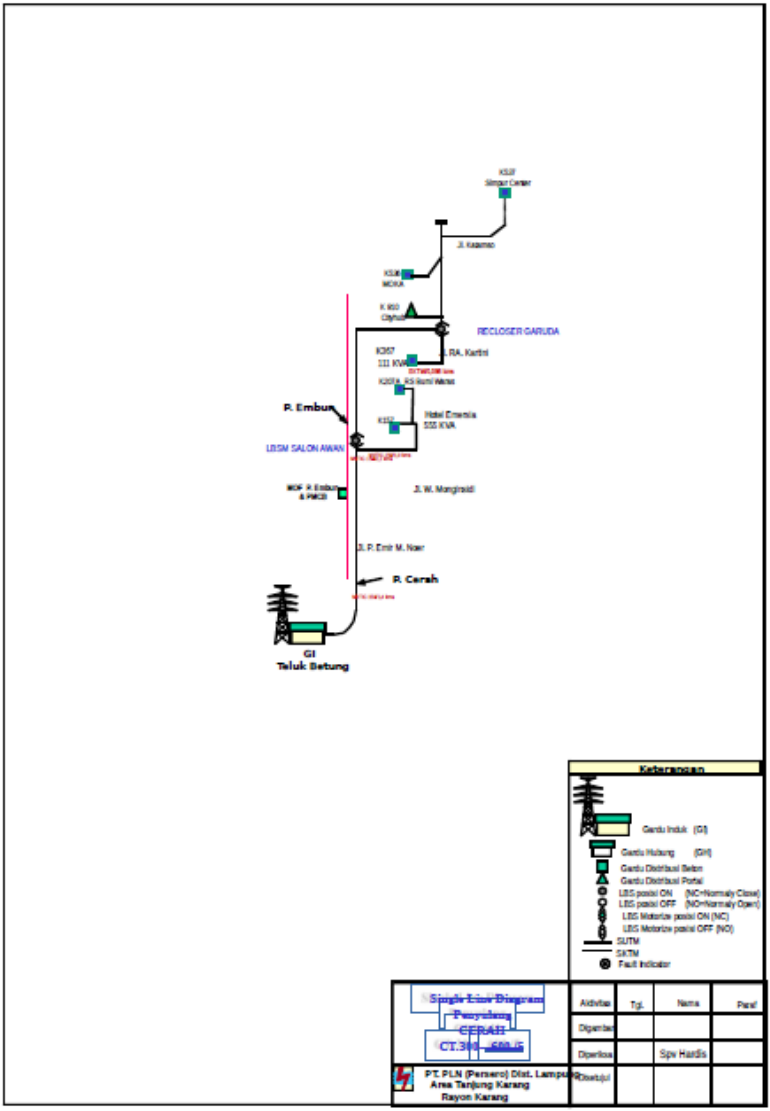
[16] Y. He, G. Andersson and R. Allan, "Determining Optimum Location and Number of Automatic Switching Devices in Distribution Systems," *PowerTech Budapest*, 1999.

LAMPIRAN A
SINGLE LINE DIAGRAM SETIAP PENYULANG PADA *SOFTWARE* VISIO

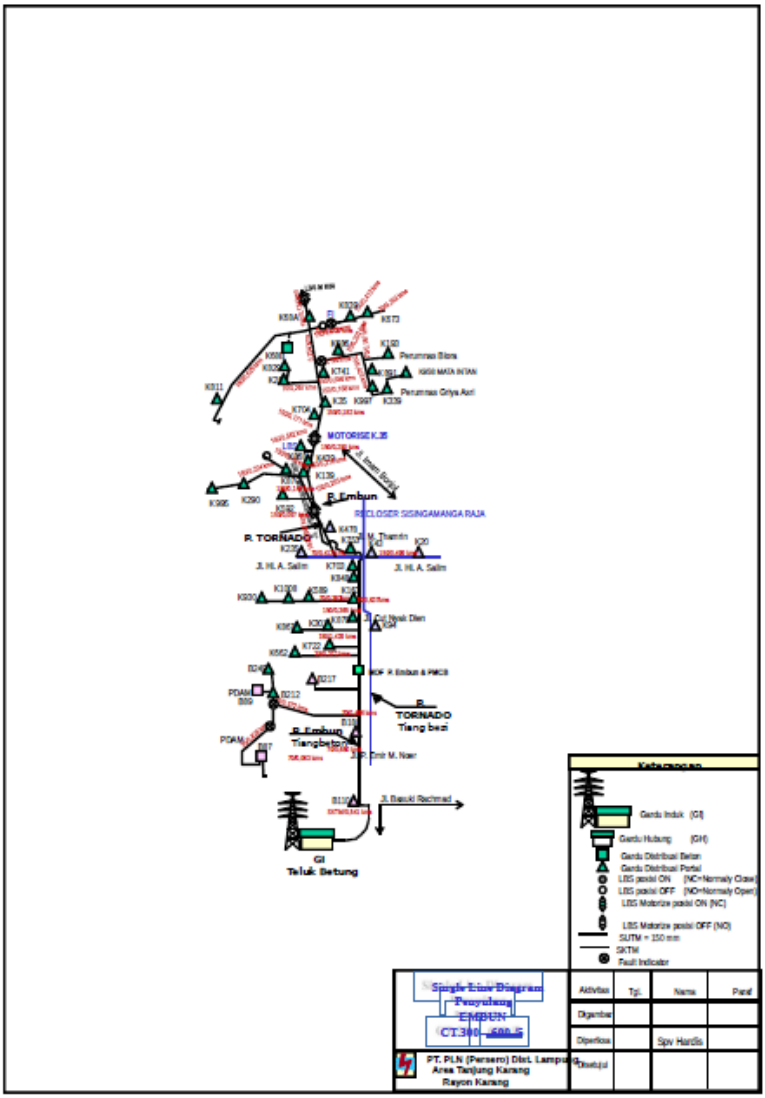
PENYULANG ALBA



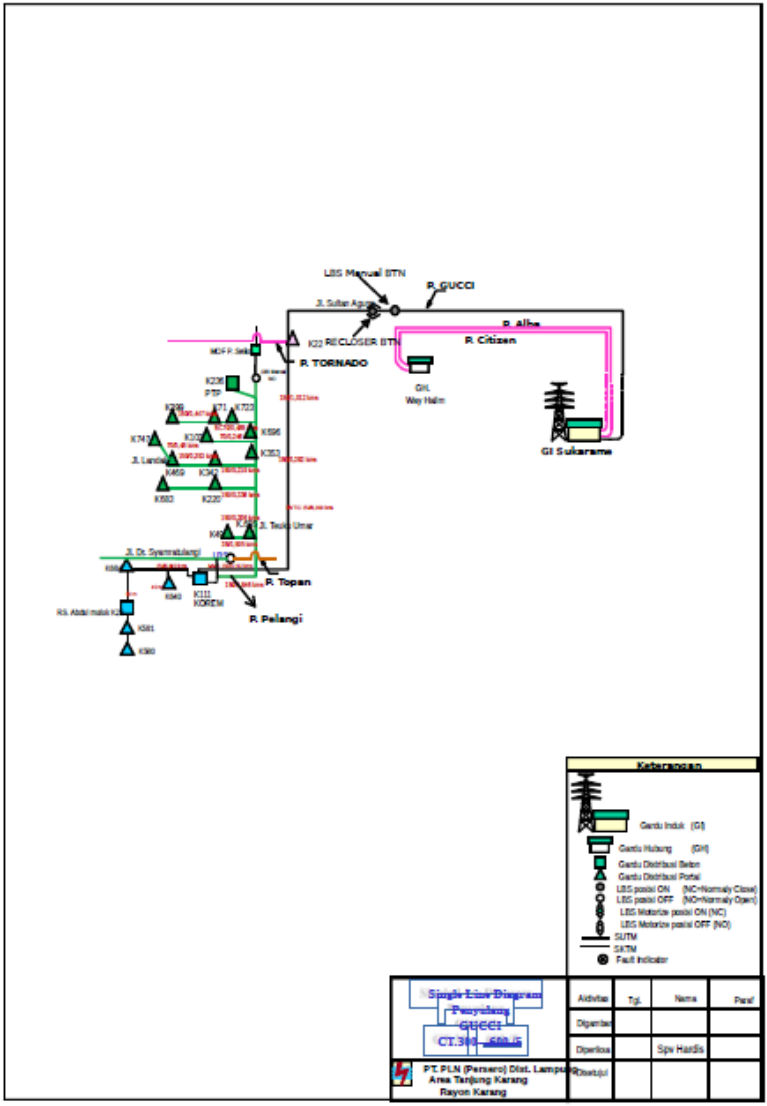
PENYULANG CERAH



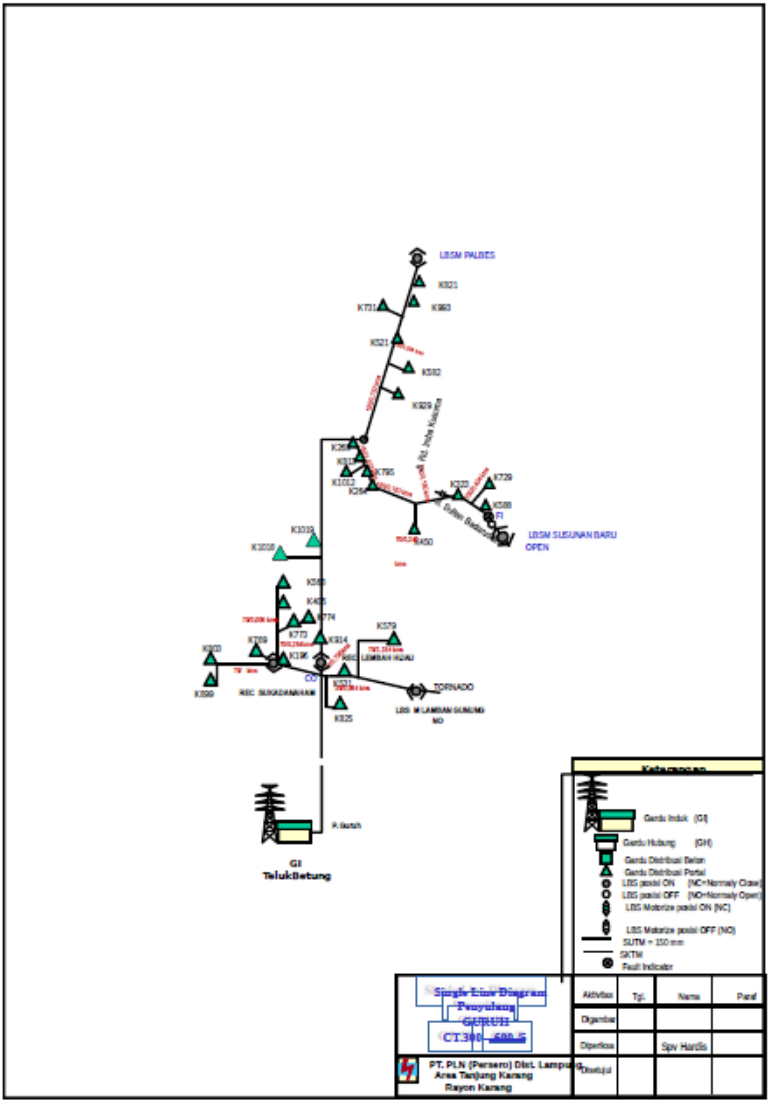
PENYULANG EMBUN



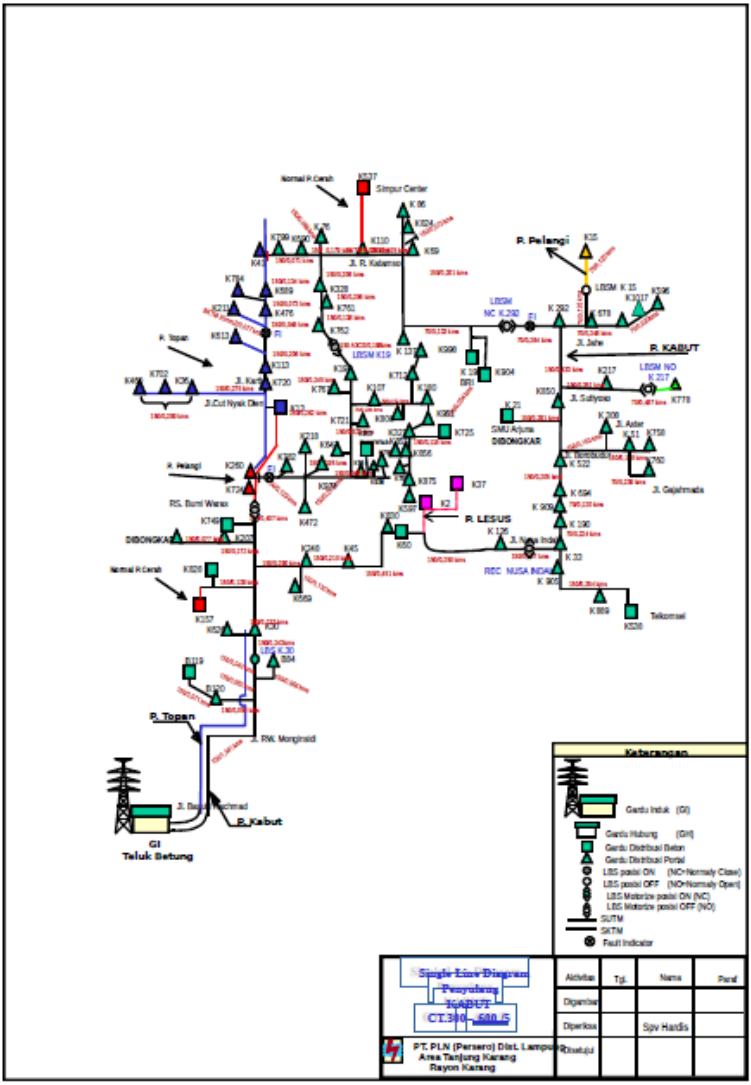
PENYULANG GUCCI



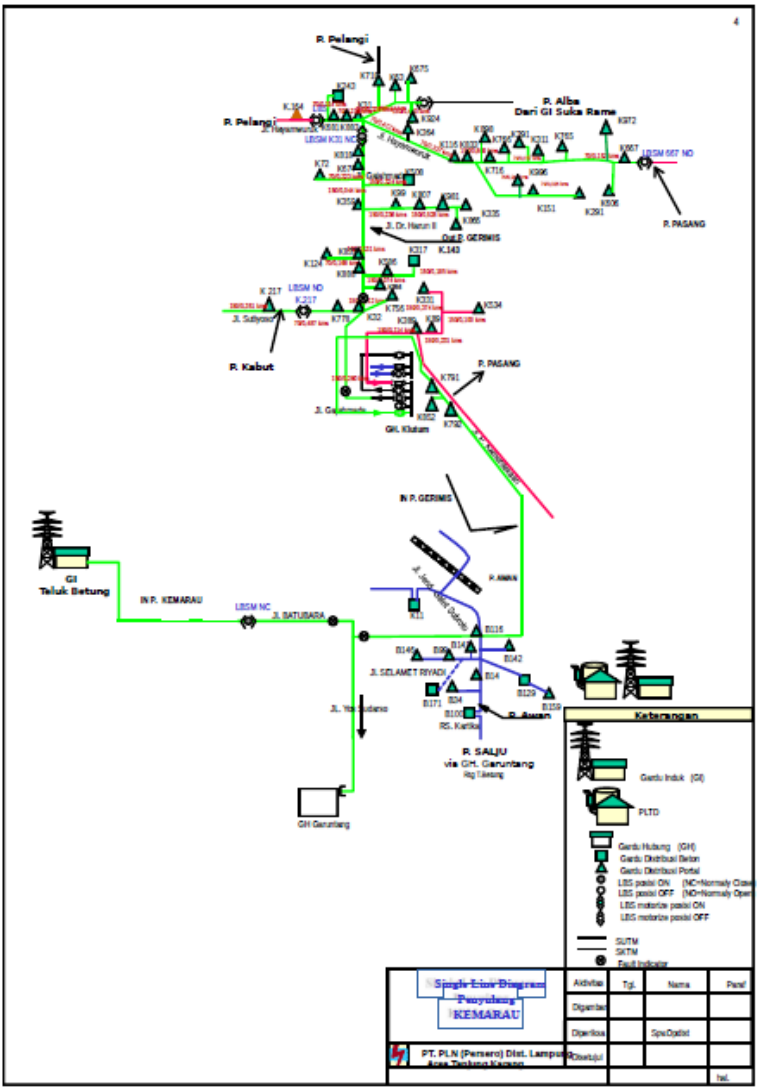
PENYULANG GURUH



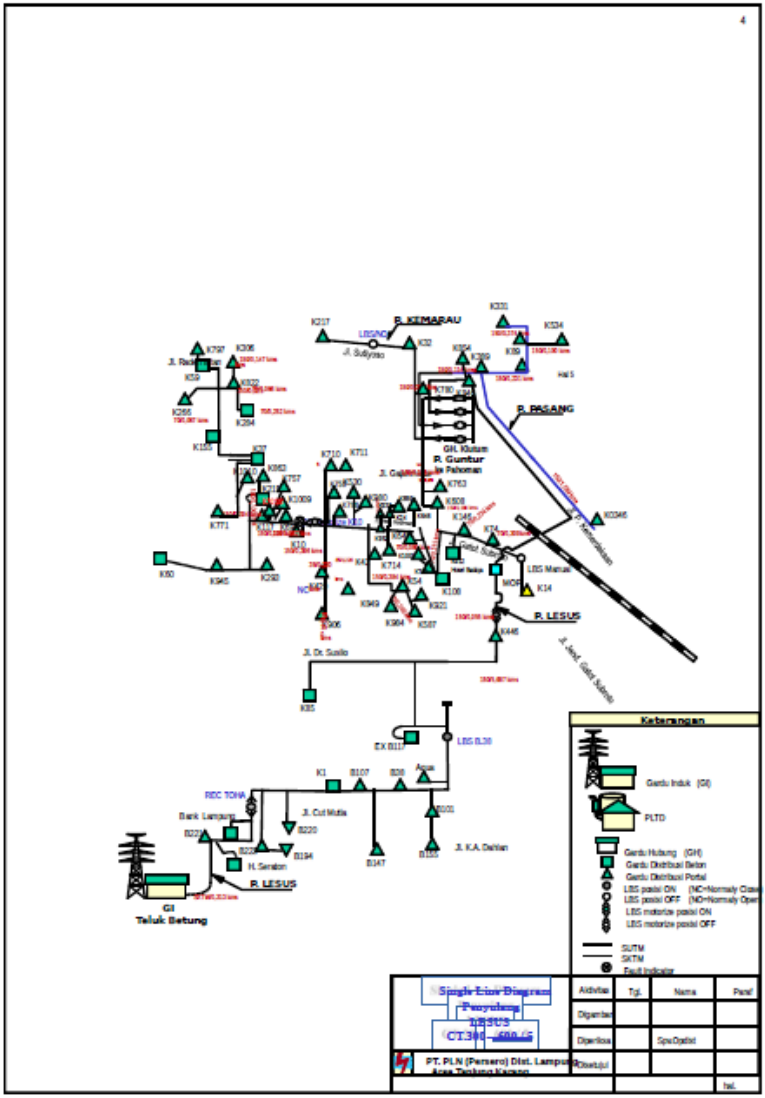
PENYULANG KABUT



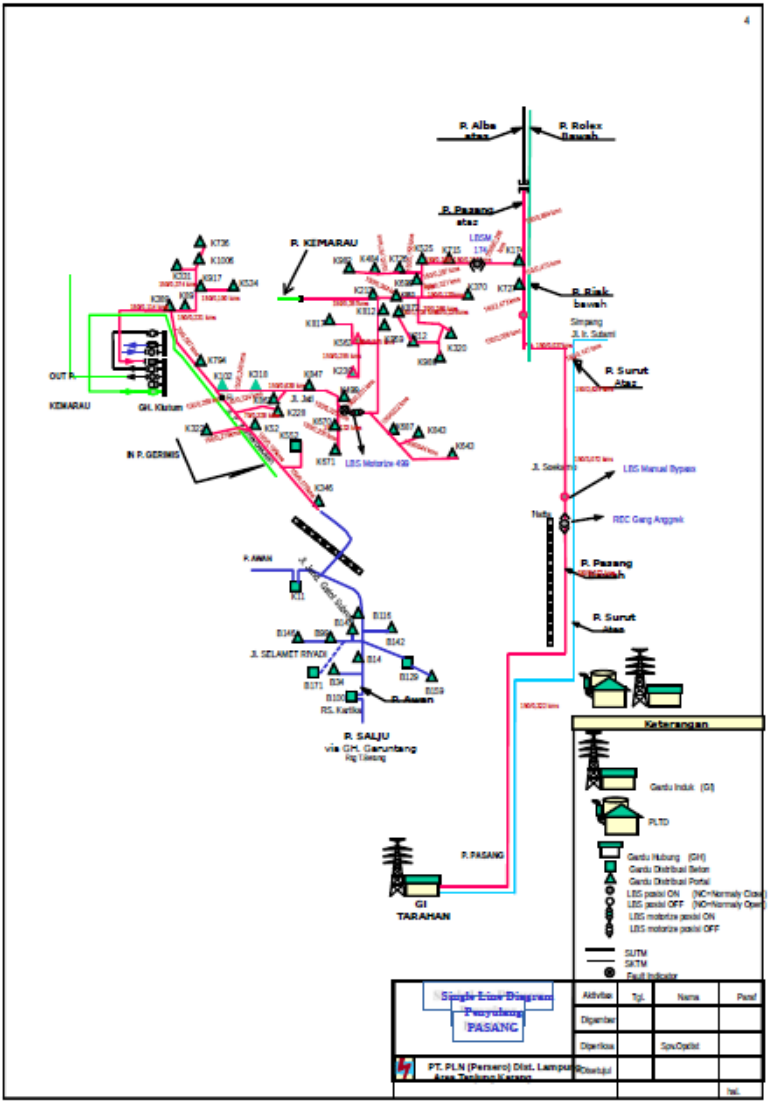
PENYULANG KEMARAU



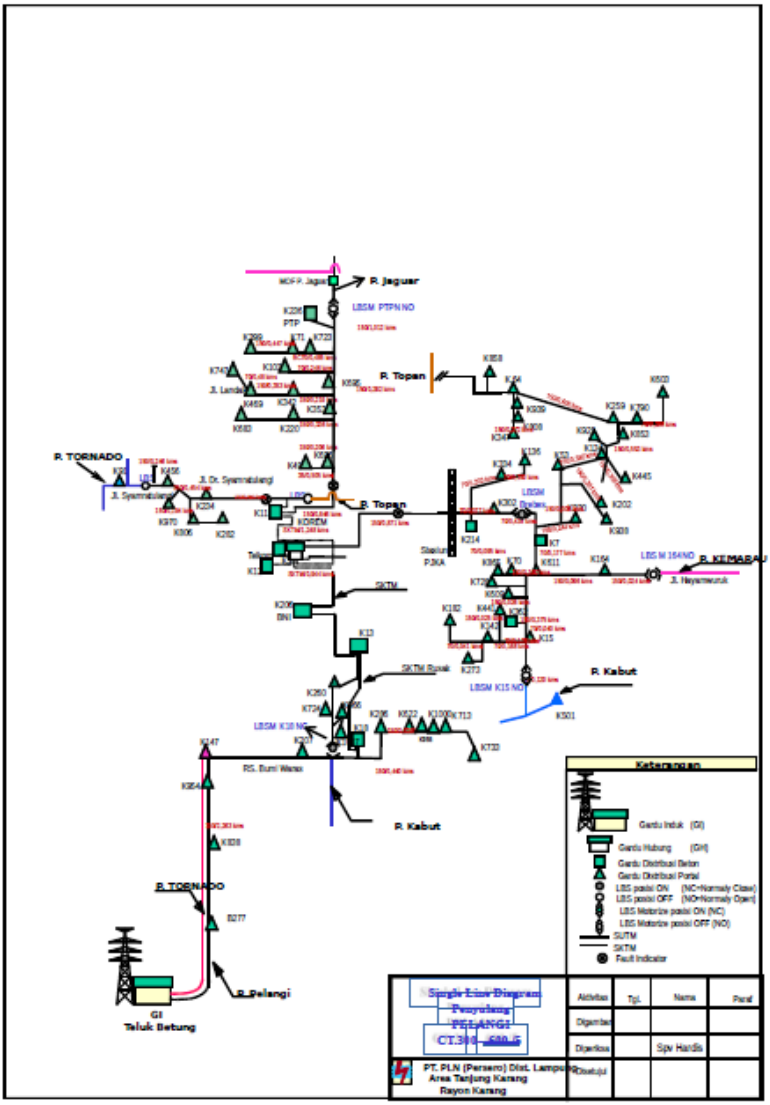
PENYULANG LESUS



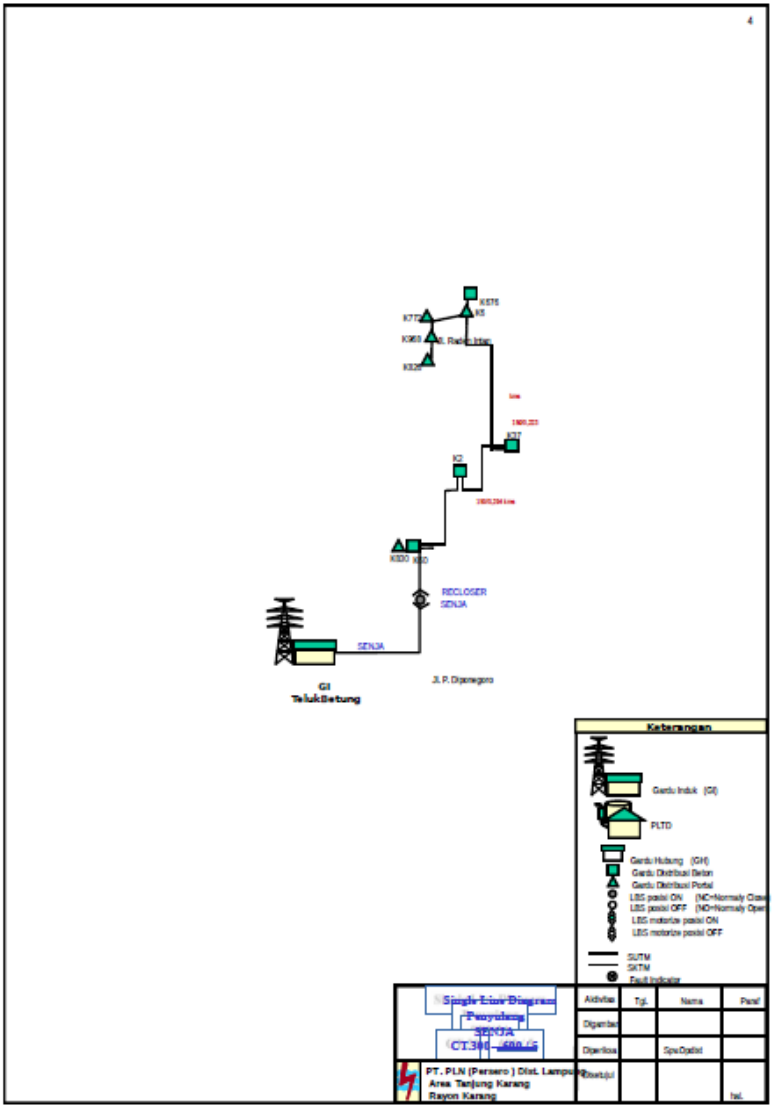
PENYULANG PASANG



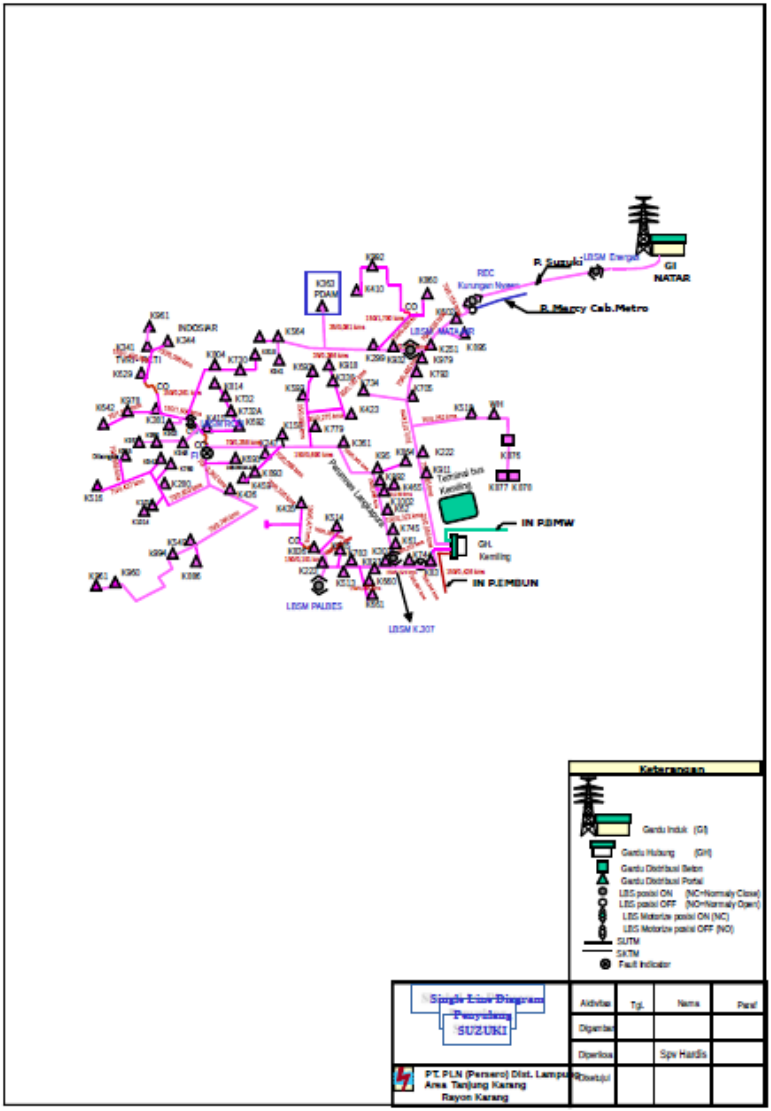
PENYULANG PELANGI



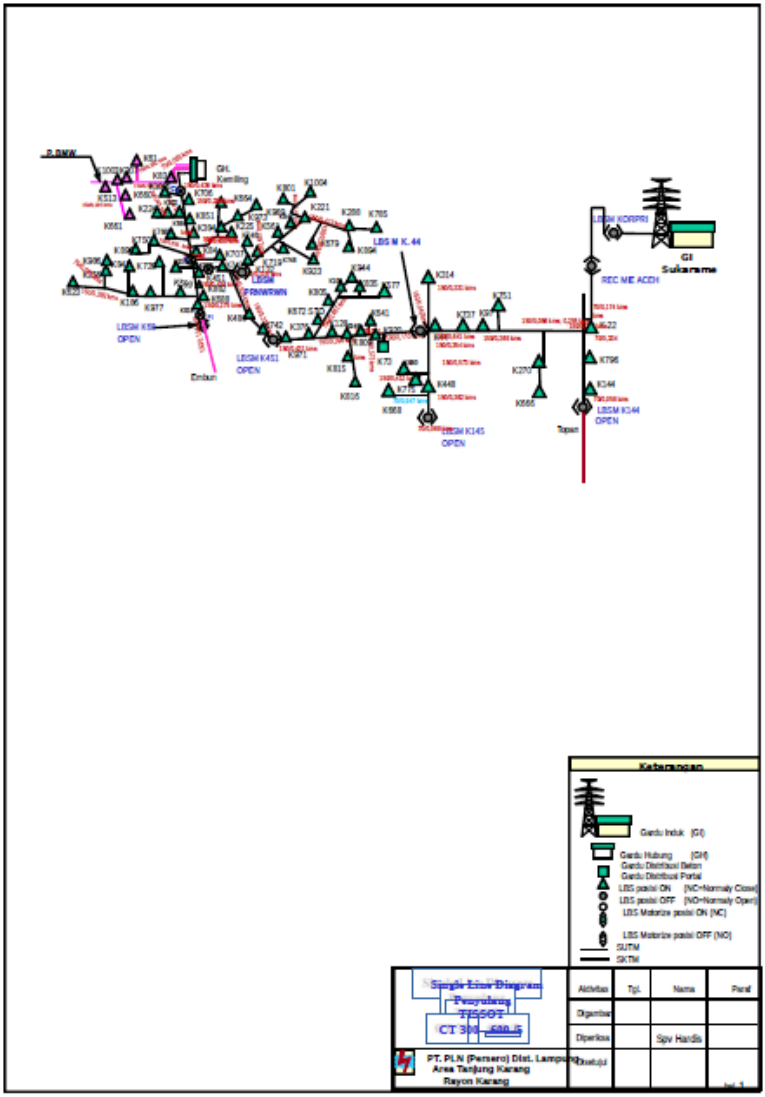
PENYULANG SENJA



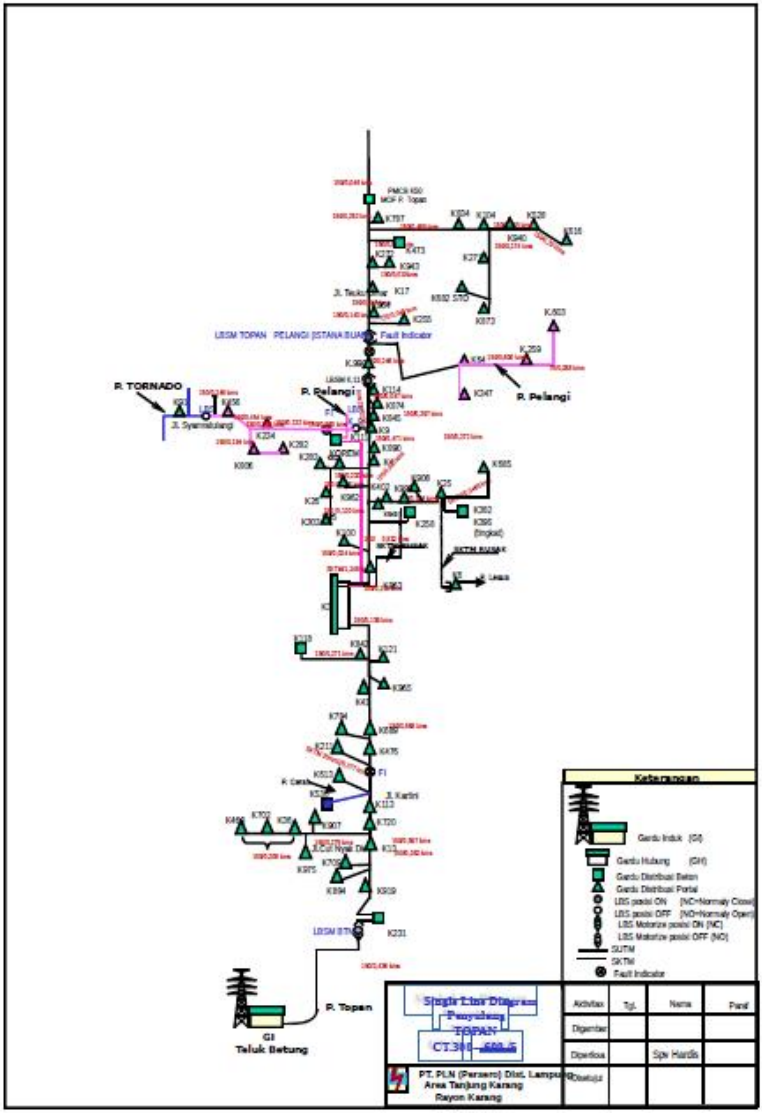
PEYULANG SUZUKI



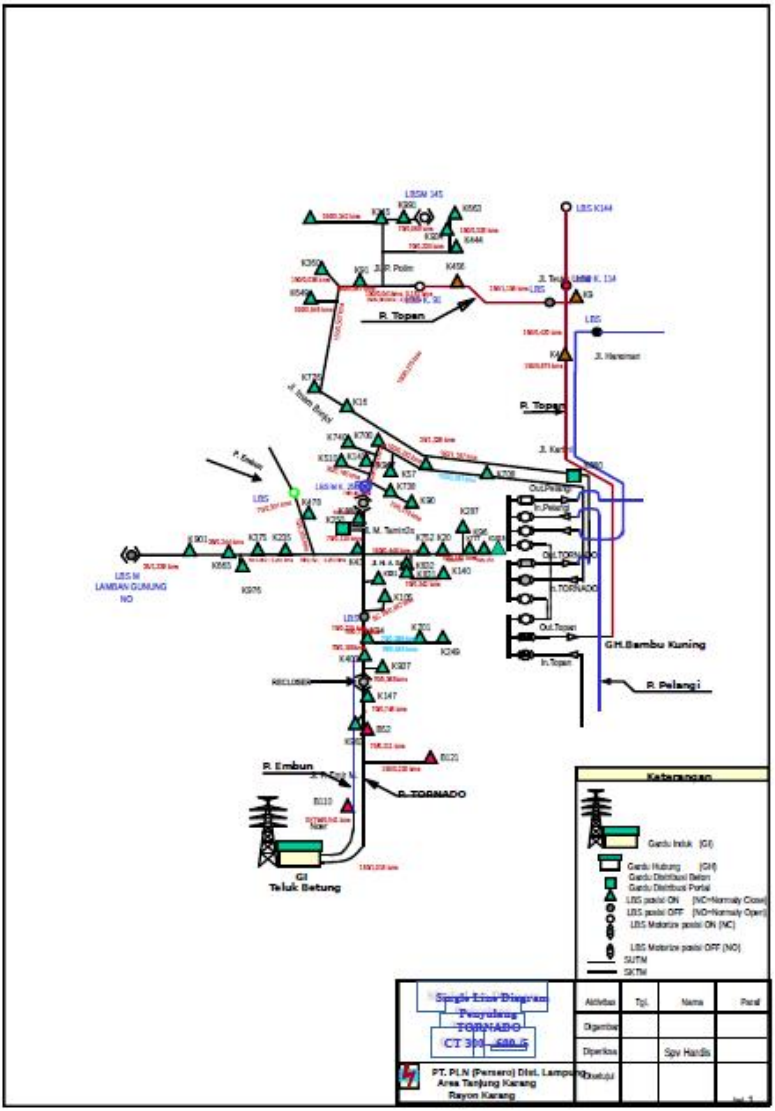
PENYULANG TISSOT



PENYULANG TOPAN



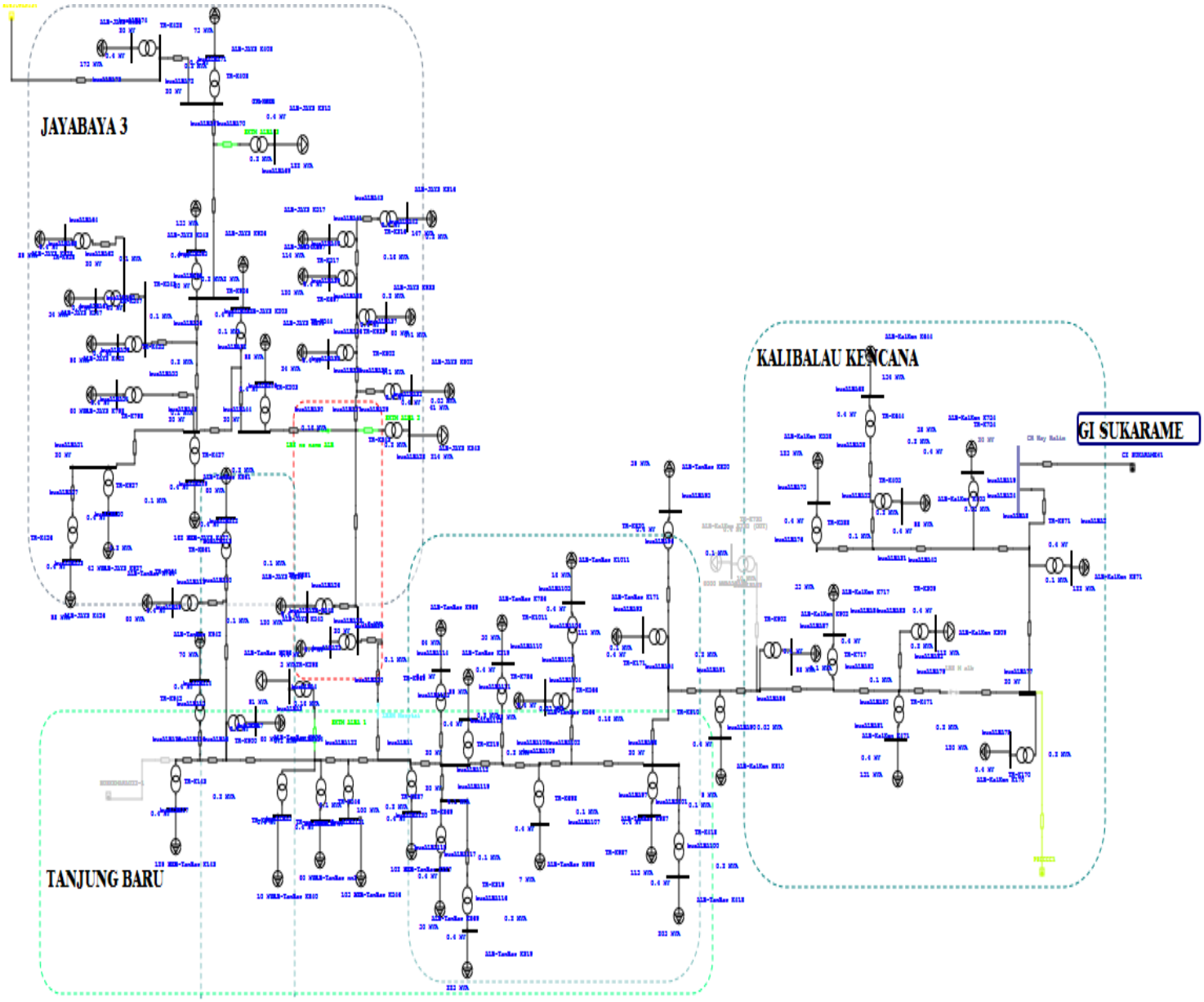
PENYULANG TORNADO



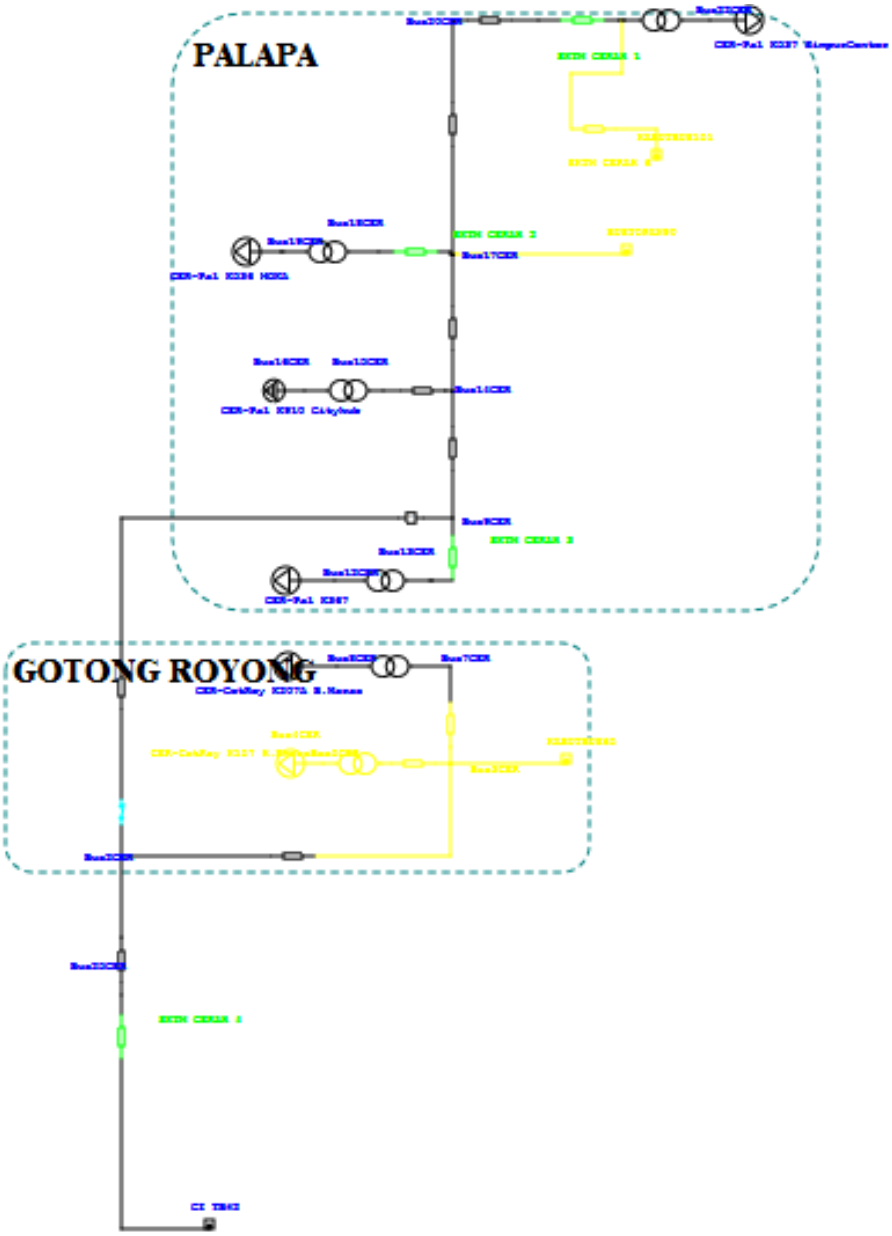
LAMPIRAN B

PEMODELAN SINGLE LINE DIAGRAM SETIAP PENYULANG PADA *SOFTWARE* ETAP 16.0.0

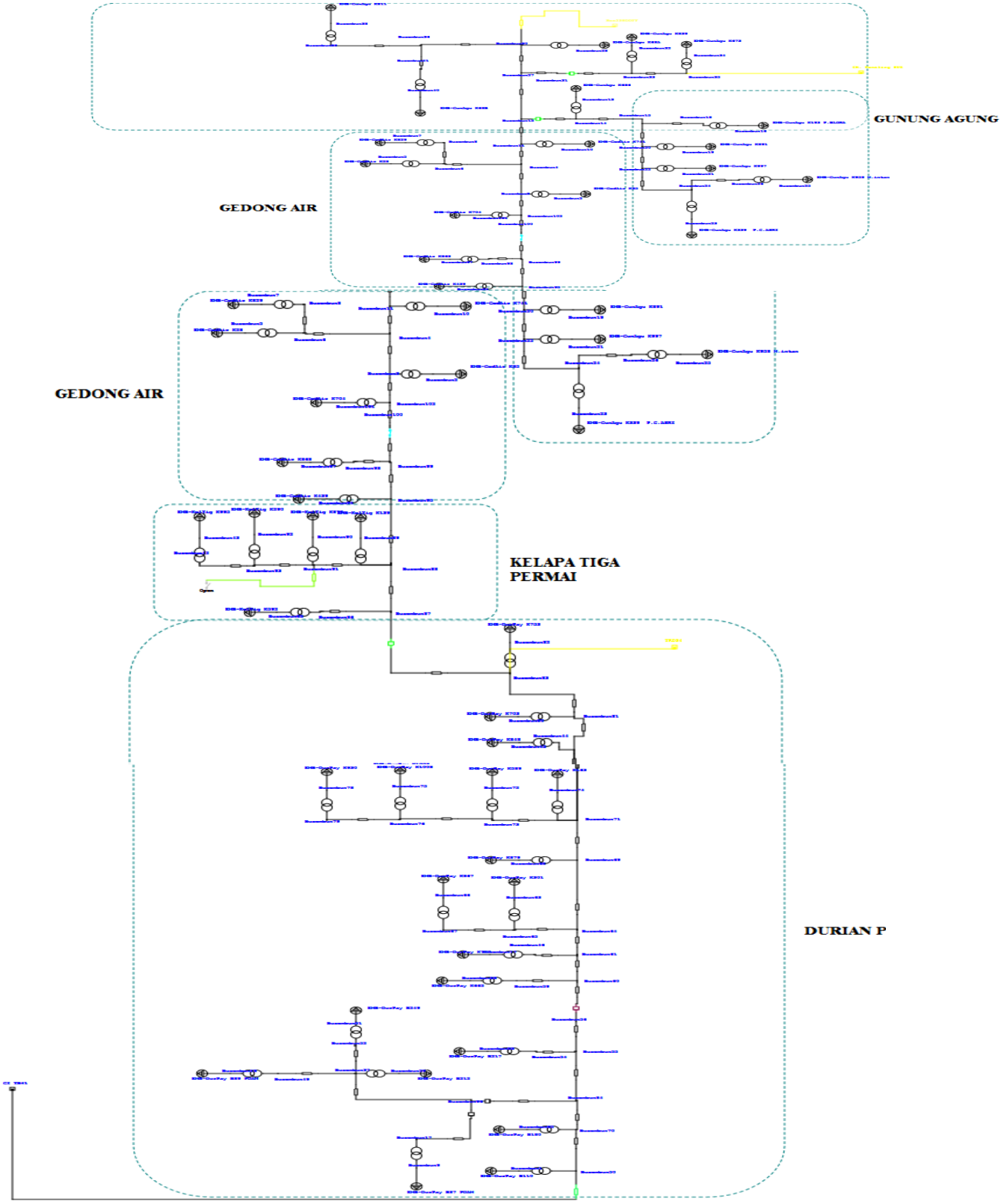
PENYULANG ALBA



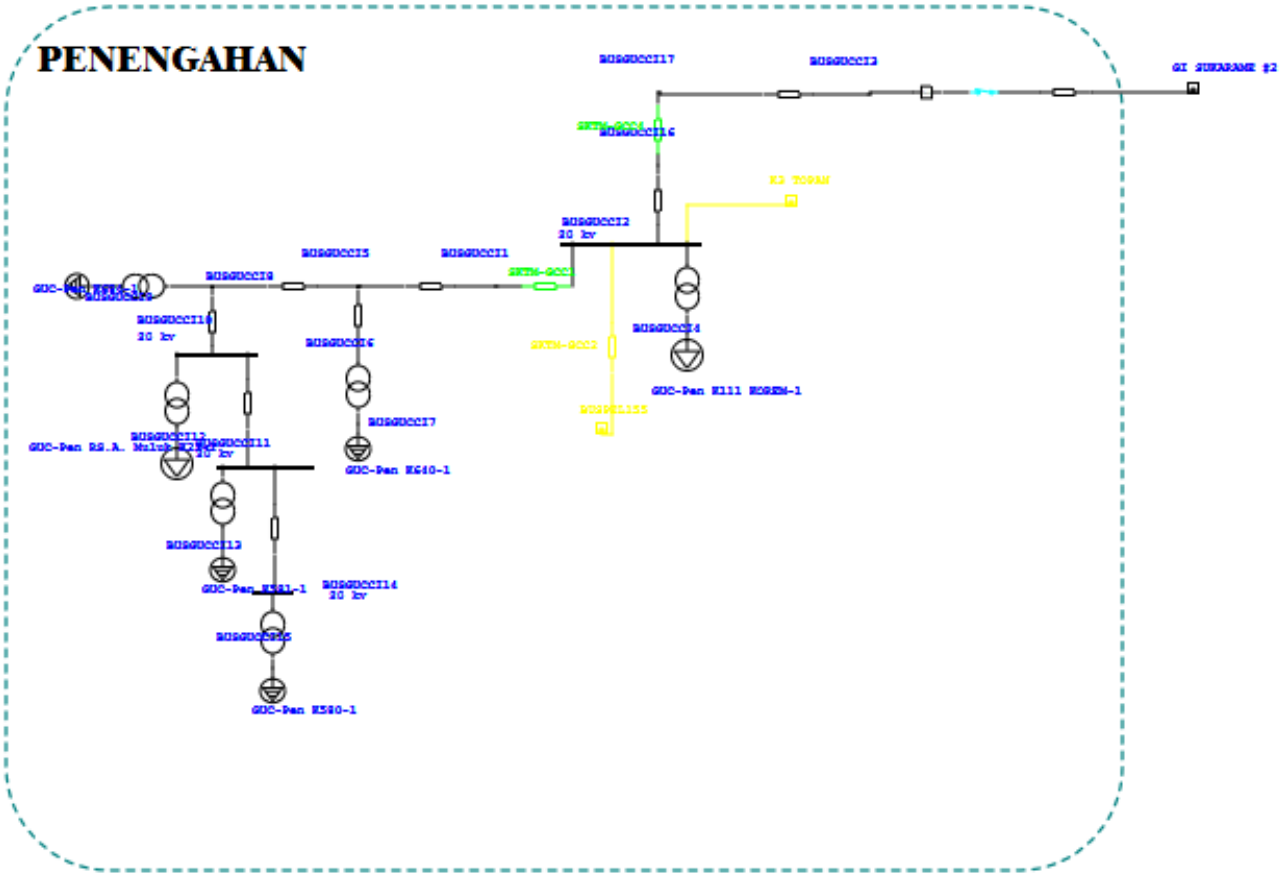
PENYULANG CERAH



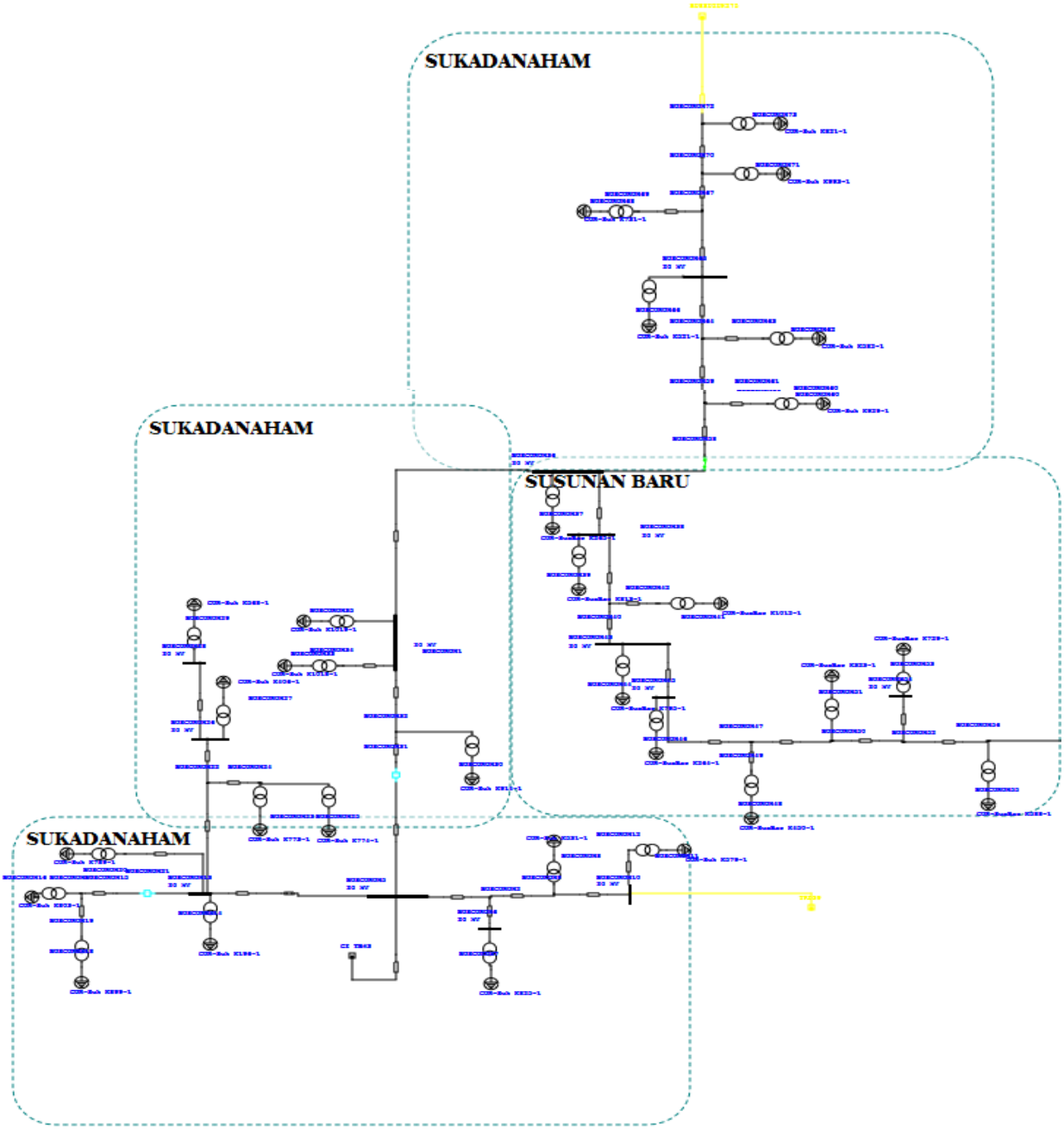
PENYULANG EMBUN



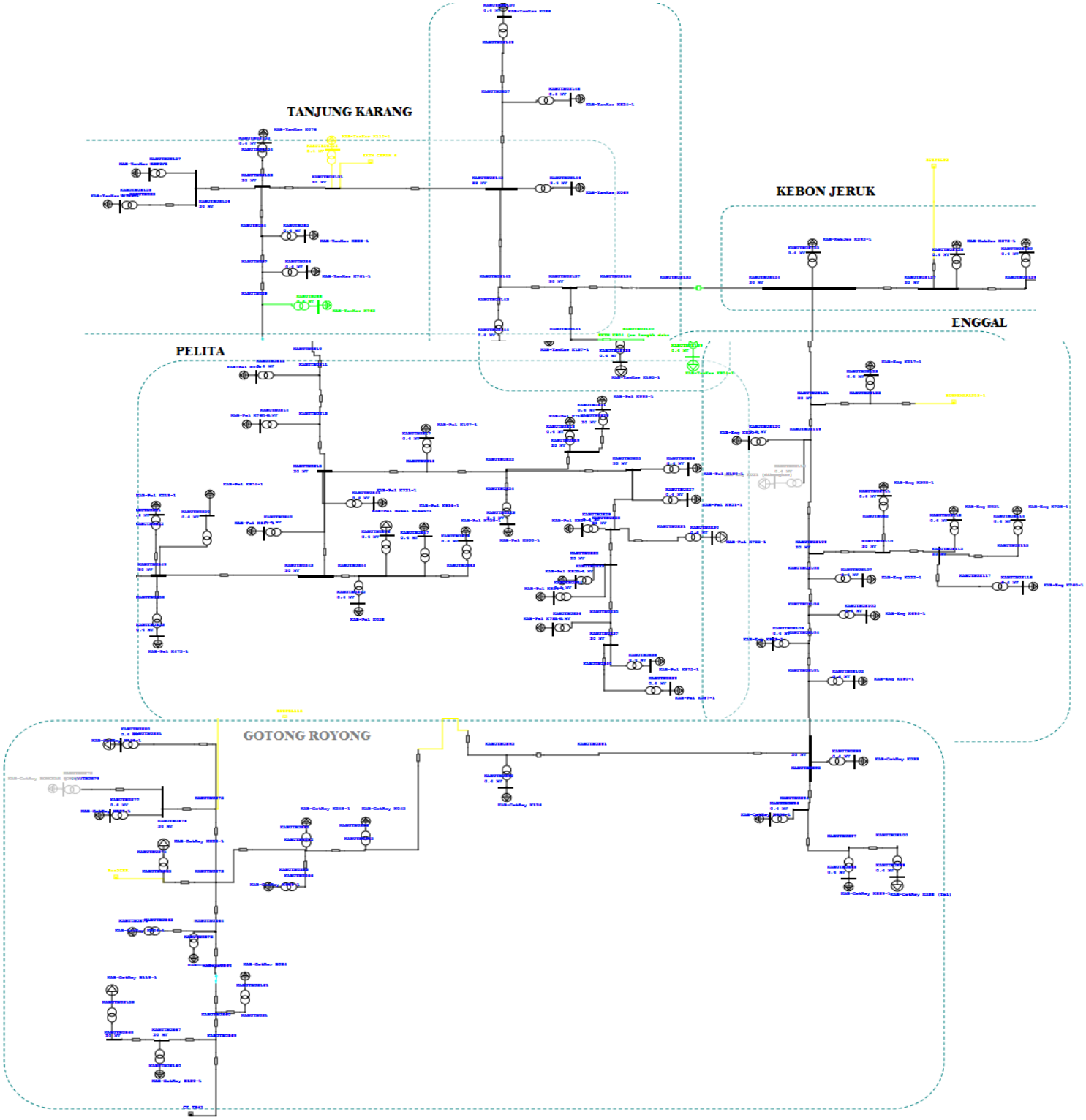
PENYULANG GUCCI



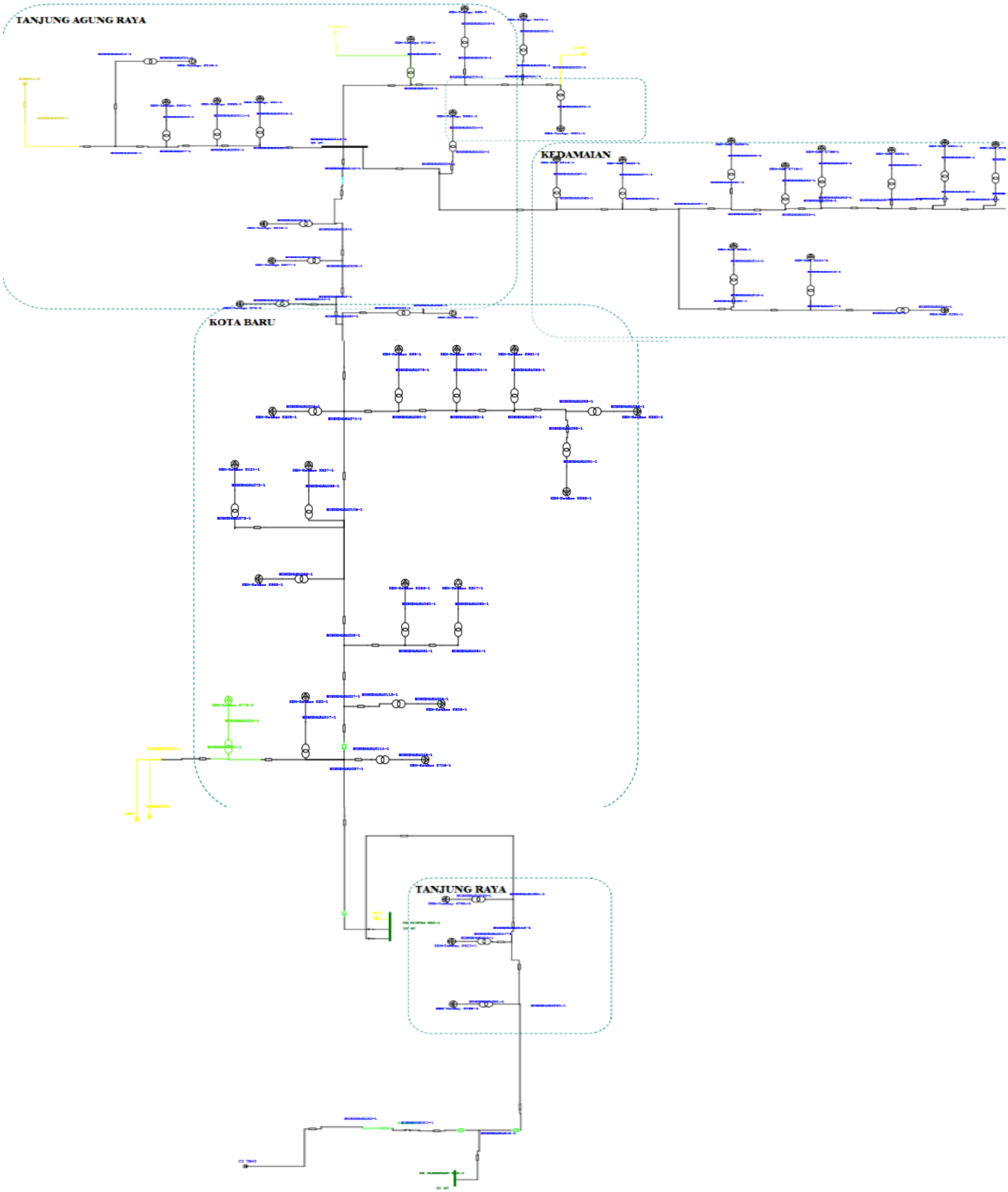
PENYULANG GURUH



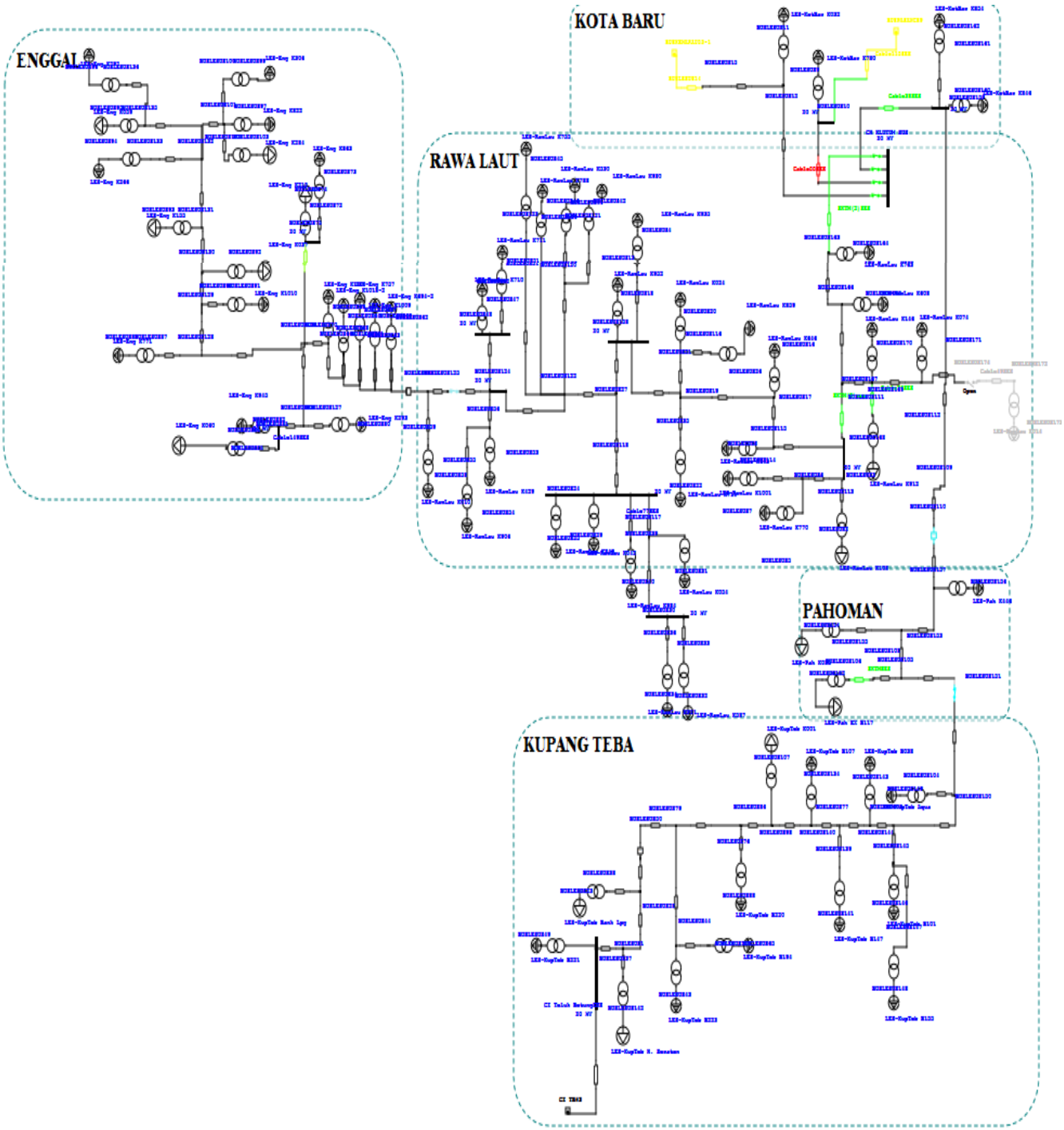
PENYULANG KABUT



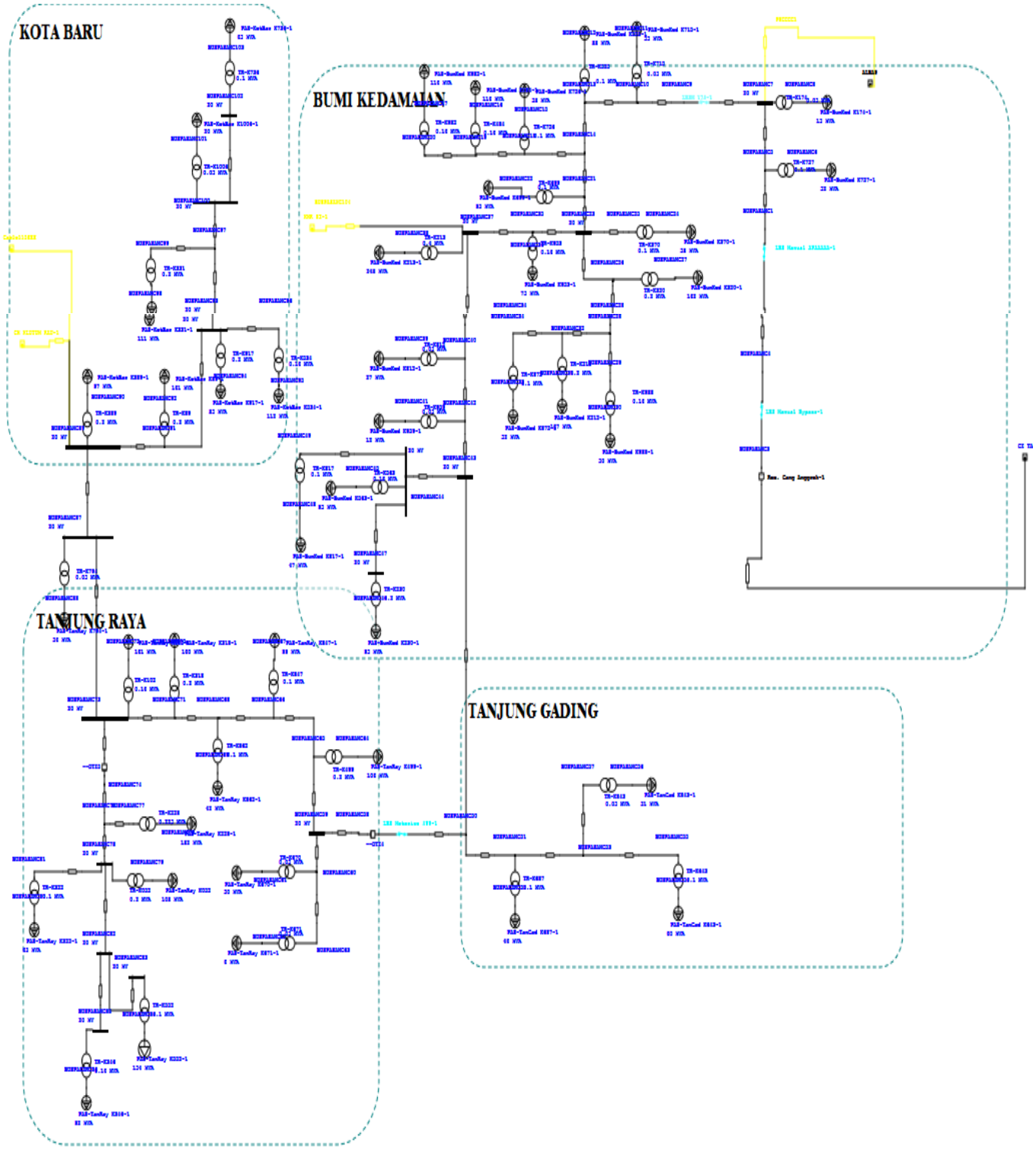
PENYULANG KEMARAU



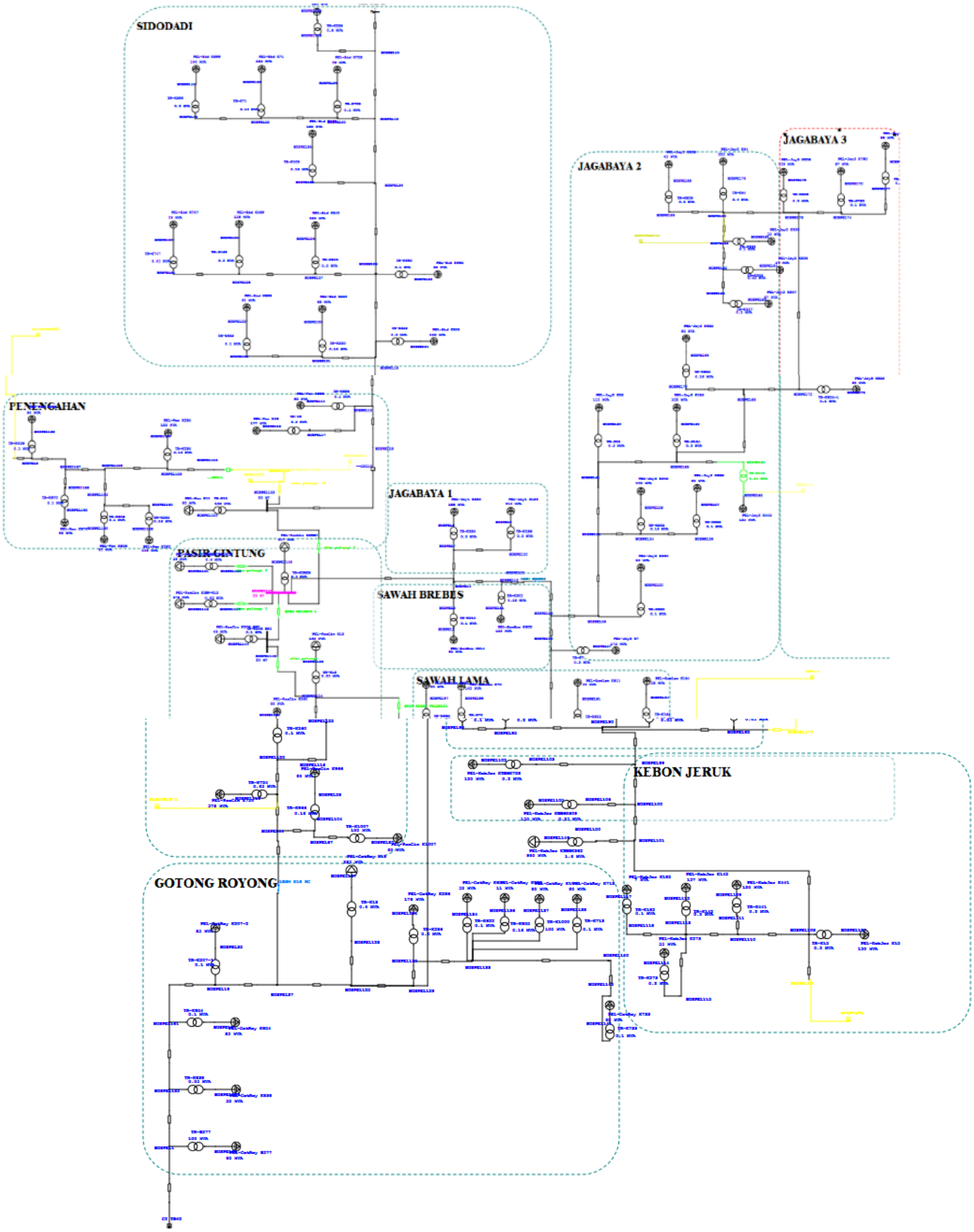
PENYULANG LESUS



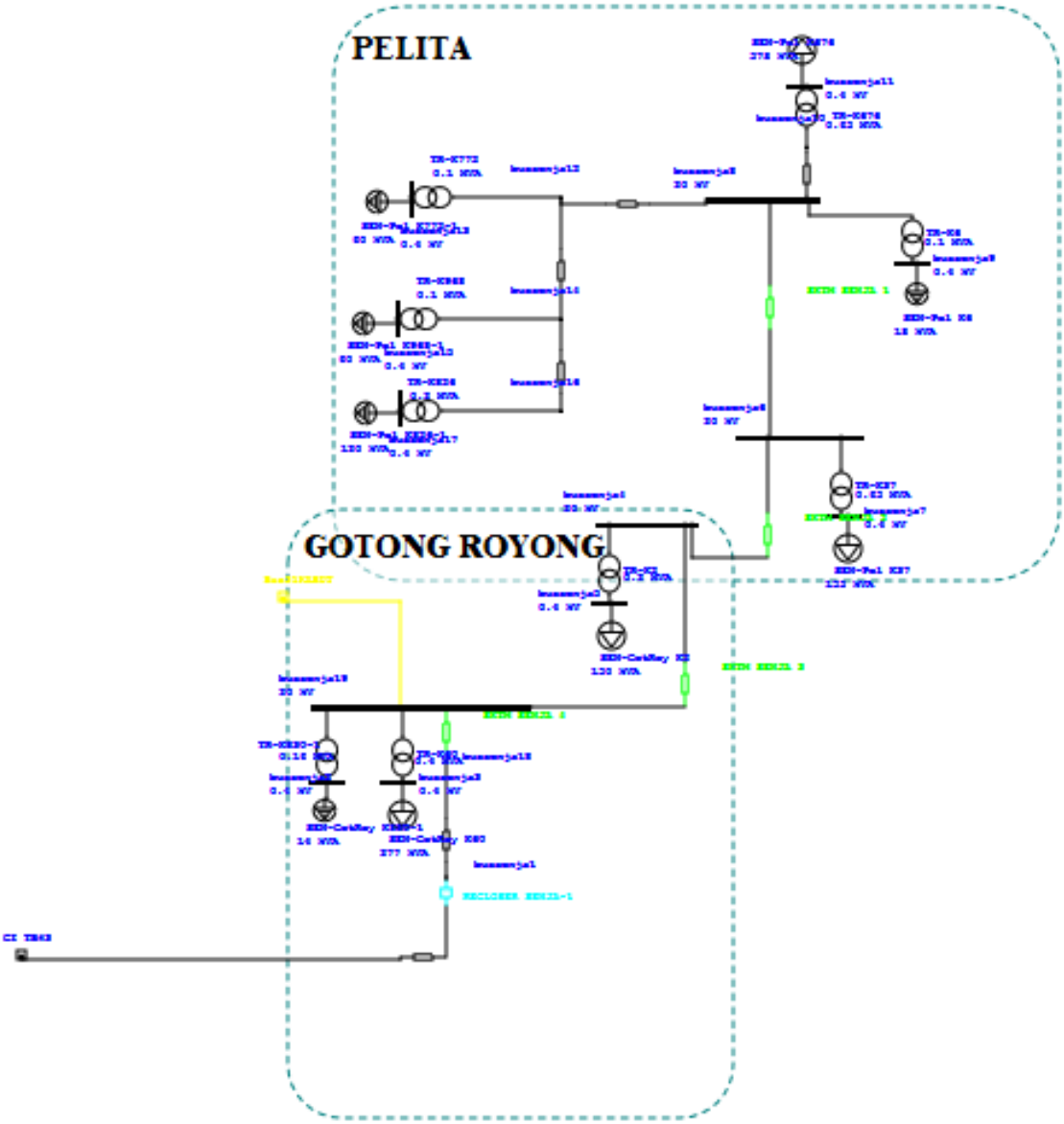
PENYULANG PASANG



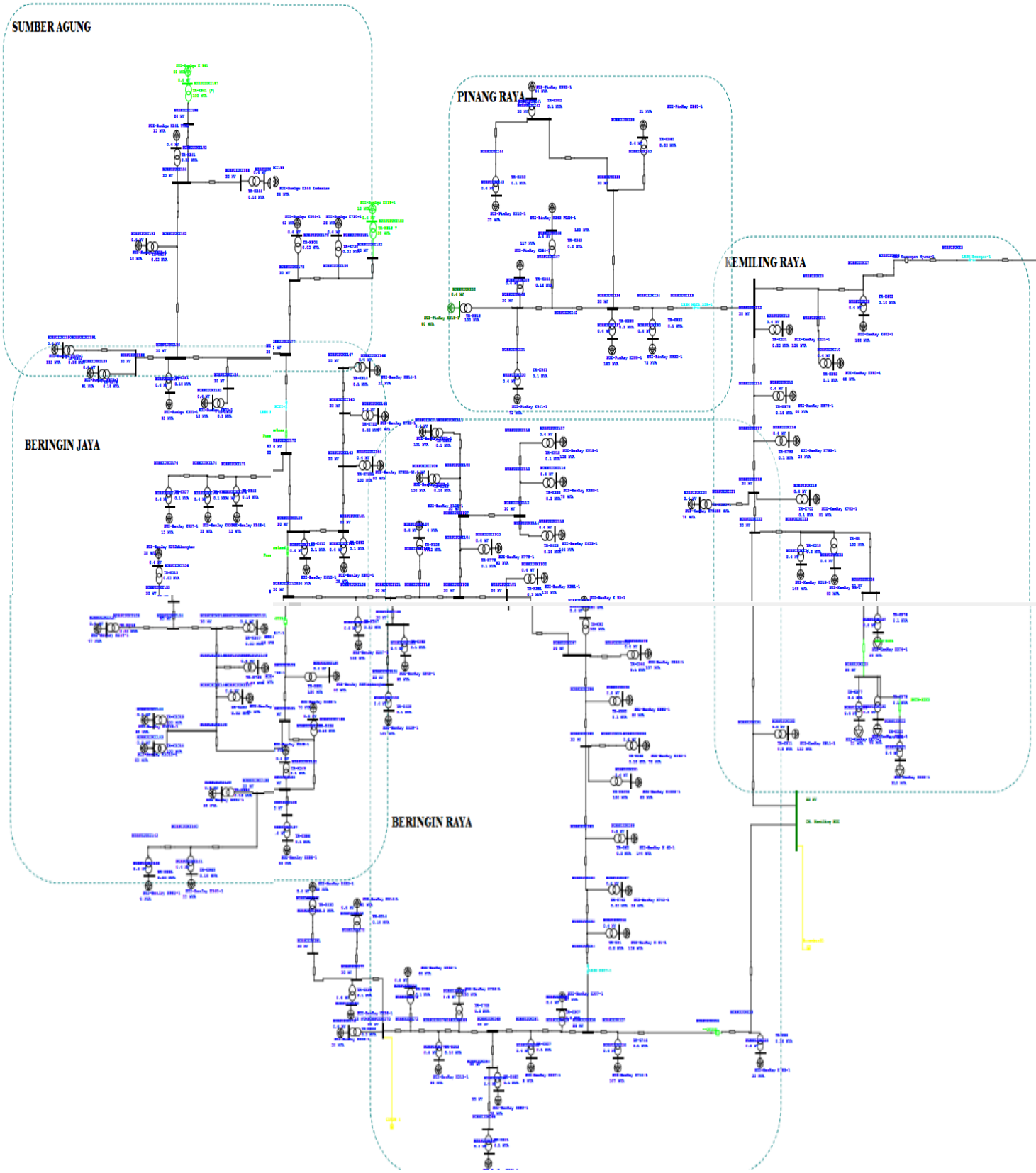
PENYULANG PELANGI



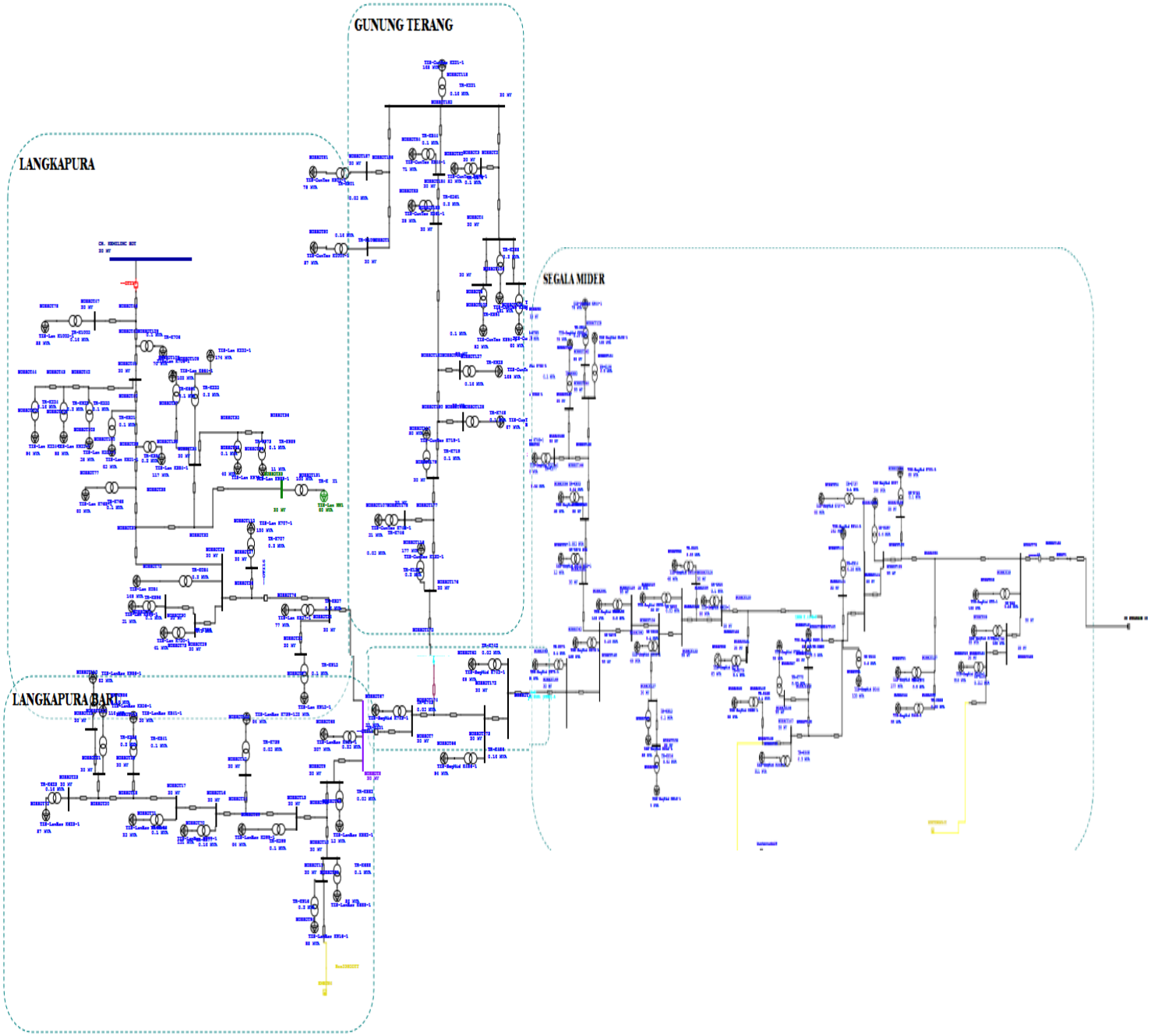
PENYULANG SENJA



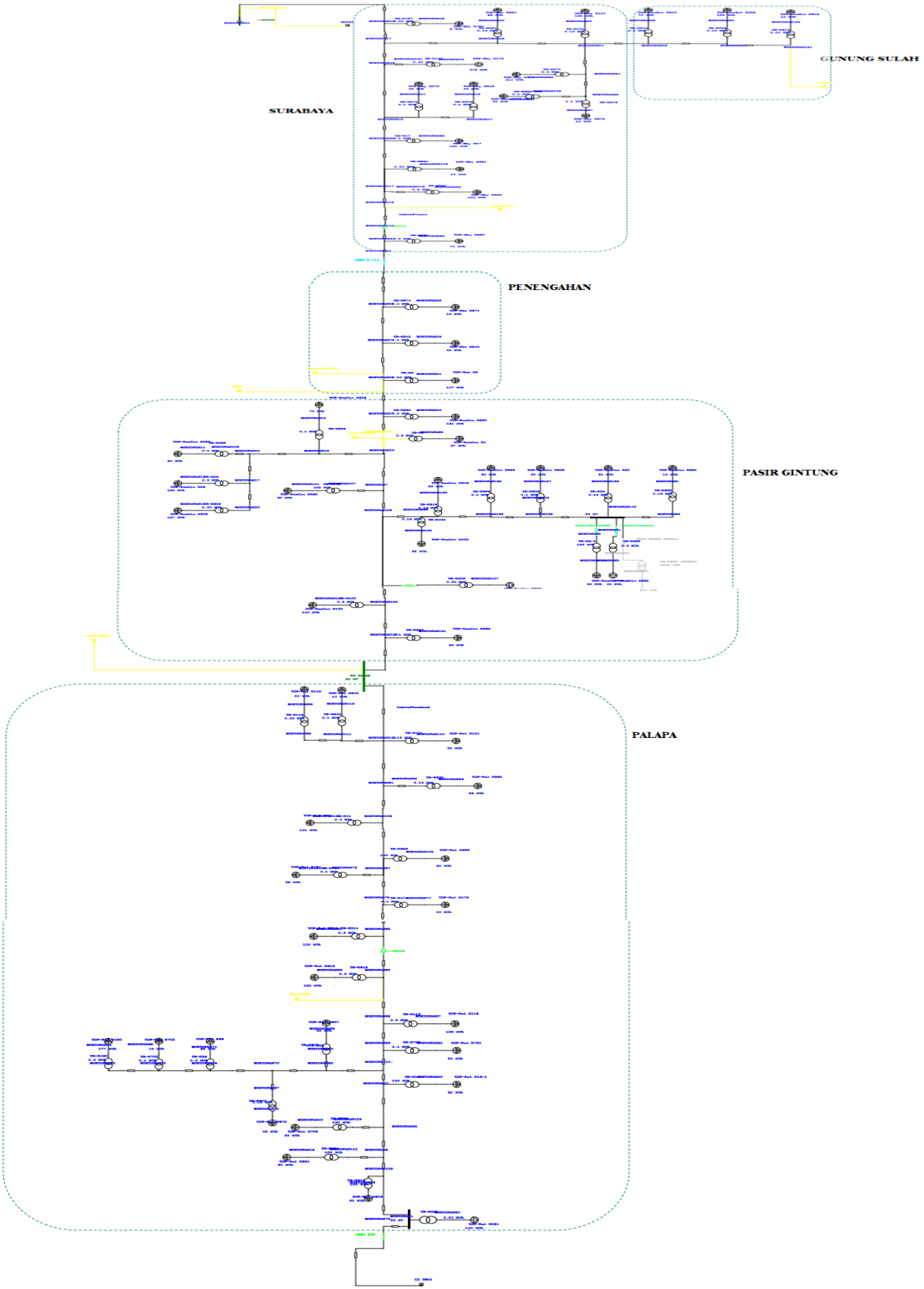
PENYULANG SUZUKI



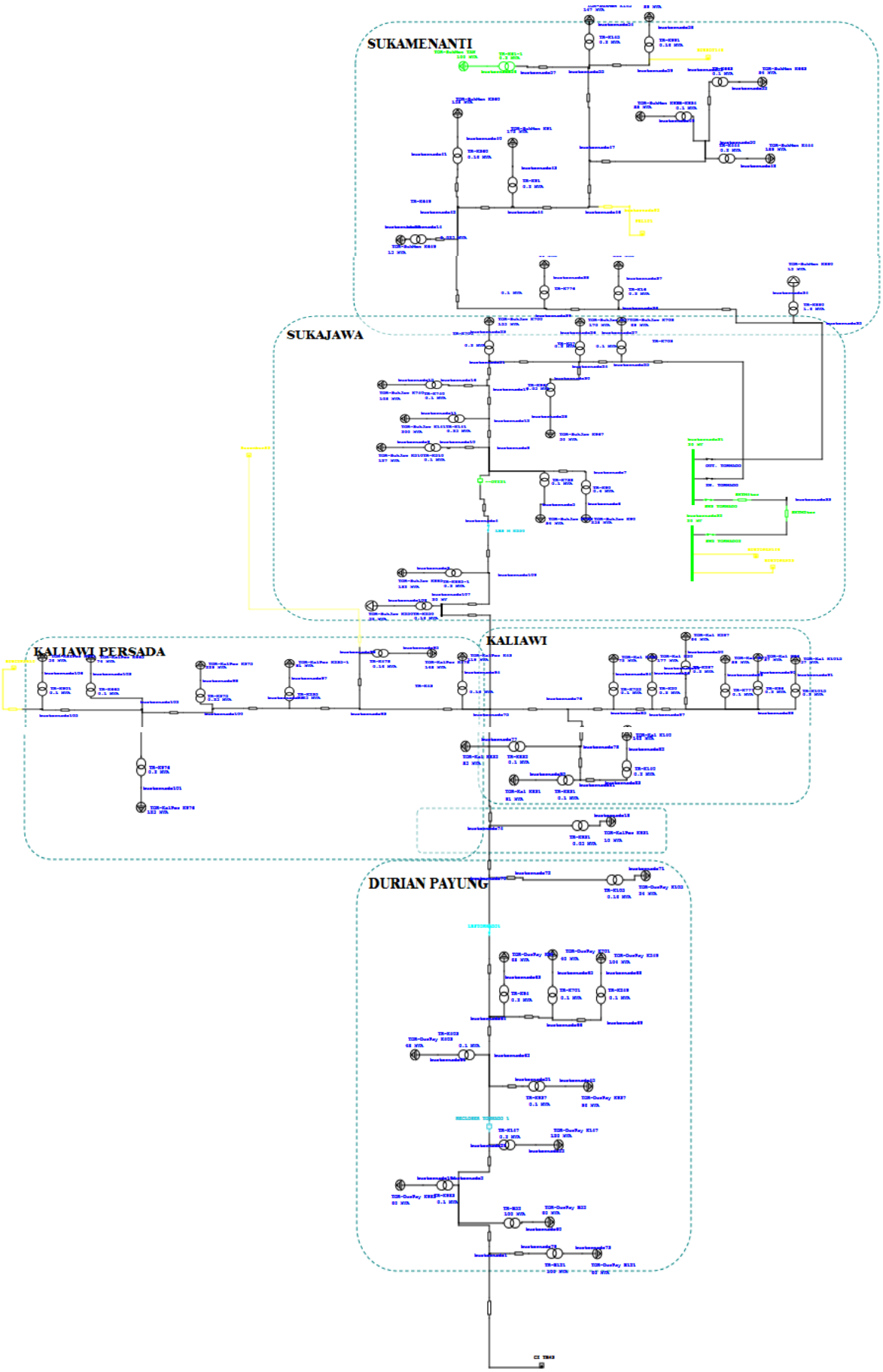
PENYULANG TISSOT



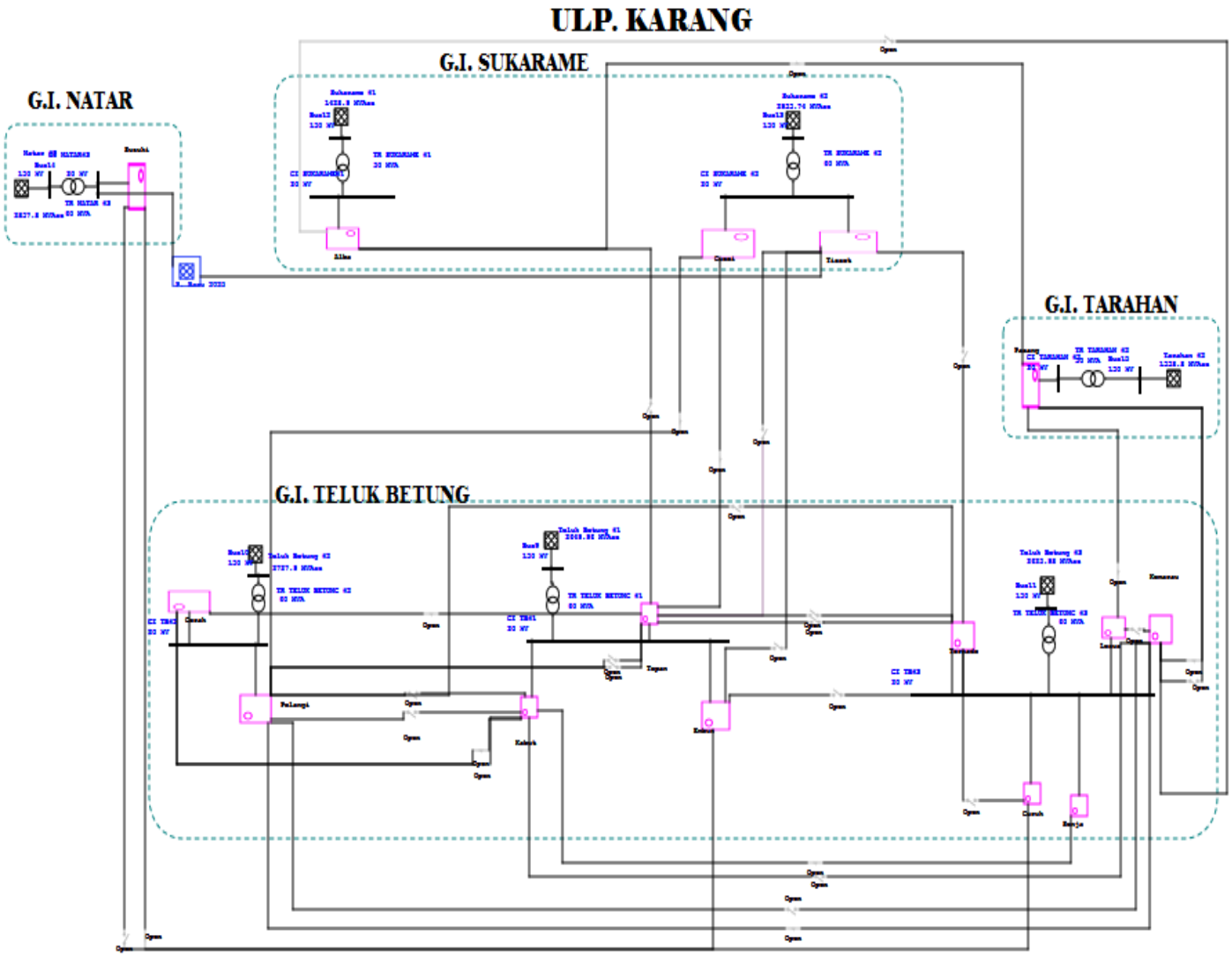
PENYULANG TOPAN



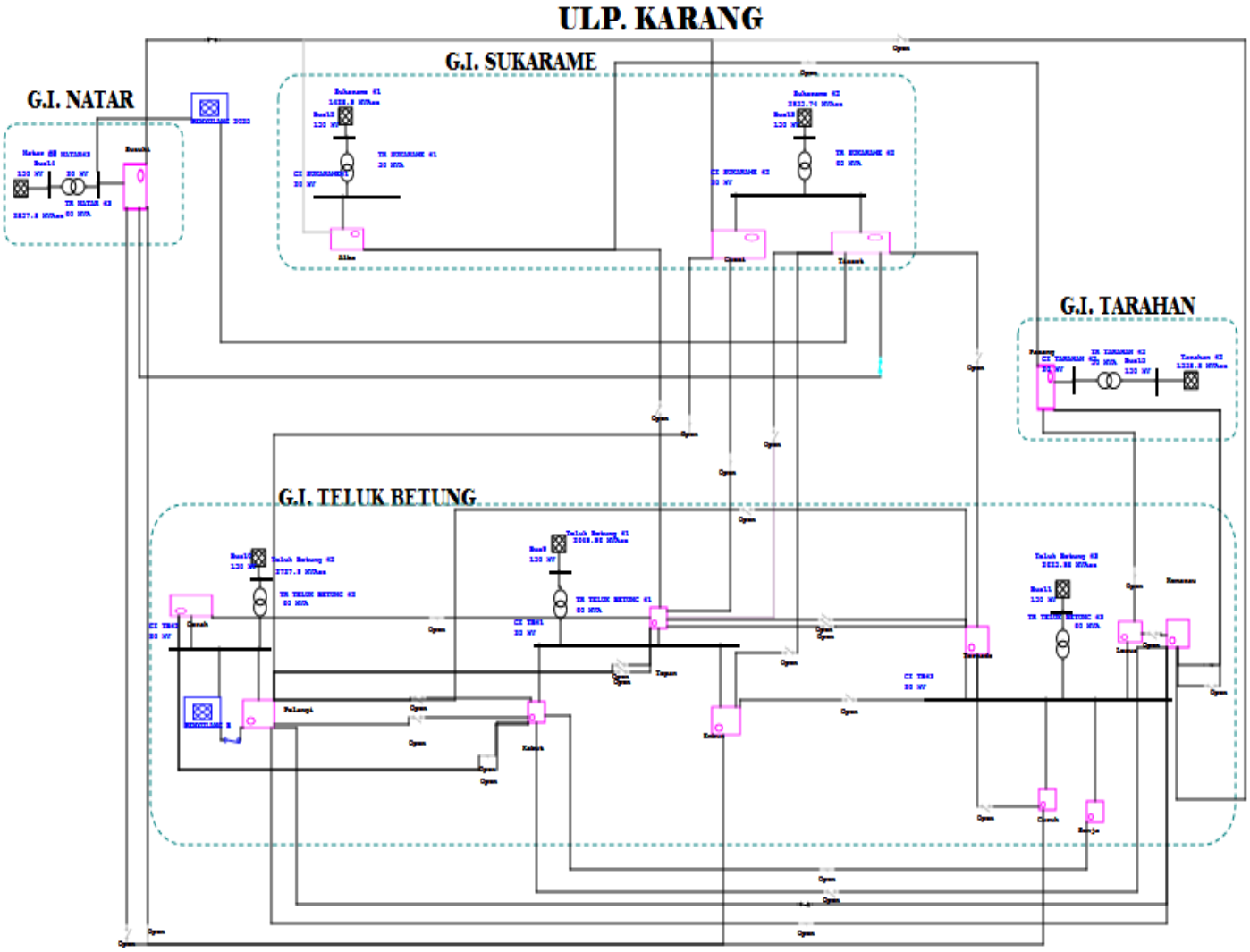
PENYULANG TORNADO



ULP KARANG SETELAH REKONFIGURASI 2025



ULP KARANG SETELAH REKONFIGURASI 2030



LAMPIRAN C
PENGOLAHAN DATA BEBAN LISTRIK TAHUN 2023, 2025, DAN 2030

DATA KEPADATAN BEBAN LISTRIK TIAP KELURAHAN

Penyulang	Lingkup Kelurahan	Data Kepadatan 2023 (kWH/m2)	Data Kepadatan 2025 (kWH/m2)	Data Kepadatan 2030 (kWH/m2)
Kabut	Enggal	22.98	22.98	22.98
	Gotong Royong	20.25	20.74	23.25
	Pelita	23.37	23.37	23.37
	Tanjung Karang	28.73	29.43	31.27
	Kebon Jeruk	21.69	21.69	21.97
Topan	Palapa	22.55	22.55	22.6
	Penengahan	19.62	19.62	25.31
	Pasir Gintung	20.98	22.6	24.62
	Surabaya	19.91	19.91	22.25
	Gunung Sulah	15.55	15.79	16.87
Embun	Durian Payung	12.75	13.72	16.68
	Kelapa Tiga Permai	11.37	11.37	11.88
	Gedong Air	17.22	17.72	17.72
	Gunung Agung	18.1	18.1	18.1
Pelangi	Gotong Royong	20.25	20.74	23.25
	Pasir Gintung	20.98	22.6	24.62
	Jagabaya I	17.99	17.99	18.11
	Jagabaya II	17.68	17.68	18.65
	Jagabaya III	16.05	16.05	16.37
	Penengahan	19.62	19.62	25.31
	Sidodadi	18.41	18.41	18.96
	Kebon Jeruk	21.69	21.69	21.97
	Sawah Lama	22.04	22.04	30.19
	Sawah Brebes	18.35	18.66	20.23
Cerah	Gotong Royong	20.25	20.74	23.25
	Palapa	22.55	22.55	22.6
Tornado	Kaliawi Persada	11.86	12.54	14.46
	SukaJawa	15.41	15.44	16.58
	Kaliawi	16.35	16.91	18.62
	Durian Payung	12.75	13.72	16.68
	SukaMenanti	11.9	12.58	12.94
Lesus	Kupang Teba	22.37	23.59	26.17
	Kota Baru	17.67	17.69	17.69
	Pahoman	19.82	19.82	19.85
	Rawa Laut	20.35	20.35	20.35
	Enggal	22.98	22.98	22.98

Penyulang	Lingkup Kelurahan	Data Kepadatan 2023 (kWH/m2)	Data Kepadatan 2025 (kWH/m2)	Data Kepadatan 2030 (kWH/m2)
Kemarau	Kota Baru	17.67	17.69	17.69
	Tanjung Raya	17.92	17.97	18.29
	Tanjung Agung Raya	21.24	21.24	21.24
	Kedamaian	17.72	17.72	17.77
Guruh	Susunan Baru	10.19	10.54	14.31
	Sukadanaham	1.41	1.42	1.76
Senja	Pelita	23.37	23.37	23.37
	Gotong Royong	20.25	20.74	23.25
Pasang	Kota Baru	17.67	17.69	17.69
	Bumi Kedamaian	19.55	19.86	21.72
	Tanjung Gading	7.35	9.26	11.5
	Tanjung Raya	17.92	17.97	18.29
Suzuki	Kemiling Raya	11.48	11.92	12.93
	Pinang Jaya	10.72	10.88	12.64
	Beringin Jaya	13.48	13.71	14.07
	Beringin Raya	20.79	20.58	20.52
	Sumber Agung	7.53	7.29	7.21
Alba	Tanjung Baru	21.57	20.84	20.2
	Jagabaya III	16.05	16.05	16.37
	Kalibalau Kencana	21.79	24.05	28.7
Tissot	Segala Mider	18.25	18.25	18.25
	Gunung Terang	16.62	16.62	16.49
	Langkapura	11.62	12.01	13.64
	Langkapura Baru	13.95	13.95	13.95
Gucci	Penengahan	19.62	19.62	25.31

DATA RASIO DAYA TIAP KELURAHAN

Penyulang	Lingkup Kelurahan	Penggunaan Daya tiap Kelurahan (kVA)	Rasio Daya tiap Kelurahan
Kabut	Enggal	821	0.122849
	Gotong Royong	2042	0.3055514
	Pelita	2128	0.3184199
	Tanjung Karang	1245	0.1862936
	Kebon Jeruk	447	0.0668861
Topan	Palapa	1715	0.322611
	Penengahan	301	0.0566215
	Pasir Gintung	1582	0.2975922
	Surabaya	1464	0.275395
	Gunung Sulah	254	0.0477803
Embun	Durian Payung	1398	0.4040462
	Kelapa Tiga Permai	390	0.1127168
	Gedong Air	703	0.2031792
	Gunung Agung	969	0.2800578
Pelangi	Gotong Royong	965	0.1032417
	Pasir Gintung	1433	0.1533112
	Jagabaya I	402	0.0430085
	Jagabaya II	1452	0.155344
	Jagabaya III	434	0.046432
	Penengahan	813	0.0869798
	Sidodadi	1722	0.1842302
	Kebon Jeruk	1679	0.1796298
	Sawah Lama	265	0.0283513
	Sawah Brebes	182	0.0194715
Cerah	Gotong Royong	810	0.472028
	Palapa	906	0.527972
Tornado	Kaliawi Persada	842	0.1677291
	SukaJawa	1395	0.2778884
	Kaliawi	864	0.1721116
	Durian Payung	680	0.1354582
	SukaMenanti	1239	0.2468127
Lesus	Kupang Teba	780	0.1421542
	Kota Baru	329	0.0599599
	Pahoman	180	0.0328048
	Rawa Laut	2129	0.388008
	Enggal	2069	0.3770731
Kemarau	Kota Baru	1644	0.3580919
	Tanjung Raya	245	0.0533653
	Tanjung Agung Raya	1600	0.348508

Penyulang	Lingkup Kelurahan	Penggunaan Daya tiap Kelurahan (kVA)	Rasio Daya tiap Kelurahan
Kemarau	Kedamaian	1102	0.2400349
Guruh	Susunan Baru	552	0.2680913
	Sukadanaham	1507	0.7319087
Senja	Pelita	789	0.6414634
	Gotong Royong	441	0.3585366
Pasang	Kota Baru	651	0.1769984
	Bumi Kedamaian	1651	0.4488853
	Tanjung Gading	137	0.0372485
	Tanjung Raya	1239	0.3368679
Suzuki	Kemiling Raya	1277	0.2008493
	Pinang Jaya	762	0.119849
	Beringin Jaya	1004	0.1579113
	Beringin Raya	2785	0.4380308
	Sumber Agung	530	0.0833595
Alba	Tanjung Baru	1770	0.363599
	Jagabaya III	2038	0.4186524
	Kalibalau Kencana	1060	0.2177486
Tissot	Segala Mider	2775	0.4168544
	Gunung Terang	1375	0.2065495
	Langkapura	1525	0.2290822
	Langkapura Baru	982	0.1475139
Gucci	Penengahan	1307	1

DATA KOEFISIEN PENGALI TIAP KELURAHAN

Penyulang	Lingkup Kelurahan	Koefisien Pengali 2023	Koefisien Pengali 2025	Koefisien Pengali 2030
Kabut	Enggal	2.82307	2.82307	2.82307
	Gotong Royong	6.187416	6.337136	7.10407
	Pelita	7.441472	7.441472	7.441472
	Tanjung Karang	5.352215	5.48262	5.8254
	Kebon Jeruk	1.45076	1.45076	1.469488
Topan	Palapa	7.274878	7.274878	7.291008
	Penengahan	1.110914	1.110914	1.433091
	Pasir Gintung	6.243484	6.725583	7.326719
	Surabaya	5.483115	5.483115	6.12754
	Gunung Sulah	0.742983	0.754451	0.806053
Embun	Durian Payung	5.15159	5.543514	6.739491
	Kelapa Tiga Permai	1.28159	1.28159	1.339075
	Gedong Air	3.498746	3.600335	3.600335
	Gunung Agung	5.069046	5.069046	5.069046
Pelangi	Gotong Royong	2.090644	2.141232	2.400369
	Pasir Gintung	3.216469	3.464834	3.774522
	Jagabaya I	0.773722	0.773722	0.778883
	Jagabaya II	2.746481	2.746481	2.897165
	Jagabaya III	0.745234	0.745234	0.760092
	Penengahan	1.706543	1.706543	2.201458
	Sidodadi	3.391679	3.391679	3.493005
	Kebon Jeruk	3.896171	3.896171	3.946467
	Sawah Lama	0.624864	0.624864	0.855927
	Sawah Brebes	0.357302	0.363338	0.393908
Cerah	Gotong Royong	9.558566	9.78986	10.97465
	Palapa	11.905769	11.905769	11.932168
Tornado	Kaliawi Persada	1.989267	2.103323	2.425363
	SukaJawa	4.282261	4.290598	4.60739
	Kaliawi	2.814024	2.910406	3.204717
	Durian Payung	1.727092	1.858486	2.259442
	SukaMenanti	2.937072	3.104904	3.193757
Lesus	Kupang Teba	3.179989	3.353417	3.720175
	Kota Baru	1.059492	1.060691	1.060691
	Pahoman	0.650191	0.650191	0.651176
	Rawa Laut	7.895963	7.895963	7.895963
	Enggal	8.665139	8.665139	8.665139
Kemarau	Kota Baru	6.327484	6.334646	6.334646
	Tanjung Raya	0.956306	0.958974	0.976051
	Tanjung Agung Raya	7.402309	7.402309	7.402309

Penyulang	Lingkup Kelurahan	Koefisien Pengali 2023	Koefisien Pengali 2025	Koefisien Pengali 2030
Kemarau	Kedamaian	4.253418	4.253418	4.265419
Guruh	Susunan Baru	2.73185	2.825682	3.836387
	Sukadanaham	1.031991	1.03931	1.288159
Senja	Pelita	14.991	14.991	14.991
	Gotong Royong	7.260366	7.436049	8.335976
Pasang	Kota Baru	3.127561	3.131101	3.131101
	Bumi Kedamaian	8.775707	8.914861	9.749788
	Tanjung Gading	0.273777	0.344921	0.428358
	Tanjung Raya	6.036672	6.053515	6.161313
Suzuki	Kemiling Raya	2.30575	2.394124	2.596982
	Pinang Jaya	1.284781	1.303957	1.514891
	Beringin Jaya	2.128644	2.164964	2.221812
	Beringin Raya	9.106661	9.014674	8.988393
	Sumber Agung	0.627697	0.607691	0.601022
Alba	Tanjung Baru	7.842831	7.577403	7.3447
	Jagabaya III	6.719371	6.719371	6.85334
	Kalibalau Kencana	4.744741	5.236853	6.249384
Tissot	Segala Mider	7.607594	7.607594	7.607594
	Gunung Terang	3.432853	3.432853	3.406001
	Langkapura	2.661935	2.751277	3.124681
	Langkapura Baru	2.057819	2.057819	2.057819
Gucci	Penengahan	19.62	19.62	25.31

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS

Jonathan Sebastian adalah anak kedua dari dua bersaudara yang lahir pada tanggal 7 Oktober 1998. Menempuh pendidikan SD di Pangudi Luhur pada tahun 2004-2010. Melanjutkan pendidikan SMP di Pangudi Luhur pada tahun 2010-2013.Melanjutkan pendidikan SMA di Kolese Gonzaga pada tahun 2013-2016. Pada tahun 2016 melanjutkan studi ke perguruan tinggi di Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, mengambil bidang sistem tenaga dan menjadi asisten pada laboratorium simulasi. Berbagai kesibukan lain juga dilakukan, antara lain ikut tergabung dalam himpunan mahasiswa teknik elektro ITS, menjadi staff lingkar perpus dan wakahima internal. Tergabung juga dalam menjadi keamanan dan perizinan pada acara Electra dan Baronas.