TUGAS AKHIR – EE 184801

STUDI MASTER PLAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV ULP WAY HALIM DI KOTA BANDAR LAMPUNG UNTUK MENINGKATKAN NILAI KEANDALAN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY INDEX ASSESSMENT (RIA)*

Marcellinus Verylian Nathan Pramudita
NRP 07111640000053

Dosen Pembimbing
Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T.
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

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

TUGAS AKHIR – EE 184801

STUDI MASTER PLAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV ULP WAY HALIM DI KOTA BANDAR LAMPUNG UNTUK MENINGKATKAN NILAI KEANDALAN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY INDEX ASSESSMENT (RIA)*

Marcellinus Verylian Nathan Pramudita
NRP 07111640000053

Dosen Pembimbing
Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T.
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

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

FINAL PROJECT – EE 184801

Distribution System Master Plan Study of 20 kV ULP Way Halim in Bandar Lampung to Increase the Value of Reliability Using Reliability Index Assessment (RIA) Method

Marcellinus Verylian Nathan Pramudita
NRP 07111640000053

Supervisor(s)
Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T.
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

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

PERNYATAAN KEASLIAAN
TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**STUDI MASTER PLAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV ULP WAY HALIM DI KOTA BANDAR LAMPUNG UNTUK MENINGKATKAN NILAI KEANDALAN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY INDEX ASSESSMENT (RIA)***" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan 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

Marcellinus Verylian N. P.
NRP. 0711 16 4000 0053

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDI MASTER PLAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV ULP WAY HALIM DI KOTA BANDAR LAMPUNG UNTUK MENINGKATKAN NILAI KEANDALAN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY INDEX ASSESSMENT (RIA)*

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagai Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T.
NIP. 198103252010121002

SURABAYA
JULI 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDI MASTER PLAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV ULP WAY HALIM DI KOTA BANDAR LAMPUNG UNTUK MENINGKATKAN NILAI KEANDALAN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY INDEX ASSESSMENT (RIA)*

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagai Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing II

Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
NIP. 196307251990031002

SURABAYA
JULI 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDI MASTER PLAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV ULP WAY HALIM DI KOTA BANDAR LAMPUNG UNTUK MENINGKATKAN NILAI KEANDALAN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY INDEX ASSESSMENT (RIA)*

Nama Mahasiswa	: Marcellinus Verylian Nathan Pramudita
NRP	: 07111640000053
Dosen Pembimbing I	: Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T.
NIP	: 198103252010121002
Dosen Pembimbing II	: Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
NIP	: 196307251990031002

ABSTRAK

ULP Way Halim merupakan salah satu rayon di kota Bandar Lampung dengan pertumbuhan yang cukup pesat, dimana diproyeksikan terdapat kenaikan pertumbuhan beban listrik sekitar 43% pada tahun 2030. Maka dari itu, perlu direncanakan suatu kajian *masterplan* mengenai sistem kelistrikan distribusi 20 kV yang lebih andal dalam menghadapi pertumbuhan beban ini. Untuk mengetahui kondisi sistem eksisting dan kondisi sistem tahun 2030, pada tugas akhir ini dilakukan permodelan, simulasi, dan analisis sistem menggunakan *software* ETAP 16.0.0 dengan metode *Reliability Index Assessment* (RIA) untuk mengetahui nilai aliran daya serta indeks keandalan. Parameter keandalan sistem mempertimbangkan nilai SAIDI dan SAIFI. Guna meningkatkan nilai keandalan sistem pada tahun 2030, dilakukan skenario rekonfigurasi jaringan dengan pengoperasian komponen *switching* eksisting serta memperhatikan batasan operasional tegangan dan arus pada sistem. Setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan, nilai SAIDI dan SAIFI yang awalnya sebesar 44.0269 (jam/tahun) dan 12.7611 (kali/tahun), menjadi 42.8049 (jam/tahun) dan 12.6339 (kali/tahun). Hal ini membuktikan penerapan rekonfigurasi jaringan dapat meningkatan keandalan sistem kelistrikan ULP Way Halim pada tahun 2030.

Kata Kunci : ULP Way Halim, *Masterplan*, Keandalan, *Reliability Index Assessment* (RIA), Rekonfigurasi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DISTRIBUTION SYSTEM MASTER PLAN STUDY OF 20 KV ULP WAY HALIM IN BANDAR LAMPUNG TO INCREASE THE VALUE OF RELIABILITY USING RELIABILITY INDEX ASSESSMENT (RIA) METHOD

Student's Name	: Marcellinus Verylian Nathan Pramudita
NRP	: 07111640000053
Supervisor I	: Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T.
NIP	: 198103252010121002
Supervisor II	: Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
NIP	: 196307251990031002

ABSTRACT

ULP Way Halim is a rayon in the city of Bandar Lampung with quite rapid growth, where there is a projected increase in electricity load growth of around 43% by 2030. Therefore, a masterplan study on the electricity system of the 20 kV distribution which is more reliable in 2030 facing this growing burden. To determine the condition of the existing system and the condition of the system in 2030, in this final project modeling, simulation, and analysis of the system using ETAP 16.0.0 software with the Reliability Index Assessment (RIA) method to determine the value of power flow and reliability index. System reliability parameters consider the value of SAIDI and SAIFI. In order to increase the value of system reliability in 2030, a network reconfiguration scenario is performed with the operation of the existing switching components and taking into account operational limits on voltage and current in the system. After the network reconfiguration, the SAIDI and SAIFI values started at 44.0269 (hours / year) and 12.7611 (times / year), becoming 42.8049 (hours / year) and 12.6339 (times / year). This proves the application of network reconfiguration can increase the reliability of the Way Halim ULP electricity system in 2030.

Keywords : ULP Way Halim, *masterplan*, Reliability, *Reliability Index Assessment* (RIA), Reconfiguration

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Terima kasih pertama-tama penulis ucapkan kepada Tuhan karena atas berkat, cinta, dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **"Studi *Master Plan* Sistem Distribusi 20 kV ULP Way Halim di Kota Bandar Lampung untuk Meningkatkan Nilai Keandalan Menggunakan Metode *Reliability Index Assessment (RIA)"*** dengan lancar, baik, dan tepat waktu.

Adapun pembuatan Tugas Akhir merupakan salah satu persyaratan untuk menuntaskan studi S1 bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan kasih atas bantuan, bimbingan, doa dan dukungan, kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, cinta, rahmat, dan anugerah-Nya dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak, Ibu, dan Dek Nathan yang selalu memberikan dukungan doa, cinta, dan kasih sayang kepada penulis baik dalam keadaan susah maupun senang.
3. Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T. dan Ir. Sjamsjul Anam, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen Departemen Teknik Elektro (DTE)
5. *Fake Friend* (Aldy, Bariq, Hari, Jojo, Vito, dan Yohan) serta seluruh asisten PSSL 2017 2018 yang selalu bersedia bekerja sama, membantu dan mendukung penulis selama di PSSL
6. Teman-teman penulis yang tidak bisa penulis sebutkan satu-satu, yang selalu menemani, mendukung dan mendoakan penulis selama kuliah dan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

Dalam menyusun Tugas Akhir ini, penulis menyadari masih banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, kritik, saran, maupun diskusi sangat diharapkan penulis untuk kemajuan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL
PERNYATAAN KEASLIAAN TUGAS AKHIR
HALAMAN PENGESAHAN
ABSTRAK ..... **i**
ABSTRACT ..... **iii**
KATA PENGANTAR ..... **v**
DAFTAR ISI ..... **vii**
DAFTAR GAMBAR ..... **ix**
DAFTAR TABEL ..... **xi**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Perumusan Masalah 2
1.3. Tujuan 2
1.4. Batasan Masalah 2
1.5. Metodologi Penelitian 2
1.6. Sistematika Penulisan 3
1.7. Manfaat 4
BAB II TEORI PENUNJANG **5**
2.1 Sistem Tenaga Listrik 5
2.2 Konfigurasi Sistem Distribusi 5
2.3 Analisis Aliran Daya 6
2.4 Keandalan Sistem Distribusi 6
2.4.1 Konsep Dasar Keandalan 7
2.4.2 Laju Kegagalan 7
2.5 Indeks Keandalan Sistem Distribusi 7
2.6 Reliability Index Assessment (RIA) 8
2.7 Rekonfigurasi Jaringan Distribusi 10
BAB III METODOLOGI DAN PEMODELAN SISTEM **13**
3.1 Metodologi Penelitian 13
3.2 Sistem Kelistrikan ULP Way Halim 15
3.2.1 Umum 15
3.2.2 *Single Line Diagram* (SLD) ULP Way Halim 16
3.2.3 Data Trafo Gardu Induk (GI) 17
3.2.4 Data Panjang Penyulang / *Feeder* 18
3.2.5 Data Pembebanan Trafo Distribusi tiap Penyulang 18
3.2.6 Data Keandalan Peralatan 19
3.2.7 *Keypoint* ULP Way Halim 20

3.2.8 Rekap Data Historis SAIDI / SAIFI 21
3.3 Data Pengembangan Sistem 22
3.3.1 Proyeksi Pertumbuhan Beban 22
3.3.2 Proyeksi Kepadatan Beban tiap Kelurahan 23
3.4 Pemodelan Sistem pada *Software* ETAP 16.0.0 24
3.4.1 Sistem Kelistrikan ULP Way Halim 24
3.4.2 Pemodelan Penyulang / *Feeder* 26
3.5 Metode *Reliability Index Assessment (RIA)* 26
3.5.1 Metode RIA menggunakan ETAP 16.0.0 26
3.5.2 Perhitungan Indeks Keandalan ULP Way Halim 27
BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS 29
4.1 Analisis Kondisi Eksisting 29
4.1.1 Simulasi *Load Flow Analysis* 29
4.1.2 Simulasi Keandalan dengan Metode RIA 32
4.1.3 Analisis Simulasi Kondisi Eksisting 33
4.2 Rencana *Masterplan* ULP Way Halim 33
4.2.1 Rasio Beban Trafo Distribusi tiap Kelurahan 34
4.2.2 Rasio Kepadatan Beban Kelurahan 34
4.2.3 Penambahan Beban tiap Trafo Distribusi Tahun 2030 34
4.2.4 Rekap Data Hasil Pengembangan Sistem 35
4.3 Simulasi Sistem 2030 Sebelum Rekonfigurasi 36
4.3.1 *Input* Data Hasil Pengembangan 36
4.3.2 Simulasi Sebelum Rekonfigurasi 37
4.3.3 Analisis Sistem Sebelum Rekonfigurasi 39
4.4 Simulasi Sistem 2030 Setelah Rekonfigurasi 39
4.4.1 Skenario Rekonfigurasi 39
4.4.2 Simulasi Setelah Rekonfigurasi 40
4.4.3 Analisis Sistem Setelah Rekonfigurasi 42
4.5 Perbandingan Hasil Simulasi Keandalan 43
BAB V PENUTUP 45
5.1. Kesimpulan 45
5.2. Saran 45
DAFTAR PUSTAKA 47
LAMPIRAN A 49
LAMPIRAN B 60
LAMPIRAN C 77
BIOGRAFI 81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen sistem tenaga listrik 5
Gambar 2.2 Flowchart atau Diagram alir dari Metode RIA 9
Gambar 2.3 Skema input dan output Metode RIA 10

Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian 13
Gambar 3.2 Pertumbuhan Konsumsi Energi Listrik per Gol. Tarif 15
Gambar 3.3 Peta Kelistrikan ULP Way Halim 16
Gambar 3.4 Single Line Diagram (SLD) ULP Way Halim 17
Gambar 3.5 Pemodelan Sistem pada ETAP 16.0.0 25
Gambar 3.6 Single Line Diagram untuk Pemodelan Metode RIA 27

Gambar 4.1 Loading (%) Trafo GI Eksisting 30
Gambar 4.2 Loading (%) Trafo GI pada Tahun 2030 Sebelum Rekonfigurasi 37
Gambar 4.3 Loading (%) Trafo GI pada Tahun 2030 Setelah Rekonfigurasi 41
Gambar 4.4 Perbandingan SAIDI dan SAIFI ULP Way Halim pada tahun 2030 43

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Keterangan Warna Penyulang ULP Way Halim 16
Tabel 3.2 Data Gardu Induk..... 17
Tabel 3.3 Data Panjang Penyulang / Feeder 18
Tabel 3.4 Data Pembebanan Trafo Distribusi tiap Penyulang..... 18
Tabel 3.5 Data Pembebanan tiap Penyulang ULP Way Halim 19
Tabel 3.6 Data Indeks Kegagalan Saluran Udara dan Kabel..... 20
Tabel 3.7 Data Indeks Kegagalan Peralatan 20
Tabel 3.8 Keypoint ULP Way Halim 20
Tabel 3.9 Rekap Data SAIDI SAIFI ULP Way Halim 21
Tabel 3.10 Proyeksi Pertumbuhan Beban ULP Way Halim..... 22
Tabel 3.11 Data Kenaikan Beban Tiap Penyulang / Feeder..... 22
Tabel 3.12 Data Kepadatan Beban (kW/mm^2) tiap Kelurahan..... 23
Tabel 3.13 File Library SPLN untuk Transmission Line 25

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Load Flow ULP Way Halim eksisting 30
Tabel 4.2 Hasil Simulasi Load Flow Penyulang Eksisting..... 31
Tabel 4.3 Data Drop Tegangan Penyulang Eksisting..... 31
Tabel 4.4 Data Losses Penyulang Eksisting 32
Tabel 4.5 Hasil Simulasi Keandalan ULP Way Halim Eksisting 32
Tabel 4.6 Hasil Simulasi Keandalan Penyulang Eksisting..... 33
Tabel 4.7 Data Hasil Pengembangan Sistem Tahun 2030..... 35
Tabel 4.8 Hasil Simulasi Load Flow Tahun 2030 Sebelum Rekonfigurasi..... 37
Tabel 4.9 Hasil Simulasi Load Flow Penyulang 2030 Sebelum Rekonfigurasi..... 37
Tabel 4.10 Data Drop Tegangan Penyulang 2030 Sebelum Rekonfigurasi..... 38
Tabel 4.11 Data Keandalan Penyulang 2030 Sebelum Rekonfigurasi. 38
Tabel 4.12 Skenario Rekonfigurasi Tahun 2030 40
Tabel 4.13 Hasil Simulasi Load Flow Tahun 2030 Setelah Rekonfigurasi Sistem 40
Tabel 4.14 Hasil Simulasi Load Flow Penyulang 2030 Setelah Rekonfigurasi Sistem 41
Tabel 4.15 Data Drop Tegangan Tahun 2030 Setelah Rekonfigurasi.. 41
Tabel 4.16 Data Keandalan Penyulang 2030 Setelah Rekonfigurasi... 42

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kota Bandar Lampung merupakan salah satu kota yang terus mengalami perkembangan di Pulau Sumatra. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Lampung, hingga Kuartal IV 2019 terjadi pertumbuhan ekonomi sebesar 5,27 persen. Pertumbuhan yang positif ini diikuti pula dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik di berbagai sektor, baik industri, komersial, rumah tangga, maupun pemerintahan. Maka dari itu, untuk mengantisipasi kebutuhan listrik di masa datang, perlu dilakukan sebuah studi perencanaan sistem kelistrikan kota Bandar Lampung untuk beberapa tahun kedepan.

Sistem kelistrikan distribusi Lampung sendiri terbagi menjadi tiga rayon, yakni Unit Layanan Penduduk (ULP) Karang, ULP Teluk Betung, dan ULP Way Halim. Dalam Tugas Akhir ini, fokus pengembangan berada di ULP Way Halim yang terdiri dari 14 penyulang *(feeder)* dan dipasok tiga Gardu Induk (GI), yaitu GI Natar, GI Sukarame, dan GI Sutami. Karena sistemnya yang begitu kompleks, keandalan dalam penyaluran listrik menjadi poin penting dalam perencaan sistem kedepan. Keandalan dalam konteks ini merupakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan kondisi operasi tertentu. Adapaun indeks keandalan yang menjadi parameter adalah nilai SAIDI *(System Average Interruption Duration Index)* dan SAIFI *(System Average Interruption Frequency Index)*.

Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terhadap jaringan distribusi eksisting kota Bandar Lampung sekaligus melakukan rencana pengembangan kedepan dalam rangka memenuhi pertumbuhan kebutuhan energi listrik dan pencapaian standar keandalan yang diinginkan. Faktor terpenting dalam pencapaian pemenuhan kebutuhan dan standar keandalan adalah ketepatan metode analisis, dimana dalam Tugas Akhir ini digunakan metode *Reliability Index Assessment (RIA)* untuk memprediksi adanya gangguan pada sistem distribusi berdasarkan topologi jaringan dan mempertimbangkan data-data mengenai *component reliability* serta menggunakan *software* ETAP untuk pemodelan dan simulasi sistem.

1.2. Perumusan Masalah

Dengan berkembangnya perekonomian kota Bandar Lampung, kedepannya, permintaan akan kebutuhan listrik juga meningkat. Berdasarkan kondisi tersebut, perlu dilakukan suatu studi masterplan sistem distribusi 20 kV wilayah Bandar Lampung, khususnya ULP Way Halim, yang handal agar dapat memenuhi permintaan konsumen di masa mendatang. Dalam tugas akhir ini, akan dianalisis keandalan sistem dengan metode *Reliability Index Assessment (RIA)* serta menggunakan *software* ETAP untuk pemodelan dan simulasi sistem.

1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Dapat menghitung dan menganalisis indeks keandalan suatu jaringan sistem distribusi ULP Way Halim kota Bandar Lampung dengan metode RIA.
2. Memodelkan dan mensimulasikan sistem kelistrikan tersebut menggunakan *software* ETAP 16.0.0.
3. Mengetahui nilai keandalan sistem kelistrikan menggunakan *software* ETAP 16.0.0.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah :

1. Menggunakan *plant* sistem kelistrikan kota Bandar Lampung yang terbatas pada ULP Way Halim pada tahun 2020 dengan data jaringan dan beban didapatkan dari PLN UID Lampung.
2. Pemodelan pengembangan *masterplan* sistem kelistrikan ULP Way Halim menggunakan data hasil *forecast* dari pihak PLN UID Lampung untuk tahun 2030.
3. Pemodelan dan simulasi sistem menggunakan *software* ETAP 16.0.0
4. Metode RIA yang digunakan menggunakan modul keandalan pada *software* ETAP 16.0.0
5. Menggunakan SPLN 59:1985 dan SPLN 1: 1995 sebagai standar dalam pemodelan dan simulasi sistem

1.5. Metodologi Penelitian

Metode yang diterapkan untuk melaksanakan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur
   Hal yang pertama kali dilakukan ialah mencari referensi dan studi literatur mengenai keandalan sistem distribusi serta cara kerja metode *Reliability Index Assessment (RIA)* melalui buku, jurnal, maupun paper.
2. Pengumpulan Data
   Mengumpulkan data-data yang diperlukan mengenai Tugas Akhir ini. Data yang diperlukan antara lain berupa *Single Line Diagram (SLD)*, spesifikasi GI, data trafo dan saluran distribusi, dan data beban. Data-data ini didapatkan dari PLN (Persero) UID Lampung.
3. Pemodelan Sistem
   Pemodelan sistem menggunakan *software* ETAP 16.0.0 berupa pemodelan *plant* ULP Way Halim beserta *feeder-feeder* penyusunnya. Pemodelan sistem ini juga memperhatikan batasan yang telah ditentukan pada pengerjaan tugas akhir ini.
   Setelah data-data yang diperlukan untuk mengerjakan Tugas Akhir ini telah terkumpul, selanjutnya data tersebut dapat digunakan untuk membuat pemodelan sistem kelistrikan jaringan distribusi kota Bandar Lampung, khususnya di wilayah ULP Way Halim. Pemodelan sistem untuk melakukan simulasi sistem kelistrikan menggunakan *software* ETAP.
4. Simulasi dan Analisis Sistem
   Simulasi dilakukan secara bertahap, dimulai dari simulasi dan analisis sistem eksisting dan simulasi sistem setelah pengembangan. Setelah itu dianalisis hasil simulasi terkait keandalan sistem.
5. Pembuatan Laporan
   Hasil analisis dan kesimpulan penelitian ini dilaporkan dalam bentuk laporan tugas akhir sebagai jawaban dari perumusan masalah dan tujuan tugas akhir ini. Di samping itu, ditambahkan pula saran dan rekomendasi untuk pengembangan selanjutnya.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang ditetapkan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. BAB I
   Bab I merupakan pendahuluan yang membahas terkait latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi yang digunakan, sistematika penulisan, dan manfaat dari Tugas Akhir ini.

2. BAB II

   Bab II berisikan tinjauan Pustaka yang membahas tentang sistem tenaga listrik, analisis aliran daya, keandalan sistem distribusi, dan metode *Reliability Index Assessment* (RIA).
3. BAB III

   Bab III membahas terkait pemodelan sistem kelistrikan kota Bandar Lampung, khususnya ULP Way Halim, pada *Single Line Diagram* serta data pendukung lainnya.
4. BAB IV

   Bab IV merupakan analisis hasil simulasi sistem terkait kondisi eksisting serta pengembangan sistem kedepannya.
5. BAB V

   Bab V menjelaskan tentang kesimpulan atas hasil simulasi dan analisis sistem. Selain itu dilengkapi pula dengan saran dan rekomendasi untuk perbaikan tugas akhir selanjutnya dengan topik terkait.

1.7. Manfaat

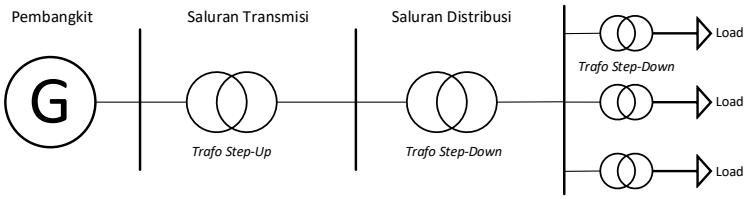
Pengerjaan Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain :

1. Diharapkan dapat diaplikasikan untuk meningkatkan keandalan sistem untuk masterplan sistem kelistrikan kota Bandar Lampung
2. Meningkatkan pemahaman terkait pengaplikasian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) secara nyata dalam bidang sistem tenaga terutama yang berhubungan dengan keandalan sistem distribusi
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa / akademisi untuk melakukan penelitian lebih lanjut dengan topik terkait

BAB II
TEORI PENUNJANG

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem terinterkoneksi yang menghubungkan sumber listrik, saluran transmisi, saluran distribusi, dan beban yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan listrik pelanggan (beban). Sumber listrik ini merupakan unit pembangkit yang menggunakan generator AC tiga fasa. Sumber energi primer pembangkit dapat berupa turbin hidrolik (PLTA), turbin uap (PLTU), maupun turbin gas (PLTG). Tegangan *output* dari pembangkit akan dinaikan menggunakan trafo *step-up* lalu disalurkan menuju Gardu Induk (GI) melalui saluran transmisi. Tegangan kemudian akan diturunkan menggunakan trafo *step-down* lalu disalukan menuju beban melalui saluran distribusi. [1]



Gambar 2.1 Komponen sistem tenaga listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga yang berperan untuk menyalurkan energi listrik kepada pelanggan (beban). Sistem distribusi merupakan sistem yang relatif mengalami gangguan paling banyak dibanding sistem lain. Sistem distribusi terdiri dari saluran distribusi primer atau biasa disebut Jaringan Tegangan Menengah (JTM) untuk tegangan 20 kV dan jaringan distribusi sekunder atau biasa disebut Jaringan Tegangan Rendah (JTR) untuk tegangan 380/220 volt. Pengelompokan ini didasarkan pada kebutuhan akan tenaga listrik yang berbeda dari pelanggan atau konsumen [2].

2.2 Konfigurasi Sistem Distribusi

Dalam sistem distribusi, terdapat berbagai macam jenis konfigurasi jaringan, seperti konfigurasi radial, konfigurasi *mesh*, konfigurasi *loop*,

dan konfigurasi spindel [1]. Berikut adalah penjelasan untuk masing-masing konfigurasi :

1. Konfigurasi Radial [3]
   Jenis konfigurasi ini menyalurkan energi listrik dalam satu arah aliran saja. Konfigurasi ini umum digunakan pada sistem distribusi karena sistemnya yang sederhana dan ekonomis. Namun kerugian dari konfigurasi radial ini ialah rugi daya pada jaringan yang besar serta tingkat keandalannya yang rendah apabila terjadi gangguan, dimana dampaknya akan berakibat pada satu saluran.
2. Konfigurasi *Mesh* [4]
   Struktur dari tipe konfigurasi ini dibentuk dari beberapa Gardu Induk (GI) yang saling terhubung sehingga daya beban disuplai lebih dari satu GI, yang berdampak pada meningkatnya nilai keandalan sistem.
3. Konfigurasi *loop* [4]
   Merupakan gabungan dua tipe konfigurasi radial dimana kedua ujung jaringan terhubung dan dipasang *Disconnector Switch* (DS). Kelebihan dari tipe ini ialah kualitas penyaluran listrik lebih handal dibanding radial, namun biaya investasinya lebih mahal dan operasinya lebih rumit.

2.3 Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya merupakan salah satu bagian terpenting dalam menganalisis operasi maupun masalah yang timbul dalam perencanaan sistem tenaga [5]. Analisis ini berdasarkan kondisi spesifik dari nilai pembangkitan, struktur jaringan, serta kondisi beban. Berdasarkan parameter tersebut, analisis akan dilakukan pada kondisi *steady state* dengan nilai tegangan tiap *node* dan aliran daya pada saluran. Adapun beberapa metode perhitungan aliran daya antara lain *Newton-Raphson*, *Gauss-Seidel*, *Fast Decoupled*, dan *DC Load Flow*.

2.4 Keandalan Sistem Distribusi

Secara umum, keandalan didefinisikan sebagai tingkat keberhasilan dari kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem, untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu [6]. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan dari suatu sistem, perlu dilakukan pemeriksaan melalui perhitungan maupun analisa terhadap tingkat keberhasilan kinerja atau operasi dari sistem yang ditinjau pada periode tertentu dan sesuai standar yang telah ditetapkan. Terdapat tiga parameter dasar dalam keandalan yang biasa digunakan

untuk mengevaluasi sistem distribusi, yaitu angka kegagalan rata-rata (λs), waktu pemadaman rata-rata (rs), dan waktu pemadaman tahunan (Us).

2.4.1 Konsep Dasar Keandalan

Konsep dasar keandalan dalam peralatan kelistrikan *(device)* ialah probabilitas suatu alat untuk dapat berfungsi sebagaimana harusnya dalam jangka waktu tertentu. Definisi keandalan sendiri mengandung empat istilah penting yaitu :

1. Fungsi → Parameter yang dilihat dalam nilai keandalan ini ialah apakah suatu peralatan atau komponen bekerja sesuai fungsinya secara baik dalam jangka waktu tertentu.
2. Lingkungan → Secara umum, lingkungan yang akan mempengaruhi keandalan meliputi cara pemakaian, transportasi, penyimpanan, instalasi, pemakai, dan ketersediaan peralatan perawatan.
3. Waktu → Keandalan akan menurun sesuai dengan pertambahan waktu. Waktu operasi meningkat sehingga probabiltas terjadinya kegagalan lebih tinggi.
4. Probabilitas → Keandalan berkaitan dengan probablitas yang selalu berubah terhadap waktu serta mempertimbangkan analisis statistik.

2.4.2 Laju Kegagalan

Laju kegagalan merupakan suatu nilai rata-rata dari jumlah kesalahan persatuan waktu pada selang waktu pengamatan waktu tertentu *(T)*, dan dinyatakan dalam satuan satuan kegagalan per tahun. Nilai laju kegagalan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{d}{T} \tag{2.1}$$

λ = laju kegagalan (kegagalan/tahun)
d = banyaknya kegagalan yang terjadi pada waktu T
T = selang waktu pengamatan (tahun)

2.5 Indeks Keandalan Sistem Distribusi

Indeks keandalan merupakan suatu metode pengevaluasian parameter keandalan suatu peralatan distribusi tenaga listrik terhadap keandalan mutu pelayanan kepada pelanggan [6]. Beberapa indeks keandalan yang umum digunakan antara lain :

a. SAIDI *(System Average Interruption Duration Index)*

   Indeks ini menggambarkan durasi atau lama pemadaman rata-rata yang dialami oleh pelanggan. Indeks ini dirumuskan dengan :

$$SAIDI = \frac{Sum\ of\ customer\ interruption\ durations}{Total\ number\ of\ customer\ served} \quad (2.2)$$

b. SAIFI *(System Average Interruption Frequency Index)*

Indeks ini memberikan informasi tentang frekuensi rata-rata pemadaman per pelanggan. Indeks ini dirumuskan dengan :

$$SAIFI = \frac{Total\ number\ of\ customer\ interruption}{Total\ number\ of\ customer\ served} \quad (2.3)$$

c. MAIFI *(Momentary Average Interruption Frequency Index)*

Indeks ini memberikan informasi frekuensi pemadaman rata-rata untuk tiap konsumen dalam kurun waktu setahun pada area tertentu yang dievaluasi yang disebabkan *momentary interruption*,

$$MAIFI = \frac{Sum\ of\ momentary\ interruption}{Total\ number\ of\ customer} \quad (2.4)$$

d. CAIDI *(Customer Average Interruption Duration Index)*

Indeks ini memberikan informasi lama waktu (durasi) rata-rata dari setiap pemadaman yang terjadi. Indeks ini dapat dirumuskan menjadi

$$CAIDI = \frac{Sum\ of\ customer\ interruption\ durations}{Total\ number\ of\ customer\ interruptions} \quad (2.5)$$

Indeks ini juga sama dengan perbandingan antara nilai SAIDI dengan nilai SAIFI.

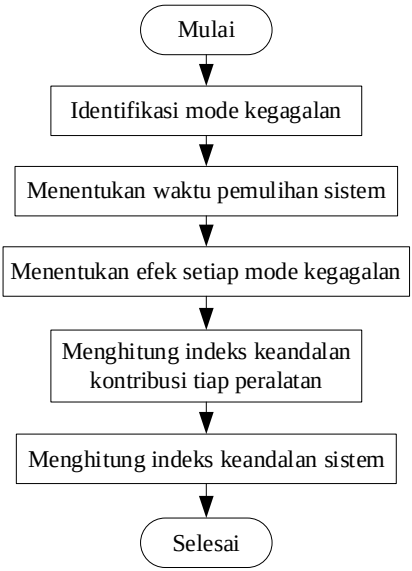
$$CAIDI = \frac{SAIFI}{SAIFI} \quad (2.6)$$

2.6 Reliability Index Assessment (RIA)

Metode RIA atau *Reliability Index Assessment* merupakan salah satu metode pendekatan yang digunakan untuk memprediksi gangguan pada sistem kelistrikan, dalam kasus ini dikhususkan pada jaringan distribusi, berdasarkan topologi sistem dan data terkait komponen keandalan

Secara fungsional, metode ini akan mendata kegagalan yang terjadi pada peralatan kelistrikan secara komprehensif, lalu mengidentifikasi kegagalan tersebut, dan menganalisis mode kegagalan tersebut [7]. Filosofi dari metode RIA adalah suatu sistem mode yang melibatkan analisistem *bottom-up*,dimana analisis yang dilakukan ialah analisis mode kegagalan secara spesifik dari sub sistem, kemudian dilihat pengaruhnya terhadap keseluruhan sistem sehingga dapat dihasilkan indeks-indeks keandalan yang memiliki kontribusi terhadap indeks keandalan seluruh sistem.

Berikut adalah *flowchart* atau diagram alir dari metode RIA yang digunakan untuk menghitung indeks keandalan kontribusi peralatan serta indeks keandalan sistem distribusi secara keseluruhan.



Gambar 2.2 *Flowchart* atau Diagram alir dari Metode RIA (*sumber* : Prabowo, 2012)

Dalam analisis keandalan sistem distribusi menggunakan metode RIA ini terdapat tiga parameter dasar yang dibutuhkan untuk analisis yaitu :

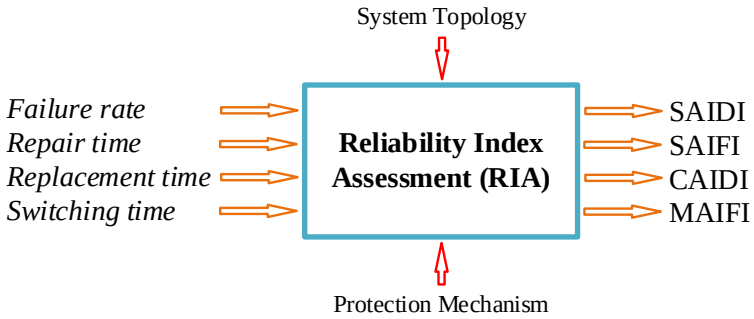
Average Failure Rate : λ *(failure/year)*
Average Annual Outage Time : U *(hr/year)*
Average Outage Time : r *(hr/failure)*
Dimana :

λ : penjumlahan laju kegagalan dari setiap peralatan.
U : penjumlahan (waktu perbaikan x laju kegagalan) setiap peralatan.
r : U dibagi dengan **λ**.

Adapun syarat-syarat dari penggunaan metode RIA (*Reliability Index Assessment*) ini antara lain [8]:

a. Data topologi penyulang / *feeder* untuk sistem jaringan distribusi 20 kV secara menyeluruh.
b. Data jumlah pelanggan pada setiap titik beban
c. Parameter data keandalan sistem

Penjelasan mengenai parameter data input output dari metode RIA yang akan digunakan ini adalah sebagai berikut :



Gambar 2.3 Skema *input* dan *output* Metode RIA

Pada metode *Reliability Index Assessment* (RIA) ini, parameter keandalan sistem distribusi yang diperhatikan yaitu sebagai berikut [9] :

1. SAIFI *(System Average Interruption Frequency Index)*
2. SAIDI *(System Average Interruption Duration Index)*
3. MAIFI *(Momentary Average Interruption Frequency Index)*
4. CAIDI *(Customer Average Interruption Index*

Sebelum melakukan analisis keandalan pada sebuah sistem, terlebih dahulu perlu ditentukan komponen dari *reliability data* yang akan digunakan, seperti :

a. λ_M *: Momentary failure rate* ; frekuensi dari *fault* yang akan hilang dengan sendirinya
b. λ_S *: Sustained failure rate* ; frekuensi dari *fault* yang membutuhkan kru untuk memperbaikinya
c. *MTTR : Mean Time To Repair* ; lama waktu yang digunakan oleh kru untuk memperbaiki *component outage* dan mengembalikan sistem ke keadanan normal
d. *MTTS : Mean Time To Switch* ; lama waktu yang dipakai setelah terjadi *failure* untuk *sectionalizing switch.*

2.7 Rekonfigurasi Jaringan Distribusi

Suatu jaringan distribusi merupakan sebuah sistem yang terinterkoneksi, namun dioperasikan dalam konfigurasi radial. Masalah

yang sering dijumpai pada sistem distribusi ini adalah adanya rugi-rugi daya maupun drop tegangan pada ujung saluran. Salah satu metode untuk mengatasi ini adalah dengan melakukan rekonfigurasi jaringan.

Jaringan distribusi diasumsikan terdiri dari *sectionalizer switch (normally closed)* dan *tie switch (normally open).* Konfigurasi jaringan ini diubah dengan cara mengubah status dari *switch* ini sehingga semua beban yang ada tetap terpasok dan mengurangi rugi-rugi daya. Pengubahan status ini dilakukan dengan batasan tidak merubah konfigurasi radial sistem. [10]

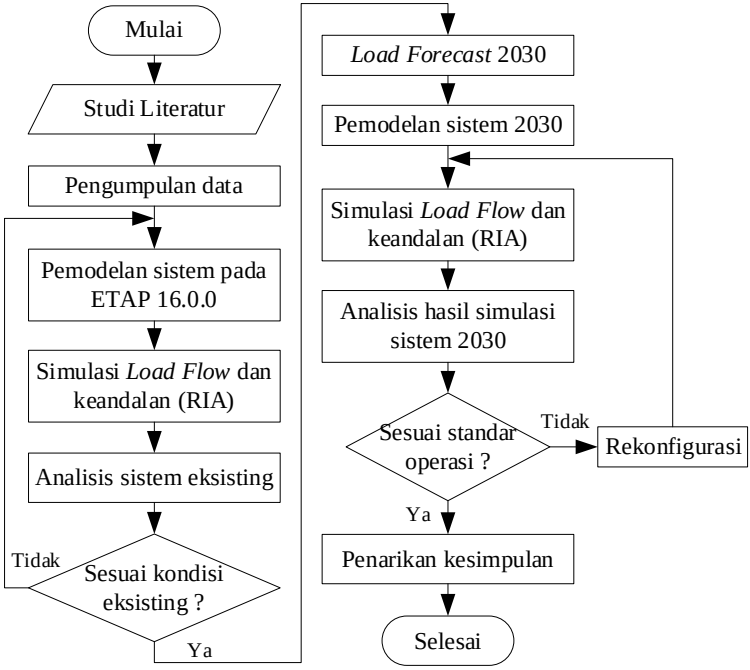
Terdapat beberapa batasan operasional dalam melakukan rekonfigurasi jaringan distribusi. Batasan pertama adalah dengan menjaga konfigurasi sistem tetap radial untuk menghindari pendeteksian gangguan, isolasi, dan koordinasi proteksi yang kompleks. Batasan selanjutnya adalah tegangan dan *loading* saluran yang masih dalam batas, dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, referensinya adalah SPLN 1 : 1995. [11]

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III
METODOLOGI DAN PEMODELAN SISTEM

3.1 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian adalah serangkaian tahapan yang terstruktur dan sistematis, yang akan dilakukan pada penilitian dari awal hingga akhir. Berikut merupakan diagram alir metodologi penelitian yang akan diterapkan pada tugas akhir ini :



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian

Berikut adalah penjelasan dari tahapan-tahapan yang ada pada diagram alir tersebut :

Langkah 1 : Pengerjaan tugas akhir ini diawali dengan studi literatur terkait sistem kelistrikan distribusi, aliran daya, keandalan sistem, dan pengembangan sistem.

Langkah 2 : Mengumpulkan data-data terkait seperti *Single Line Diagram* (SLD), data GI, saluran, beban, dan data keandalan. Data tersebut didapat dari PLN UID Lampung.

Langkah 3 : Membuat pemodelan sistem berdasarkan data yang didapat pada *software* ETAP 16.0.0. Suluruh penyulang dimodelkan sesuai dengan kondisi eksisting di lapangan.

Langkah 4 : Melakukan simulasi *Load Flow Analysis* dan keandalan sistem dengan metode *Reliability Index Assessment (RIA)* pada sistem eksisting dengan *software* ETAP 16.0.0.

Langkah 5 : Melakukan analisis dan pencatatan hasil simulasi eksisting tersebut, berkaitan dengan profil tegangan, arus, aliran daya, *losses* saluran, dan keandalan sistem.

Langkah 6 : Hasil simulasi tersebut akan divalidasi, apakah sesuai dengan kondisi sebenarnya. Apabila sesuai, dilanjutkan dengan langkah selanjutnya.

Langkah 7 : Sebelum dilakukaan pengembangan sistem, dilakukan *Load Forecast* dan kepadatan beban tiap kelurahan hingga tahun 2030. Data ini didapatkan dari PLN UID Lampung dan dianalisis terkait pertumbuhan beban pada tiap gardu distribusi untuk sistem tahun 2030.

Langkah 8 : Memodelkan sistem yang baru setelah adanya perubahan penambahan beban dari kondisi eksisting.

Langkah 9 : Melakukan simulasi *Load Flow Analysis* dan keandalan sistem dengan metode *Reliability Index Assessment (RIA)* pada sistem 2030 setelah pengembangan

Langkah 10 : Apabila sudah memenuhi standar operasional yang berlaku, dilanjutkan Langkah selanjutnya. Apabila tidak, maka perlu dilakukan rekonfigurasi jaringan dengan mempertimbangkan parameter aliran daya dan keandalan.

Langkah 11 : Hasil simulasi tersebut divalidasi apakah kondisi setelah pengembangan sistem sudah memenuhi standar operasional yang berlaku.

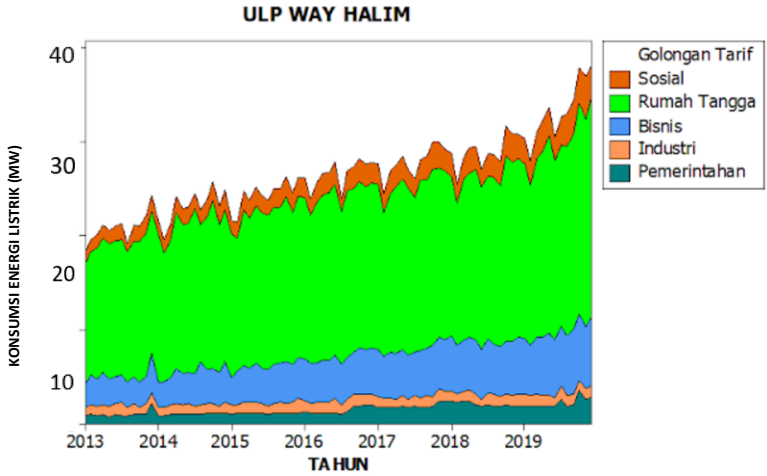
Langkah 12 : Menganalisis hasil simulasi pengembangan sistem tersebut dan mencatat parameter terkait aliran daya dan keandalan.

Langkah 13 : Setelah analisis dilakukan, akan ditarik kesimpulan terkait peningkatan keandalan sistem setelah adanya pengembangan dibandingkan dengan kondisi awal.

3.2 Sistem Kelistrikan ULP Way Halim

3.2.1 Umum

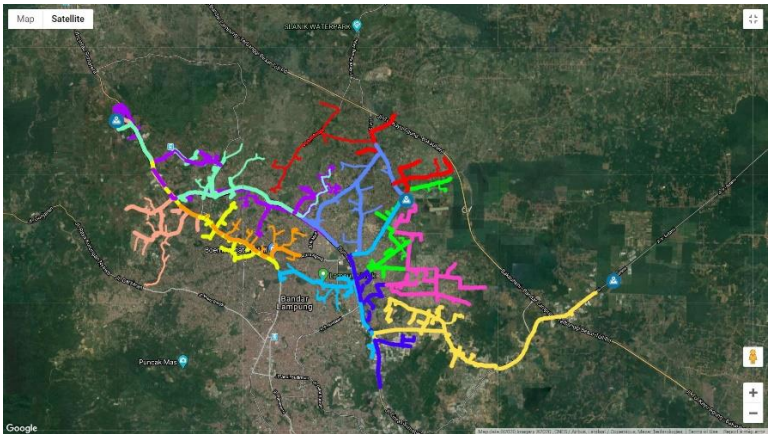
Sistem distribusi 20 kV kelistrikan kota Bandar Lampung dikelola oleh PLN UID Lampung, yang membawahi tiga ULP sekaligus, yakni ULP Karang, ULP Way Halim, dan ULP Teluk Betung. Untuk pengerjaan tugas akhir ini, *scope* analisis hanya dibatasi pada lingkup pengelolaan ULP Way Halim. Secara umum, penggunaan energi listrik ULP ini didominasi oleh golongan tarif pelanggan rumah tangga. **Gambar 3.2** menunjukkan data historis konsumsi energi listrik per golongan tarif yang ada pada ULP Way Halim dari tahun 2013 hingga 2019.



Gambar 3.2 Pertumbuhan Konsumsi Energi Listrik per Gol. Tarif (*sumber* : Data Niaga - PT. PLN UID Lampung)

ULP Way Halim terletak di bagian utara dan timur kota Bandar Lampung. ULP ini terdiri dari 14 penyulang *(feeder)* yang terhubung satu sama lain serta dipasok oleh tiga Gardu Induk (GI), yakni GI Natar yang terdiri dari 3 unit (1 unit 30 MVA dan 2 unit 60 MVA), GI Sukarame yang terdiri dari 2 unit (30 MVA dan 60 MVA), serta GI Sutami 60 MVA.

Berikut adalah gambar peta satelit sistem kelistrikan di ULP Way Halim yang terdiri dari 14 penyulang dan tiga GI. Data ini diperoleh dari pihak PLN UID Lampung secara langsung melalui akses resmi *web* AMADIS V1.0. [12] Dapat dilihat pula perbedaan warna pada gambar tersebut menunjukkan penyulang yang berbeda.



Gambar 3.3 Peta Kelistrikan ULP Way Halim
(*sumber* : *Database* AMADIS V1.0 milik PT. PLN UID Lampung)

Di bawah ini adalah tabel keterangan terkait warna penyulang.

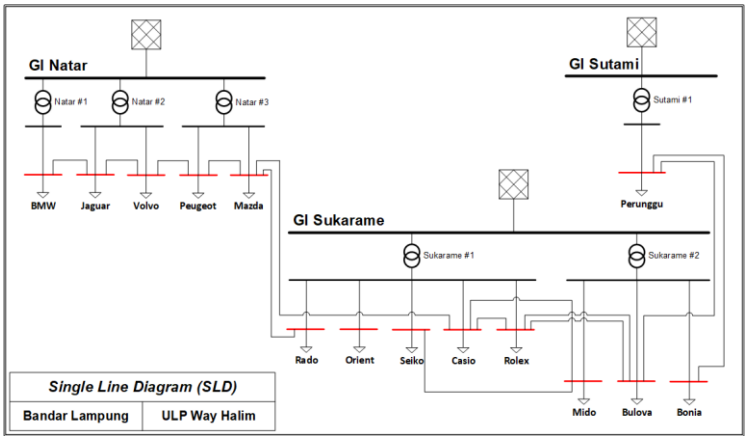
Tabel 3.1 Keterangan Warna Penyulang ULP Way Halim

No.	Warna	Gardu Induk	Penyulang
1		Sukarame	Casio
2		Sukarame	Bulova
3		Natar	Mazda
4		Sukarame	Bonia
5		Sukarame	Mido
6		Sukarame	Orient
7		Natar	Volvo
8		Sukarame	Rolex
9		Sukarame	Rado
10		Natar	Jaguar
11		Sutami	Perunggu
12		Natar	Peugeot
13		Natar	BMW
14		Sukarame	Seiko

(*sumber* : *Database* AMADIS V1.0 milik PT. PLN UID Lampung)

3.2.2 *Single Line Diagram* (SLD) ULP Way Halim

Berikut adalah *Single Line Diagram* (SLD) dari ULP Way Halim yang terdiri dari tiga GI dan 14 penyulang dengan konfigurasi radial.



Gambar 3.4 Single Line Diagram (SLD) ULP Way Halim

Selain SLD ULP Way Halim secara keseluruhan, terdapat pula SLD dari tiap penyulang / *feeder* yang diperoleh secara langsung dari PLN UID Lampung. Data SLD ini dilengkapi pula akses ke *web* resmi milik PLN UID Lampung yakni AMADIS V1.0. Selengkapnya ada pada **Lampiran**.

3.2.3 Data Trafo Gardu Induk (GI)

Berikut adalah data terkait trafo GI yang ada pada ULP Way Halim beserta kapasitas trafo, MVAsc, dan daftar penyulang yang terhubung.

Tabel 3.2 Data Gardu Induk

No.	Penyulang	GI	MVAsc	Kapasitas Trafo (MVA)	Tegangan (kV)
1	BMW	Natar #1	2572.02	60	150/20
2	JAGUAR	Natar #2	1558.8	30	150/20
3	VOLVO	Natar #2	1558.8	30	150/20
4	PEUGEOT	Natar #3	2857.8	60	150/20
5	MAZDA	Natar #3	2857.8	60	150/20
6	ROLEX	Sukarame #1	1428.9	30	150/20
7	CASIO	Sukarame #1	1428.9	30	150/20
8	ORIENT	Sukarame #1	1428.9	30	150/20
9	MIDO	Sukarame #2	2935.74	60	150/20
10	BULOVA	Sukarame #2	2935.74	60	150/20
11	BONIA	Sukarame #2	2935.74	60	150/20
12	RADO	Sukarame #1	1428.9	30	150/20
13	SEIKO	Sukarame #1	1428.9	30	150/20
14	PERUNGGU	Sutami #1	1428.9	30	150/20

(*sumber* : Data GI - PT. PLN UID Lampung)

3.2.4 Data Panjang Penyulang / *Feeder*

Berikut adalah data penyulang yang ada pada ULP Way Halim dilengkapi dengan panjang tiap saluran dan keterangan terkait impedansi R dan X-nya.

Tabel 3.3 Data Panjang Penyulang / *Feeder*

No.	Penyulang	Panjang (kms)	R (ohm)	X (ohm)
GI Natar		**93.88 kms**		
1	BMW	24.62	0.2516	0.373568
2	JAGUAR	11.62	0.2516	0.373568
3	VOLVO	21.22	0.2516	0.373568
4	PEUGEOT	21.84	0.2516	0.373568
5	MAZDA	14.56	0.2516	0.373568
GI Sukarame		**157.04 kms**		
6	ROLEX	14.21	0.2516	0.373568
7	CASIO	23.89	0.2516	0.373568
8	ORIENT	25.65	0.2516	0.373568
9	MIDO	17.21	0.2516	0.373568
10	BULOVA	21.33	0.2516	0.373568
11	BONIA	28.34	0.2516	0.373568
12	RADO	15.17	0.2516	0.373568
13	SEIKO	11.19	0.2516	0.373568
GI Sutami		**19.60 kms**		
14	PERUNGGU	19.60	0.231	0.334343
Total		**270.53**		

(*sumber* : PT. PLN UID Lampung - ULP Way Halim)

3.2.5 Data Pembebanan Trafo Distribusi tiap Penyulang

Berikut adalah rekapitulasi data pembebanan trafo distribusi tiap penyulang pada masing-masing Gardu Induk ULP Way Halim.

Tabel 3.4 Data Pembebanan Trafo Distribusi tiap Penyulang

Gardu Induk	Penyulang	Trafo Distribusi		
		Jumlah (Unit)	Kapasitas (kVA)	Beban (kW)
Natar				
	BMW	46	10,820	5,717
	JAGUAR	95	9,450	3,960
	VOLVO	45	11,740	5,645
	PEUGEOT	85	14,440	5,266
	MAZDA	75	7,460	2,506
Sukarame				
	ROLEX	56	5,740	3,291
	CASIO	40	8,600	4,053
	ORIENT	72	11,855	5,514
	MIDO	63	5,860	3,218
	BULOVA	28	9,710	4,864

Tabel 3.4 Data Pembebanan Trafo Distribusi tiap Penyulang *(Lanjutan)*

	BONIA	46	13,685	5,942
	RADO	46	4,810	3,308
	SEIKO	85	5,220	2,275
Sutami				
	PERUNGGU	72	6,020	2,847
Total		**854**	**125,410**	**58,404**

(*sumber* : PT. PLN UID Lampung - ULP Way Halim)

Di bawah ini (**Tabel 3.5**) dilengkapi data terkait pembeban tiap penyulang (kW) dan persentase pembebanan antar penyulang / *feeder* yang ada pada ULP Way Halim.

Tabel 3.5 Data Pembebanan tiap Penyulang ULP Way Halim

No.	Penyulang	Pembebanan tiap Penyulang (kW)	Persentase Pembebanan Antar Penyulang
1	Perunggu	2,846.65	5.90%
2	BMW	5,717.10	10.00%
3	Jaguar	3,960.15	6.91%
4	Volvo	5,644.58	6.18%
5	Peugeot	5,265.75	12.34%
6	Mazda	2,505.80	6.27%
7	Rolex	3,291.20	5.36%
8	Casio	4,052.80	6.34%
9	Orient	5,513.95	9.14%
10	Seiko	2,274.60	4.16%
11	Rado	3,308.20	5.55%
12	Mido	3,218.10	5.96%
13	Bulova	4,863.70	7.77%
14	Bonia	5,941.50	8.11%
		58,404.35	**100.00%**

(*sumber* : Rekap Data *Feeder* - PT. PLN UID Lampung)

3.2.6 Data Keandalan Peralatan

Dalam proses simulasi dan analisis keandalan pada *software* ETAP, diperlukan beberapa data pendukung terkait keandalan saluran dan peralatan. Referensi dari data-data tersebut mengacu pada data SPLN 59: 1985 [13] serta data *default* dari *software* ETAP 16.0.0.

Adapun data-data terkait keandalan peralatan yang digunakan dalam pengerjaan pemodelan dan simulasi sistem ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3.6 Data Indeks Kegagalan Saluran Udara dan Kabel

Data indeks kegagalan saluran	
Saluran Udara dan Kabel	
λ (failure rate)	0.2
r (repair time)	10
rP (Replacement Time)	10
Switching Time	0.15

(*sumber* : SPLN 59 : 1985)

Tabel 3.7 Data Indeks Kegagalan Peralatan

Data indeks kegagalan peralatan			
Komponen	**λ (failure rate)**	**r (repair time) (jam)**	**rs (switching time) (jam)**
Trafo Distribusi	0.005	10	0.15
Circuit Breaker	0.004	10	0.15
Disconnecting Switch	0.003	10	0.15
Recloser	0.005	10	0.15

(*sumber* : SPLN 59 : 1985)

3.2.7 *Keypoint* ULP Way Halim

Keypoint merupakan letak lokasi dari peralatan pemutus-hubung saluran kelistrikan pada penyulang distribusi, seperti LBSM, Recloser, dan PMCB. Berikut adalah daftar *keypoint* pada ULP Way Halim.

Tabel 3.8 *Keypoint* ULP Way Halim

No.	GI	Penyulang	Nama Keypoint	Asset
1	Natar	BMW	Kepayang	LBSM
2	Natar	BMW	Ragom	LBSM
3	Natar	BMW - JAGUAR	Nunyai	LBSM
4	Natar	BMW - SUZUKI	Polsek Kurungan	LBSM
5	Sukarame	BONIA	K87C	LBSM
6	Sukarame	BONIA	Tembesu	LBSM
7	Sukarame	BONIA	K161	LBSM
8	Sukarame	BONIA - BULOVA	Karimun Jawa	LBSM
9	Sukarame	BONIA - PERUNGGU	WH944	LBSM
10	Sukarame	BONIA - ROLEX	K87B	LBSM
11	Sukarame	BULOVA	K275	LBSM
12	Sukarame	BULOVA - PERUNGGU	K560	LBSM
13	Sukarame	BULOVA - ROLEX	WH885	LBSM
14	Sukarame	BULOVA - ROLEX	IAIN	LBSM
15	Sukarame	CASIO	K263	*Recloser*
16	Sukarame	CASIO	K348	LBSM

Tabel 3.8 *Keypoint* ULP Way Halim *(Lanjutan)*

17	Sukarame	CASIO - MAZDA	Ra Basyid	LBSM
18	Sukarame	CASIO - MIDO	WH720	LBSM
19	Sukarame	CASIO - ROLEX	ITERA	LBSM
20	Sukarame	CITIZEN - PEUGEOT	K168	LBSM
21	Natar	JAGUAR	K38	*Recloser*
22	Natar	JAGUAR	K123	LBSM
23	Natar	JAGUAR	Wisma Lampung	LBSM
24	Natar	JAGUAR - PEUGEOT	Underpass	LBSM
25	Natar	JAGUAR - VOLVO	Unila	LBSM
26	Natar	MAZDA - RADO	PDIP	LBSM
27	Natar	MAZDA - VOLVO	K181 Perum Polri	LBSM
28	Sukarame	MIDO	Jatimulyo	*Recloser*
29	Sukarame	MIDO	K237	LBSM
30	Sukarame	MIDO - RADO	K176	LBSM
31	Sukarame	MIDO - SEIKO	Bougenville	LBSM
32	Sukarame	ORIENT	K150	*Recloser*
33	Sukarame	ORIENT	Cucian Andre	LBSM
34	Sukarame	ORIENT	K80	LBSM
35	Sukarame	ORIENT	K468	LBSM
36	Natar	PEUGEOT	K48	LBSM
37	Natar	PEUGEOT	Radar Lampung	LBSM
38	Natar	PEUGEOT - JAGUAR	MBK	LBSM
39	Natar	PEUGEOT - VOLVO	K189	LBSM
40	Natar	RADO	WH936	*Recloser*
41	Natar	RADO	Cendana	LBSM
42	Sukarame	ROLEX	IAIN	*Recloser*
43	Sukarame	SEIKO	K178	*Recloser*
44	Natar	VOLVO	Tabek	*Recloser*

(*sumber* : Data *Keypoint* Kota Lampung - PT. PLN UID Lampung)

3.2.8 Rekap Data Historis SAIDI / SAIFI

Di bawah ini merupakan rekap data historis terkait SAIDI dan SAIFI untuk rayon ULP Way Halim mulai tahun 2017 hingga Januari 2020.

Tabel 3.9 Rekap Data SAIDI SAIFI ULP Way Halim

SAIDI / SAIFI	SATUAN	AKUM DES 17	AKUM DES 18	AKUM DES 19	AKUM JAN 20
SAIDI	menit/plg	**33.42**	**28.13**	**13.86**	**13.95**
- Σ Lama Pelanggan Padam	menit	-	224,711,044	119,289,033	120,051,168
- Jumlah Pelanggan Periode Berjalan	plg	-	133,128	143,480	143,480
SAIFI	kali/plg	**22.33**	**13.71**	**10.48**	**10.61**
- Σ Kali Pelanggan Padam	kali	-	1,825,628	1,503,227	1,522,611
- Jumlah Pelanggan Periode Berjalan	plg	-	133,128	143,480	143,480

(*sumber* : Data SAIDI SAIFI ULP Way Halim tahun 2017-2020)

3.3 Data Pengembangan Sistem

Dalam pengembangan sistem kelistrikan ULP Way Halim untuk beberapa tahun mendatang, diperlukan data-data tentang proyeksi pertumbuhan beban agar dapat dibandingkan kondisi sistem eksisting dengan sistem hasil pengembangan. Adapun data-data yang dibutuhkan terkait pengembangan sistem adalah sebagai berikut.

3.3.1 Proyeksi Pertumbuhan Beban

Pengembangan suatu sistem kelistrikan tidak luput dari adanya kenaikan pertumbuhan beban listrik tiap tahunnya. Maka dari itu, diperlukan data terkait proyeksi pertumbuhan beban yang dapat dijadikan acuan dalam pemodelan sistem kelistrikan untuk tahun-tahun mendatang. Berikut adalah data proyeksi pertumbuhan beban dari tahun 2020 hingga 2030 untuk ULP Way Halim.

Tabel 3.10 Proyeksi Pertumbuhan Beban ULP Way Halim

Tahun	Jumlah Hari	Energi Terjual (10^6 kWH)	Beban (kW)
2020	366	404.8342	46087.6793
2021	365	426.5183	48689.3047
2022	365	447.9297	51133.531
2023	365	468.8664	53523.5636
2024	366	489.0877	55679.3807
2025	365	508.3083	58026.0646
2026	365	526.1919	60067.5735
2027	365	542.3432	61911.328
2028	366	556.2992	63330.9663
2029	365	567.5191	64785.2893
2030	365	575.373	65681.8523

(*sumber* : Data *forecast* pertumbuhan beban PT. PLN UID Lampung)

Selain data proyeksi pertumbuhan beban tiap tahun, diperlukan pula data yang lebih spesifik lagi terkait kenaikan beban tiap penyulang hingga tahun 2030. Berikut adalah hasil proyeksi kenaikan beban (kW) per penyulang pada tahun 2023, 2025, dan 2030.

Tabel 3.11 Data Kenaikan Beban tiap Penyulang / *Feeder*

Penyulang	2023 (kW)	2025 (kW)	2030 (kW)
Perunggu	438.3995	703.8547	1155.2191
BMW	743.4528	1193.6208	1959.0600
Jaguar	514.1132	825.4138	1354.7309
Volvo	459.8676	738.3220	1211.7893
Peugeot	917.7492	1473.4553	2418.3453
Mazda	466.5972	749.1264	1229.5224

Tabel 3.11 Data Kenaikan Beban tiap Penyulang / *Feeder (Lanjutan)*

Rolex	398.8520	640.3609	1051.0083
Casio	471.4204	756.8700	1242.2319
Orient	679.9177	1091.6146	1791.6398
Seiko	309.2582	496.5171	814.9211
Rado	412.3236	661.9895	1086.5068
Mido	443.0871	711.3807	1167.5713
Bulova	577.6245	927.3818	1522.0885
Bonia	603.2214	968.4778	1589.5384

(*sumber* : Data *forecast* pertumbuhan beban - PT. PLN UID Lampung)

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, data-data terkait pertumbuhan beban tiap tahun dan kenaikan beban per penyulang tersebut akan dijadikan acuan untuk pemodelan pengembangan sistem kelistrikan ULP Way Halim pada tahun 2030.

3.3.2 Proyeksi Kepadatan Beban tiap Kelurahan

Agar dapat memodelkan proyeksi pertumbuhan beban ke dalam simulasi sistem eksisting, diperlukan data yang lebih spesifik untuk mengetahui persebaran beban pada tiap penyulang / *feeder*. Maka, diperlukan data terkait kepadatan beban pada tiap kelurahan yang dilewati oleh tiap penyulang di ULP Way Halim.

Dengan adanya data kepadatan beban tiap kelurahan ini, akan dapat dimodelkan persebaran kepadatan beban untuk tiap penyulang pada suatu wilayah tertentu. Hal ini akan meningkatkan keakuratan dalam proyeksi pertumbuhan beban di tiap penyulangnya yang akan terbagi dalam beberapa kelurahan.

Setelah didapat data kepadatan beban tiap kelurahan, dapat dicari rasio kenaikan setiap gardu distribusinya dan akan dikalikan dengan nilai penambahan beban listrik pada kurun waktu tertentu. Hasil perhitungan tersebut merupakan nilai dari jumlah kenaikan beban setiap gardu distribusi di kelurahan tersebut.

Berikut adalah tabel kepadatan beban tiap kelurahan (kW/m^2) untuk tahun 2020 serta proyeksinya untuk tahun 2023, 2025, dan 2030.

Tabel 3.12 Data Kepadatan Beban (kW/m^2) tiap Kelurahan

No.	Kelurahan	2020	2023	2025	2030
1	Bumi Kedamaian	27.91	27.91	28.37	30.44
2	Campang Raya	39.85	39.90	40.05	40.75
3	Gedong Meneng	25.19	25.19	25.19	25.20
4	Gedong Meneng Baru	27.22	27.08	26.89	26.93
5	Gunung Sulah	16.56	16.66	17.13	17.19

Tabel 3.12 Data Kepadatan Beban (kW/m^2) tiap Kelurahan *(Lanjutan)*

6	Jagabaya III	17.01	17.13	17.13	17.32
7	Kampung Baru	17.78	17.78	17.78	17.78
8	Kampung Baru Raya	18.97	18.97	18.97	20.29
9	Kedaton	21.19	21.53	21.53	22.28
10	Kemiling Permai	17.88	17.84	17.84	17.59
11	Kemiling Raya	14.12	15.59	15.93	16.69
12	Kopri Jaya	21.48	21.39	21.23	20.76
13	Kopri Raya	20.58	20.82	20.80	20.77
14	Kota Sepang	18.05	18.83	19.03	19.48
15	Labuhan Dalam	18.94	18.94	19.04	19.34
16	Labuhan Ratu	22.55	22.55	22.55	23.22
17	Labuhan Ratu Raya	16.61	17.38	18.27	19.03
18	Langkapura	16.31	16.52	16.85	17.62
19	Nusantara Permai	18.42	18.42	18.42	18.28
20	Pematang Wangi	18.87	18.96	18.96	18.96
21	Perumnas Way Kandis	23.33	23.33	23.38	23.83
22	Rajabasa	20.58	21.28	21.46	21.46
23	Rajabasa Jaya	22.96	22.96	22.97	23.05
24	Rajabasa Nunyai	17.15	17.15	17.15	17.88
25	Rajabasa Pramuka	17.96	18.52	18.56	18.61
26	Rajabasa Raya	16.83	17.09	17.09	17.12
27	Sepang Jaya	19.46	19.46	19.46	19.46
28	Sukabumi	18.04	18.19	18.28	18.02
29	Sukabumi Indah	25.44	27.69	31.45	40.21
30	Sukarame	21.63	21.29	21.02	21.38
31	Sukarame Baru	25.56	25.56	25.56	25.56
32	Surabaya	22.83	22.83	22.83	25.65
33	Tanjung Senang	20.39	20.37	20.07	19.77
34	Way Dadi	20.71	21.37	23.07	28.99
35	Way Dadi Baru	20.00	19.99	19.99	20.17
36	Way Halim Permai	20.78	21.42	22.89	31.54
37	Way Kandis	18.66	18.68	18.68	18.68

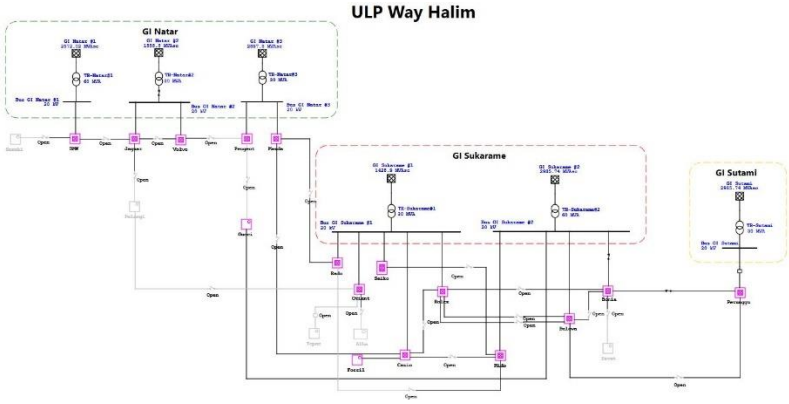
(*sumber* : Data *forecast* kepadatan beban (kW/m^2) PT. PLN UID Lampung)

3.4 Pemodelan Sistem pada *Software* ETAP 16.0.0

3.4.1 Sistem Kelistrikan ULP Way Halim

Pemodelan sistem eksisting dilakukan menggunakan *software* ETAP 16.0.0 dengan memodelkan keseluruhan sistem ULP Way Halim, diantaranya memodelkan tiga gardu induk, 14 penyulang serta pemodelan masing-masing beban pada tiap penyulang sesuai data dari PLN.

Berikut adalah hasil pemodelan sistem sistem kelistrikan ULP Way Halim Kota Bandar Lampung eksisting pada tahun 2020 menggunakan *software* ETAP 16.0.0. Gambar yang lebih lengkap dan jelas terlampir.



Gambar 3.5 Pemodelan Sistem pada ETAP 16.0.0

Untuk pemodelan pada *software* ETAP 16.0.0, GI dimodelkan dengan komponen Grid yang bermode operasi Swing serta dilengkapi trafo *step-down* 150kV/20kV pada masing-masing bus GI. Setiap penyulang dimodelkan dengan *composite network* dimana di masing-masing penyulang ini juga dimodelkan jaringan distribusi yang lengkap beserta peralatan lain seperti *disconnecting switch, fuse, recloser*, trafo gardu distribusi (20kV/0.4kV), dan juga *lumped load.*

Sistem kelistrikan ULP Way Halim sebagian besar menggunakan konduktor tipe AAAC maupun AAACS dengan ukuran yang bervariasi. Pemodelan konduktor ini menggunakan *file library* SPLN untuk *software* ETAP yang diperoleh langsung dari PLN UID Lampung.

Tabel 3.13 *File Library* SPLN untuk *Transmission Line*

Code	Size (mm^2)	Amp. (A)	Strands	R (Ohm)	X (Ohm)	Rdc (Ohm)
30	34.4	170	7	1.1477	0.0616	0.958
50	49.5	210	7	0.7967	0.0584	0.665
70	75.6	255	19	0.5247	0.0544	0.438
95	93.3	320	19	0.4253	0.0525	0.355
100	99.3	325	7	0.3977	0.0522	0.332
120	112.3	365	19	0.3510	0.0508	0.293
150	157.6	425	19	0.2516	0.0479	0.210
185	181.6	490	37	0.2192	0.0465	0.183
240	242.5	585	61	0.1665	0.0440	0.139

(*sumber* : Data *library* ETAP milik PT. PLN UID Lampung)

3.4.2 Pemodelan Penyulang / *Feeder*

Pemodelan penyulang atau *feeder* dalam pengerjaan tugas akhir ini mengacu pada *Single Line Diagram* (SLD) tiap penyulang milik PT. PLN UID Lampung. Dalam pemodelan pada *software* ETAP, SLD penyulang dimodelkan sesuai dengan kondisi di lapangan dengan dilengkapi panjang dan jenis saluran, kapasitas trafo distribusi / trafo tiang, kapasitas beban terpasang, serta konfigurasi jaringan yang mengikuti data dari PLN.

Selain itu, setiap trafo distribusi dan beban dari tiap penyulang yang ada juga telah dibagi berdasarkan batas administratif kelurahan. Hal ini untuk memudahkan dalam pengembangan sistem berkaitan dengan data kepadatan beban tiap kelurahan di atas. Berikut adalah data cakupan kelurahan tiap penyulang / *feeder* pada ULP Way Halim.

Data terkait cakupan kelurahan pada tiap penyulang berserta jumlah trafo dan pembebanan tiap kelurahan dapat dilihat di Lampiran.

3.5 Metode *Reliability Index Assessment (RIA)*

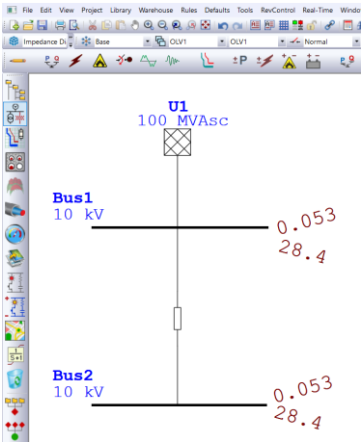
Penghitungan indeks keandalan dalam sistem tenaga dapat dilakukan dengan berbagai metode dan pendekatan. Dua pendekatan utama yaitu pendekatan analisis dan simulasi. Pendekatan analisis menggunakan pemodelan matematika dan mengevaluasi indeks keandalan dengan solusi numerik, dengan waktu penghitungan yang relative singkat. Namun teknik ini memerlukan beberapa asumsi untuk penyederhanaan dalam pemodelan sistem.

Pendekatan selanjutnya yaitu dengan simulasi, dimana proses penghitungan indeks keandalan dilakukan dengan memperhitungkan kondisi sebenarnya dan segala aspek yang berkaitan dengan perencaan, desain, dan pengoperasian sistem tenaga listrik.

3.5.1 Metode RIA menggunakan ETAP 16.0.0

Dalam penghitungan indeks keandalan sistem tenaga listrik, *software* ETAP 16.0.0 menggunakan pendekatan simulasi dengan metode *Reliability Index Assessment (RIA)* [14]. Hal ini dapat divalidasi dengan perhitungan indeks keandalan untuk jaringan sistem radial sederhana seperti di bawah ini.

Pada pemodelan ETAP, diasumsikan *failure rate* dari Grid serta bus adalah 0.001 dan untuk kabel adalah 0.05. Setelah disimulasikan, didapat nilai r *(Average Outage Duration)* sebesar 24.8 (hr/f) dan λ *(Average Failure Rate)* sebesar 0.053 (f/yr).



Gambar 3.6 Single Line Diagram untuk Pemodelan Metode RIA (*sumber* : Akhikpemelo, 2017)

Sebagai perbandingan, berikut adalah hasil perhitungan manual dengan metode RIA menggunakan komponen yang sesuai dengan pemodelan ETAP di atas.

λ = 3 (Bus1, Bus2, dan U1) x 0.001 (f/yr) + 1(cable1) x 0.05 (f/yr)
= 0.053 (failure/year)
U = 3 x 0.001 x 2 (hr) + 0.05 x 30 (hr)
= 1.506 (hours/year)
r = U / λ
= 1.506 / 0.053
= 28.4 (hours/Failure)

3.5.2 Perhitungan Indeks Keandalan ULP Way Halim

Pada sistem kelistrikan ULP Way Halim, perhitungan indeks keandalan menggunakan *software* ETAP 16.0.0 dengan metode RIA *(Reliability Index Assessment)*. Dalam perhitungan indeks keandalan yang terdiri dari SAIDI dan SAIFI ini, sistem diasumsikan berada pada kondisi *imperfect switching* dengan standar nilai keandalan tiap peralatan sesuai standar yang tertera pada **Tabel 3.6** dan **Tabel 3.7.**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV
SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab ini akan membahas terkait sistem kelistrikan eksisting ULP Way Halim, rencana pengembangan sistem, serta hasil simulasi dan analisis sistem pada tahun 2030 (rencana *masterplan* ULP Way Halim). Simulasi yang dilakukan menggunakan *software* ETAP 16.0.0 dengan modul *Load Flow Analysis* untuk simulasi aliran daya, baik itu sistem eksisting maupun setelah pengembangan, serta modul analisis keandalan sistem untuk mengetahui keandalan sistem dengan metode *Reliability Index Assessment.*

Dalam analisis aliran daya parameter yang dilihat adalah terkait *drop voltage*, arus, dan *losses* pada masing-masing penyulang serta pF, *loading* trafo GI, dan total beban / *load* keselurahan pada ULP Way Halim. Untuk analisis keandalan, parameter yang dilihat adalah hasil simulasi terkait nilai SAIDI dan SAIFI pada masing-masing penyulang.

4.1 Analisis Kondisi Eksisting

Setelah dilakukan pemodelan sistem secara keseluruhan, termasuk pengisian *rating* trafo dan beban terpasang, dilakukan simulasi dan analisis terkait kondisi eksisting kelistrikan ULP Way Halim. Hasil simulasi ini dapat dijadikan sebagai acuan kondisi sistem sebelum adanya pengembangan sistem. Analisis yang dilakukan adalah analisis *load flow* (aliran daya) serta *reliability assessment* (keandalan sistem).

4.1.1 Simulasi *Load Flow Analysis*

Simulasi aliran daya atau *Load Flow Analysis* dilakukan merujuk pada data beban puncak dari PT. PLN UID Lampung. Pada pemodelan awal, parameter-parameter seperti *loading* trafo, tegangan, *rating* pembebanan, dan kapasitas GI disesuaikan sedemikian rupa sehingga didapat nilai hasil simulasi berdasarkan data yang ada.

Data-data lain yang berkaitan dengan analisis aliran daya seperti impedansi trafo GI maupun trafo beban dan nilai *constant* kVA / *constant* Z pada beban menggunakan data *typical* pada *software* ETAP dengan beberapa penyesuain. Konfigurasi *Disconnecting Switch, Fuse*, dan *Recloser* menyesuaikan kondisi awal sistem PLN. Untuk *study case* dalam *Load Flow Analysis*, menggunakan metode *Adaptive Newton-Raphson* dengan Max. Iteration = 9999 dan Precision = 0.0001. Terkait

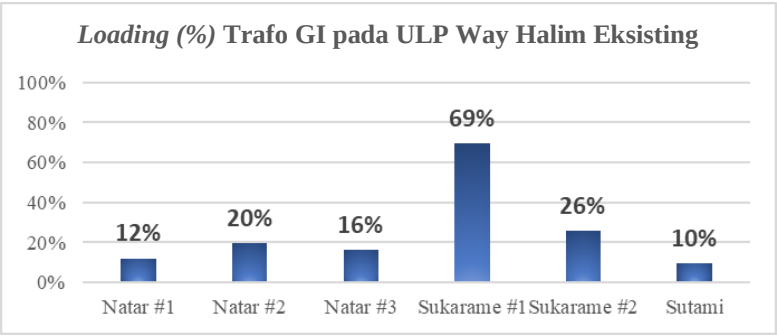
analisis kondisi eksisting, *Loading Category* yang digunakan adalah pembebanan pada tahun.

Dari hasil simulasi kondisi eksisting, didapatkan data-data seperti aliran daya pada penyulang (MVA, MW, dan Mvar), arus dan *losses* pada tiap penyulang, *loading* trafo GI dan trafo distribusi, serta *drop voltage* atau tegangan jatuh di ujung penyulang. Data tersebut akan menjadi referensi dalam pengembangan sistem kelistrikan kedepan, baik dari konfigurasi sistem maupun penambahan gardu induk dengan mempertimbangkan aspek pembebanan, *losses* teknis, dan tegangan jatuh di setiap penyulang.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi *Load Flow* ULP Way Halim eksisting

Data *Load Flow* ULP Way Halim	
Jumlah Penyulang / *Feeder*	14
Jumlah Beban Total	857
Load-MW	58,156
Load-Mvar	43,081
Generation-MW	58,156
Generation-Mvar	43,081
Loss-MW	2,381
Loss-Mvar	8,515

Pada **Gambar 4.1** ditunjukkan pembebanan atau *loading* dari tiap trafo GI yang ada pada ULP Way Halim. Didapatkan kesimpulan bahwa nilai pembeban tertinggi terdapat pada trafo GI Sukarame #1 sebesar 69%, dimana nilai ini belum melewati batas operasional yang ditentukan oleh PLN yakni sebesar 80% dari kapasitas trafo.



Gambar 4.1 *Loading (%)* Trafo GI Eksisting

Pada **Tabel 4.2** ditunjukkan hasil simulasi *Load Flow Analysis* untuk tiap penyulang / *feeder* pada *software* ETAP 16.0.0. Didapatkan data-data terkait aliran daya seperti MVA, MW, Mvar, pF (faktor daya), serta arus yang mengalir pada tiap penyulang. Untuk kondisi eksisting ini, arus terbesar terdapat pada penyulang BMW sebesar 208.8 Ampere.

Tabel 4.2 Hasil Simulasi *Load Flow* Penyulang Eksisting

No.	Penyulang	Hasil Simulasi *Load Flow Analysis*				
		MVA	**MW**	**Mvar**	**PF**	**Amp**
1	Perunggu	5.74	4.98	2.86	0.87	165.7
2	BMW	7.23	5.97	4.09	0.82	208.8
3	Jaguar	4.83	3.96	2.77	0.82	139.5
4	Volvo	7.06	5.79	4.04	0.82	203.8
5	Peugeot	6.67	5.42	3.89	0.81	192.5
6	Mazda	3.06	2.48	1.78	0.81	88.3
7	Rolex	4.06	3.29	2.38	0.81	117.2
8	Casio	5.00	4.05	2.93	0.81	144.4
9	Orient	5.99	4.85	3.51	0.81	173
10	Seiko	2.82	2.29	1.66	0.81	81.5
11	Rado	3.50	2.84	2.05	0.81	101.1
12	Mido	3.95	3.14	2.41	0.79	114.1
13	Bulova	6.50	5.15	3.96	0.79	187.5
14	Bonia	5.29	4.20	3.22	0.79	152.7

Selain data di atas, didapat pula data-data terkait *Voltage Drop (Vdrop)* atau tegangan jatuh dari tiap penyulang serta nilai *losses* teknis (*Loss-MW* dan *Loss-Mvar*) ada pada **Tabel 4.3** dan **Tabel 4.4.**

Tabel 4.3 Data Drop Tegangan Penyulang Eksisting

No.	Penyulang	*Load Point*	*Connected Bus*	*Voltage* (%)	V_{drop} (%)
1	Perunggu	K336	Per_BUS53	94.88	5.12
2	BMW	WH1132	BMW_Bus142	97.25	2.75
3	Jaguar	K66	JAGUAR_Bus26	97.93	2.07
4	Volvo	WH701	VOLVO_Bus118	94.54	5.46
5	Peugeot	WH682	Peug_Bus101	92.18	7.82
6	Mazda	WH925	MAZDA_Bus103	97.51	2.49
7	Rolex	WH696	ROLEX_Bus3	96.36	3.64
8	Casio	K650	CASIO_Bus123	94.88	5.12
9	Orient	K491	ORIENT_Bus75	96.51	3.49
10	Seiko	WH844	SEIKO_Bus45	96.14	3.86
11	Rado	WH1023	RADO_Bus61-1	94.09	5.91
12	Mido	K172	MIDO_Bus77	96.40	3.60
13	Bulova	WH1222	BULOVA_Bus77	96.80	3.21
14	Bonia	WH770	Bonia_Bus72	93.35	6.65

Tabel 4.4 Data *Losses* Penyulang Eksisting

No.	Penyulang	Loss-MW		Loss-Mvar	
1	Perunggu	0.117	2.35%	0.252	8.82%
2	BMW	0.178	2.98%	0.501	12.25%
3	Jaguar	0.094	2.37%	0.291	10.52%
4	Volvo	0.302	5.22%	0.575	14.22%
5	Peugeot	0.345	6.37%	0.755	19.41%
6	Mazda	0.082	3.30%	0.197	11.04%
7	Rolex	0.093	2.83%	0.267	11.21%
8	Casio	0.152	3.75%	0.332	11.32%
9	Orient	0.094	1.93%	0.315	8.96%
10	Seiko	0.068	2.96%	0.193	11.66%
11	Rado	0.136	4.79%	0.254	12.37%
12	Mido	0.093	2.95%	0.236	9.80%
13	Bulova	0.152	2.95%	0.463	11.71%
14	Bonia	0.338	8.06%	0.766	23.78%

4.1.2 Simulasi Keandalan dengan Metode RIA

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, proses simulasi dan analisis keandalan sistem dilakukan menggunakan bantuan *software* ETAP 16.0.0 dengan metode *Reliability Index Assessment* (RIA). Metode ini digunakan untuk memprediksi keandalan sistem kelistrikan menggunakan data keandalan setiap peralatan yang dibagi menjadi laju kegagalan dan waktu perbaikan.

Terdapat tiga parameter dasar yang dibutuhkan untuk analisis yaitu :
Average Failure Rate : λ *(failure/year)*
Average Annual Outage Time : U *(hr/year)*
Average Outage Time : r *(hr/failure)*

- λ : penjumlahan laju kegagalan dari setiap peralatan.
- U : penjumlahan (waktu perbaikan x laju kegagalan) setiap peralatan.
- r : U dibagi dengan **λ**.

Adapun data-data terkait parameter keandalan peralatan yang digunakan dalam simulasi ini sesuai yang tertera pada **Tabel 3.6** dan **Tabel 3.7**

Tabel 4.5 Hasil Simulasi Keandalan ULP Way Halim Eksisting

Data Hasil Simulasi ETAP 16.0.0		
SAIDI	44.0269	hr / cust.yr
SAIFI	12.7611	f / cust.yr
Data dari PLN*		
SAIDI	13.85	hr / cust.yr
SAIFI	10.48	f / cust.yr
**Data akumulasi per Desember 2019*		

Tabel 4.6 Hasil Simulasi Keandalan Penyulang Eksisting

No.	Penyulang	Gardu Induk	SAIDI	SAIFI
1	Perunggu	Sutami	25.9965	4.5667
2	BMW	Natar	18.9767	4.5709
3	Jaguar	Natar	11.9433	2.3856
4	Volvo	Natar	22.7092	5.8927
5	Peugeot	Natar	32.3388	6.4556
6	Mazda	Natar	25.9319	3.3924
7	Rolex	Sukarame	18.4614	3.7899
8	Casio	Sukarame	25.9769	5.6177
9	Orient	Sukarame	36.8276	5.8886
10	Seiko	Sukarame	19.0252	2.7706
11	Rado	Sukarame	23.9657	3.6799
12	Mido	Sukarame	23.8748	4.1274
13	Bulova	Sukarame	37.4447	6.3457
14	Bonia	Sukarame	39.1934	6.8041

4.1.3 Analisis Simulasi Kondisi Eksisting

Dari hasil simulasi aliran daya yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa untuk sistem eksisting terdapat *loading* sebesar 58 MW yang tersebar di seluruh ULP, dimana terdapat catatan pada tahun 2020, pembebanan trafo GI Sukarame #1 telah mencapai 69% (Batas operasional *loading* PLN antara 70%-80%). Selain itu, untuk hasil simulasi tiap penyulang, parameter tegangan, arus, dan *losses* masih sesuai standar yang ditetapkan PLN (SPLN 1 : 1995) [15].

Untuk hasil simulasi keandalan *(Reliability Assessment)*, didapatkan data SAIDI = 44.0269 dan SAIFI = 12.7611, dimana terdapat perbedaan hasil dengan pengukuran PLN yakni SAIDI = 13.85 dan SAIFI = 10.48 (Akumulasi data per Desember 2019). Perbedaan ini dapat terjadi karena pemodelan sistem, khususnya peralatan seperti trafo, *lumped load*, dan kabel menggunakan nilai parameter keandalan sesuai SPLN 59:1985.

4.2 Rencana *Masterplan* ULP Way Halim

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, pengembangan *masterplan* untuk sistem kelistrikan ULP Way Halim pada tahun 2030 menggunakan data *statistic forecast* pertumbuhan beban tiap penyulang serta data *forecast* kepadatan energi tiap kelurahan pada tiap penyulang di ULP Way Halim. Dua data hasil *forecast* ini akan dikombinasikan untuk didapatkan nilai pertumbuhan tiap beban pada trafo distribusi di tahun 2030 yang dibedakan berdasarkan penyulang dan letak administratif kelurahan [16].

4.2.1 Rasio Beban Trafo Distribusi tiap Kelurahan

Dalam pemetaan yang telah dilakukan pada tiap penyulang / *feeder*, didapatkan kesimpulan bahwa setiap penyulang pada ULP Way Halim melewati setidaknya 2 kelurahan yang berbeda. Dari data tersebut dapat dicari rasio atau perbandingan beban dari tiap penyulang menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\boldsymbol{RB} = \frac{Beban\ kelurahan\ pada\ tiap\ penyulang\ (kVA)}{Total\ beban\ pada\ penyulang\ tersebut\ (kVA)} \quad (4.1)$$

dimana :

RB = Rasio beban trafo gardu distribusi pada tiap kelurahan

Hasil perhitungan yang detail terkait rasio beban kelurahan tiap penyulang dapat dilihat pada Lampiran.

4.2.2 Rasio Kepadatan Beban Kelurahan

Setelah didapatkan nilai rasio beban tiap kelurahan, diperlukan perhitungan lagi untuk mendapatkan rasio kepadatan tiap kelurahan ULP Way Halim hasil *forecast* pada tahun 2030. Penghitungan ini dapat disimpulkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\boldsymbol{RK\ 2030} = RB * FK\ 2030 \quad (4.2)$$

dimana :

RK 2030 = Rasio kepadatan beban tiap kelurahan 2030
RB = Rasio beban trafo gardu distribusi tiap kelurahan
FK 2030 = Data hasil *forecast* kepadatan beban kelurahan tahun 2030

4.2.3 Penambahan Beban tiap Trafo Distribusi Tahun 2030

Tujuan akhir dari perhitungan *forecast* ini adalah untuk mendapatkan nilai pertambahan beban (kW) tiap trafo gardu distribusi yang ada pada tiap penyulang dengan memperhatikan sebaran kepadatan beban setiap kelurahan. Berikut adalah rumus untuk menghitung penambahan beban tiap trafo distribusi tahun 2030 :

$$\boldsymbol{PB\ 2030} = \frac{(\frac{RK\ 2030}{RT\ 2030} x\ FB\ 2030)}{JBP} \quad (4.3)$$

dimana :

PB 2030 = Penambahan beban tiap trafo distribusi (kW)
RK 2030 = Rasio kepadatan beban tiap kelurahan tahun 2030
RT 2030 = Rasio total kepadatan tiap penyulang tahun 2030
FB 2030 = *Forecast* pertumbuhan beban penyulang tahun 2030 *(kW)*
JBP = Jumlah beban tersambung pada penyulang tersebut *(unit)*

4.2.4 Rekap Data Hasil Pengembangan Sistem

Berikut adalah rekap data hasil pengembangan sistem berupa penambahan beban (kW) tiap trafo distribusi pada penyulang di ULP Halim untuk *masterplan* tahun 2030.

Tabel 4.7 Data Hasil Pengembangan Sistem Tahun 2030

No	Penyulang	Lingkup Kelurahan	Penambahan Beban tiap Trafo Distribusi (kW)
1	Perunggu	Campang Raya	27.03
		Sukabumi	25.42
		Nusantara Permai	7.90
2	BMW	Rajabasa Nunyai	17.01
		Kemiling Permai	30.05
		Kemiling Raya	21.74
		Langkapura	46.84
		Rajabasa Pramuka	14.33
3	Jaguar	Rajabasa Nunyai	13.57
		Gedong Meneng	42.06
		Gedong Meneng Baru	25.11
		Labuhan Ratu	34.58
4	Volvo	Rajabasa	21.22
		Rajabasa Raya	13.05
		Rajabasa Jaya	15.14
		Kampung Baru	11.51
		Labuhan Dalam	22.04
5	Peugeot	Rajabasa	27.95
		Gedong Meneng	42.51
		Gedong Meneng Baru	33.63
		Labuhan Ratu	27.24
		Labuhan Ratu Raya	31.83
		Kota Sepang	36.10
		Sepang Jaya	27.17
		Kedaton	38.74
6	Mazda	Rajabasa Raya	14.74
		Kampung Baru Raya	22.05
		Labuhan Dalam	32.62
		Labuhan Ratu Raya	29.38
		Tanjung Senang	8.49
7	Rolex	Kopri Raya	19.33
		Kopri Jaya	35.83
		Way Dadi	38.61
		Sukarame	25.60
8	Casio	Way Kandis	20.54
		Labuhan Dalam	14.05
		Rajabasa Jaya	16.04

Tabel 4.7 Data Hasil Pengembangan Sistem Tahun 2030 *(Lanjutan)*

No	Penyulang	Lingkup Kelurahan	Penambahan Beban 2030 (kW)
9	Orient	Way Halim Permai	25.49
		Jagabaya III	13.13
		Gunung Sulah	28.58
		Surabaya	31.39
		Bumi Kedamaian	64.19
10	Seiko	Way Dadi Baru	35.62
		Perumnas Way Kandis	26.02
11	Rado	Way Dadi Baru	16.82
		Tanjung Senang	30.60
		Pematang Wangi	20.03
		Way Kandis	16.74
12	Mido	Tanjung Senang	24.53
		Way Kandis	25.32
		Perumnas Way Kandis	23.29
		Way Dadi Baru	27.77
13	Bulova	Kopri Jaya	16.43
		Sukarame	17.11
		Sukarame Baru	18.81
14	Bonia	Sukarame	18.20
		Sukabumi Indah	23.82
		Campang Raya	21.91

4.3 Simulasi Sistem 2030 Sebelum Rekonfigurasi

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, simulasi pengembangan sistem tahun 2030 dilakukan menggunakan dua *study case* (studi kasus), dimana untuk studi kasus pertama pemodelan sebelum adanya rekonfigurasi jaringan dan studi kasus kedua setelah adanya rekonfigurasi jaringan untuk meningkatkan keandalan sistem. Pada sub-bab ini akan dibahas terkait pengembangan serta simulasi sistem pada tahun 2030 sebelum dilakukan rekonfigurasi jaringan.

4.3.1 *Input* Data Hasil Pengembangan

Dari hasil olahan data terkait pengembangan sistem, didapatkan data pertumbuhan beban pada tiap trafo gardu distribusi untuk tahun 2030 sesuai pada **Tabel 4.7**. Data pertumbuhan beban ini telah didiversifikasi berdasarkan letak beban pada tiap kelurahan yang ada pada tiap penyulang / *feeder* di ULP Way Halim.

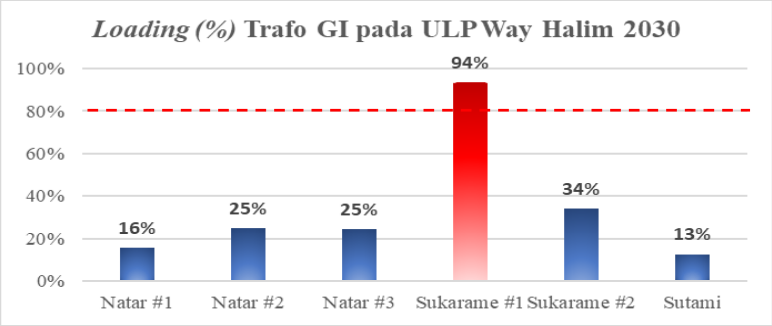
Simulasi yang dilakukan pada *software* ETAP 16.0.0 menggunakan *Loading Category* pada tahun 2030 dengan perubahan pada kapasitas beban di tiap trafo gardu distribusi. Batasan dari simulasi ini adalah kapasitas trafo yang sama dengan kondisi eksisting.

4.3.2 Simulasi Sebelum Rekonfigurasi

Berikut adalah data hasil simulasi *Load Flow Analysis* sistem kelistrikan ULP Way Halim tahun 2030 sebelum adanya rekonfigurasi serta *loading* trafo tiap GI yang ditunjukkan pada **Gambar 4.2.**

Tabel 4.8 Hasil Simulasi *Load Flow* Tahun 2030 Sebelum Rekonfigurasi

Data *Load Flow* ULP Way Halim	
Load-MW	78.079
Load-Mvar	58.51
Generation-MW	78.079
Generation-Mvar	58.51
Loss-MW	4.279
Loss-Mvar	12.755



Gambar 4.2 Loading (%) Trafo GI Tahun 2030 Sebelum Rekonfigurasi

Pada **Tabel 4.9** ditunjukkan hasil simulasi *Load Flow* yang berkaitan dengan parameter aliran daya (MVA, MW, Mvar, PF, dan Amp) pada masing-masing penyulang. Adapun hasil drop tegangan dan *losses* juga dapat dilihat pada **Tabel 4.1** berikut. Sebagai catatan, data drop tegangan ini diukur pada ujung saluran dari tiap penyulang / *feeder*.

Tabel 4.9 Hasil Simulasi *Load Flow* Penyulang 2030 Sebelum Rekonfigurasi

No	**Penyulang**	**Hasil Simulasi *Load Flow Analysis***				
		MVA	**MW**	**Mvar**	**PF**	**Amp**
1	Perunggu	7.67	6.57	3.96	0.86	221.4
2	BMW	9.64	7.87	5.57	0.82	278.3
3	Jaguar	6.57	5.33	3.85	0.81	189.8
4	Volvo	8.68	7.04	5.08	0.81	250.7
5	Peugeot	10.17	7.98	6.30	0.79	293.6
6	Mazda	4.87	3.83	3.02	0.79	140.7

Tabel 4.9 Hasil Simulasi *Load Flow* 2030 Sebelum Rekonfigurasi *(Lanjutan)*

7	Rolex	5.47	4.35	3.32	0.79	157.9
8	Casio	6.65	5.28	4.04	0.79	191.9
9	Orient	8.07	6.41	4.90	0.79	232.9
10	Seiko	3.92	3.12	2.38	0.79	113.2
11	Rado	5.00	3.97	3.04	0.79	144.4
12	Mido	5.49	4.29	3.43	0.78	158.4
13	Bulova	8.48	6.63	5.30	0.78	244.9
14	Bonia	6.97	5.44	4.35	0.78	201.2

Tabel 4.10 Data Drop Tegangan Penyulang 2030 Sebelum Rekonfigurasi

No.	Penyulang	*Voltage* (%)	*Vdrop* (%)	*Loss*-MW	*Loss*-Mvar
1	Perunggu	93.13	6.87	3.36%	12.38%
2	BMW	96.32	3.68	4.02%	16.04%
3	Jaguar	97.26	2.74	3.11%	13.83%
4	Volvo	93.15	6.85	6.42%	16.87%
5	Peugeot	87.91	12.09	9.78%	27.52%
6	Mazda	96.00	4.00	7.53%	25.53%
7	Rolex	94.94	5.06	3.66%	14.15%
8	Casio	93.01	7.00	4.71%	13.97%
9	Orient	95.14	4.86	2.76%	11.86%
10	Seiko	94.61	5.39	3.92%	15.12%
11	Rado	91.65	8.35	6.64%	16.49%
12	Mido	95.05	4.95	3.97%	13.05%
13	Bulova	95.69	4.31	3.56%	13.95%
14	Bonia	91.21	8.79	10.25%	28.96%

Untuk hasil simulasi terkait keandalan sistem, berikut adalah rekapan data keandalan dengan metode *Reliability Index Assessment* (RIA) menggunakan *software* ETAP 16.0.0 untuk tiap penyulang pada sistem kelistrikan ULP Way Halim sebelum rekonfigurasi.

Tabel 4.11 Data Keandalan Penyulang 2030 Sebelum Rekonfigurasi

No.	Penyulang	SAIDI	SAIFI
1	Perunggu	25.9965	4.5667
2	BMW	18.9767	4.5709
3	Jaguar	11.9433	2.3856
4	Volvo	22.7092	5.8927
5	Peugeot	32.3388	6.4556
6	Mazda	25.9319	3.3924
7	Rolex	18.4614	3.7899
8	Casio	25.9769	5.6177
9	Orient	36.8276	5.8886
10	Seiko	19.0252	2.7706
11	Rado	23.9657	3.6799

Tabel 4.11 Data Keandalan Penyulang 2030 Sebelum Rekonfigurasi *(Lanjutan)*

12	Mido	23.8748	4.1274
13	Bulova	37.4447	6.3457
14	Bonia	39.1934	6.8041
ULP Way Halim		**44.0269**	**12.7611**

4.3.3 Analisis Sistem Sebelum Rekonfigurasi

Dari data tersebut, didapatkan kesimpulan bahwa sistem kelistrikan ULP Way Halim dari tahun 2020 (sistem eksisting) hingga tahun 2030 terjadi pertumbuhan beban yang sangat massif, yakni mencapai 42,51% atau sekitar 19.594 kW. Hal ini menyebabkan trafo GI, khususnya trafo Sukarame #1 mengalami *overload* sebesar 94%. Sebagai catatan, kapasitas dari trafo ini masih sebesar 30 MVA (eksisting).

Data terkait drop tegangan ujung saluran tiap penyulang menjadi *highlight* pula dalam simulasi aliran daya ini, dimana pada Penyulang Peugeot terjadi drop tegangan sebesar 12.09 %. Adapun hasil simulasi terkait rugi aliran daya, penyulang ini juga mengalami *Loss*-MW sebesar 9.78 %, meski terdapat penyulang Bonia yang mengalami *losses* terbesar yakni 10.25 % dengan catatan batas drop tegangan ujung salurannya masih sesuai standar dari SPLN.

Nilai SAIDI dan SAIFI pada Penyulang Peugeot juga terbilang cukup besar dibanding penyulang lain, yakni 32.3388 untuk SAIDI dan 6.4556 untuk SAIFI penyulang. Untuk keandalan sistem ULP Way Halim sendiri, nilai SAIDI = 44.0269 dan SAIFI = 12.7611.

Dengan kondisi seperti ini, perlu dilakukan suatu skema rekonfigurasi jaringan untuk meningkatkan nilai keandalan sistem secara keseluruhan serta tegangan pada penyulang tersebut.

4.4 Simulasi Sistem 2030 Setelah Rekonfigurasi

Dengan kondisi sistem kelistrikan ULP Way Halim tahun 2030 sesuai hasil simulasi pada sub-bab sebelumnya, perlu dilakukan suatu skema rekonfigurasi jaringan untuk meningkan nilai keandalan serta tegangan pada sistem tersebut menggunakan metode *Reliability Index Assessment* (RIA) melalui mode simulasi *Reliability Assessment* pada *software* ETAP 16.0.0.

4.4.1 Skenario Rekonfigurasi

Sebelum melakukan skenario rekonfigurasi penyulang pada ULP Way Halim, Langkah awal yaitu melakukan *uprating* daya untuk trafo GI Sukarame #1 yang sudah *overload* untuk simulasi tahun 2030. Kapasitas

trafo di-*uprating* menjadi 60 MVA, dimana sebelumnya hanya 30 MVA (Mengikuti RUPTL 2019-2028 PLN UID Lampung) [16].

Selanjutnya adalah melakukan rekonfigurasi jaringan yang berfokus pada penyulang dengan drop tegangan lebih dari 10% [17], dalam *case* ini adalah Penyulang Peugeot. Sebagai catatan, Penyulang Peugeot ini merupakan penyulang yang terhubung pada trafo GI Natar #3 bersamaan dengan drop tegangan mencapai 12.09 % pada tahun 2030.

Untuk mengatasi drop tegangan sekaligus meningkatkan keandalan sistem, dilakukan rekonfigurasi jaringan dengan pemindahan beban antar penyulang menggunakan pengoperasian LBSM *Keypoint*. Keberadaan LBSM *Keypoint* ini amat krusial untuk mengatur pembebanan pada tiap penyulang sehingga didapatkan nilai tegangan sesuai standar dan nilai keandalan yang lebih baik.

Berikut adalah daftar konfigurasi *Keypoint* yang dioperasikan untuk meningkatkan keandalan ULP Way Halim pada tahun 2030.

Tabel 4.12 Skenario Rekonfigurasi Tahun 2030

Lokasi *Keypoint*	Nama Asset	Status Awal	Status Akhir
Volvo	LBSM / M Jl. Linsau	CLOSE	OPEN
Volvo - Jaguar	LBSM UNILA	OPEN	CLOSE
Peugeot - Volvo	LBSM K189	OPEN	CLOSE
Peugeot	LBS M/S Radar	CLOSE	OPEN

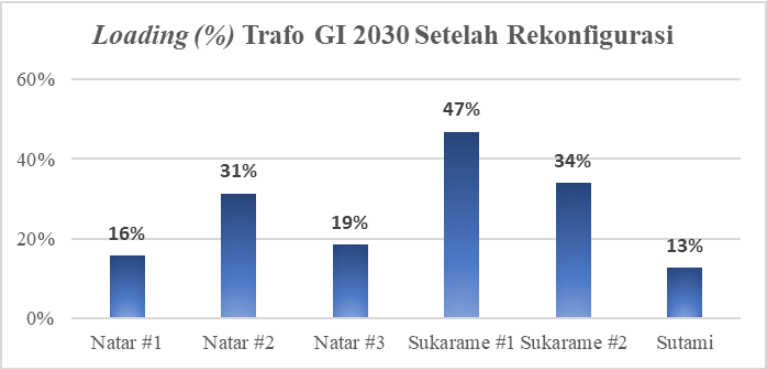
Rekonfigurasi jaringan ini hanya dilakukan pada penyulang yang terhubung pada GI Natar saja. Hal ini didasarkan pada hasil simulasi aliran daya dan keandalan sistem dimana penyulang dengan drop tegangan yang melewati batas SPLN hanya terdapat pada GI Natar (Penyulang Peugeot).

4.4.2 Simulasi Setelah Rekonfigurasi

Berikut adalah data hasil simulasi *Load Flow Analysis* (**Tabel 4.13**) serta data *loading* trafo tiap GI (**Gambar 4.3**) sistem kelistrikan ULP Way Halim pada tahun 2030 sesudah adanya rekonfigurasi jaringan dan *uprating* trafo GI Sukarame #1 menjadi 60 MVA.

Tabel 4.13 Hasil Simulasi Load Flow Tahun 2030 Setelah Rekonfigurasi

Data *Load Flow* ULP Way Halim	
Load-MW	78.061
Load-Mvar	58.501
Generation-MW	78.061
Generation-Mvar	58.061
Loss-MW	4.166
Loss-Mvar	12.589



Gambar 4.3 Loading (%) Trafo GI Tahun 2030 Setelah Rekonfigurasi

Pada **Tabel 4.14** ditunjukkan hasil simulasi *Load Flow* yang berkaitan dengan parameter aliran daya (MVA, MW, Mvar, PF, dan Amp) pada masing-masing penyulang. Adapun hasil drop tegangan dan *losses* juga dapat dilihat pada **Tabel 4.15** berikut.

Tabel 4.14 Hasil Simulasi Load Flow Penyulang 2030 Setelah Rekonfigurasi

No	Penyulang	Hasil Simulasi *Load Flow Analysis*				
		MVA	MW	Mvar	PF	Amp
1	Perunggu	7.67	6.57	3.96	0.86	221.4
2	BMW	9.64	7.87	5.57	0.82	278.3
3	Jaguar	8.14	6.56	4.83	0.81	235.2
4	Volvo	10.68	8.59	6.34	0.81	308.2
5	Peugeot	6.39	5.04	3.95	0.79	184.7
6	Mazda	4.87	3.83	3.02	0.79	140.7
7	Rolex	5.47	4.35	3.32	0.79	157.9
8	Casio	6.65	5.28	4.04	0.79	191.9
9	Orient	8.07	6.41	4.90	0.79	232.9
10	Seiko	3.92	3.12	2.38	0.79	113.2
11	Rado	5.00	3.97	3.04	0.79	144.4
12	Mido	5.49	4.29	3.43	0.78	158.4
13	Bulova	8.48	6.63	5.30	0.78	244.9
14	Bonia	6.97	5.44	4.35	0.78	201.2

Tabel 4.15 Data Drop Tegangan Tahun 2030 Setelah Rekonfigurasi

No.	Penyulang	*Voltage* (%)	*Vdrop* (%)	*Loss*-MW	*Loss*-Mvar
1	Perunggu	93.13	6.87	3.36%	12.38%
2	BMW	96.32	3.68	4.02%	16.04%
3	Jaguar	96.75	3.25	2.93%	13.13%
4	Volvo	91.25	8.75	8.15%	20.72%

Tabel 4.15 Data Drop Tegangan Tahun 2030 Setelah Rekonfigurasi *(Lanjutan)*

5	Peugeot	90.95	9.05	6.85%	20.81%
6	Mazda	96.00	4.00	7.53%	25.53%
7	Rolex	94.94	5.06	3.66%	14.15%
8	Casio	93.01	7.00	4.71%	13.97%
9	Orient	95.14	4.86	2.76%	11.86%
10	Seiko	94.61	5.39	3.92%	15.12%
11	Rado	91.65	8.35	6.64%	16.49%
12	Mido	95.05	4.95	3.97%	13.05%
13	Bulova	95.69	4.31	3.56%	13.95%
14	Bonia	91.21	8.79	10.25%	28.96%

Berikut adalah hasil simulasi dengan metode *Reliability Index Assessment* (RIA) terkait keandalan penyulang dan sistem menggunakan *software* ETAP 16.0.0 pada sistem kelistrikan ULP Way Halim setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan.

Tabel 4.16 Data Keandalan Penyulang 2030 Setelah Rekonfigurasi

No.	Penyulang	SAIDI	SAIFI
1	Perunggu	25.9965	4.5667
2	BMW	18.9767	4.5709
3	Jaguar	12.7827	4.2741
4	Volvo	24.8122	5.3292
5	Peugeot	27.2243	5.019
6	Mazda	25.9319	3.3924
7	Rolex	18.4614	3.7899
8	Casio	25.9769	5.6177
9	Orient	36.8276	5.8886
10	Seiko	19.0252	2.7706
11	Rado	23.9657	3.6799
12	Mido	23.8748	4.1274
13	Bulova	37.4447	6.3457
14	Bonia	39.1934	6.8041
ULP Way Halim		**42.8049**	**12.6339**

4.4.3 Analisis Sistem Setelah Rekonfigurasi

Setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan pada sistem kelistrikan ULP Way Halim, didapatkan perbedaan data hasil simulasi pada penyulang-penyulang yang terhubung langsung pada GI Natar. Dari data *loading* trafo GI, terjadi peningkatan sebesar 6% pada trafo GI Natar #2 dibanding sebelum dilakukan rekonfigurasi. Sebaliknya, terjadi penurunan *loading* sebesar 6% pada trafo GI Natar #3. Hal ini dikarenakan rekonfigurasi

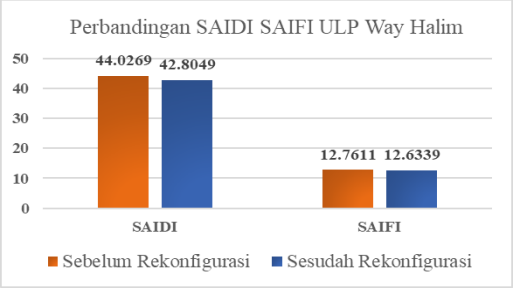
yang dilakukan adalah berupa pengalihan sebagian beban pada trafo GI Natar #3 ke trafo GI Natar #2.

Hasil simulasi *Load Flow* juga menunjukkan perbedaan signifikan, terutama pada penyulang rekonfigurasi. Untuk Penyulang Peugeot, drop tegangan pada ujung salurannya menurun hingga sekitar 9% dibanding sebelum rekonfigurasi yakni sebesar 12%. Dengan adanya pengalihan beban pula, penyulang yang paling terdampak ialah Penyulang Volvo, dimana arus yang mengalir pada *feeder* itu mencapai 308.2 A, namun tegangan ujung *feeder* ini masih dalam batas yang ditetapkan PLN.

Data terkait keandalan juga mengalami perubahan setelah dilakukan rekonfigurasi. Dengan adanya perubahan pembebanan dari tiap penyulang, dapat terlihat bahwa nilai SAIDI dan SAIFI Penyulang Jaguar, Volvo, dan Peugeot mengalami pemerataan. Hal ini dikarekanan beban yang awalnya terkonsentrasi pada Penyulang Peugeot dipindah ke penyulang lain dengan melakukan pengoperasian LBSM yang ada. Rekonfigurasi ini juga memberikan nilai keandalan seluruh sistem yang lebih baik, dimana SAIDI = 42.8049 dan SAIFI = 12.6339.

4.5 Perbandingan Hasil Simulasi Keandalan

Pada **Gambar 4.4** ditunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai SAIDI sebesar 1.222 dan SAIFI sebesar 0.1272 setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan. Dapat disimpulkan bahwa skenario rekonfigurasi jaringan yang telah dilakukan dapat meningkatkan nilai keandalan untuk sistem kelistrikan ULP Way Halim pada tahun 2030.



Gambar 4.4 Perbandingan SAIDI SAIFI ULP Way Halim pada tahun 2030

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V
PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Setelah dilakukan pemodelan dan simulasi *masterplan* sistem kelistrikan ULP Way Halim dengan memperhatikan *forecast* pertumbuhan beban padatahun 2030 sebelum rekonfigurasi, terjadi penurunan nilai tegangan pada seluruh penyulang dimana titik ukurnya terdapat pada ujung saluran tiap *feeder*. Drop tegangan *(Voltage Drop)* tertinggi pada ujung penyulang terjadi pada Penyulang Peugeot yakni sebesar 12.09 % dengan arus penyulang hingga 293.6 Ampere.
2. Metode *Reliability Index Assessment* (RIA) dapat dijadikan parameter untuk menentukan tingkat keandalan sistem kelistrikan yang kompleks dengan indeks keandalan seperti SAIDI dan SAIFI.
3. Melakukan skema rekonfigurasi penyulang dengan mempertimbangkan nilai dari drop tegangan, arus tiap penyulang, dan indeks keandalan penyulang dapat meningkatkan keandalan sistem secara menyeluruh.
4. Analisis sistem ULP Way Halim setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan menunjukkan penurunan nilai SAIDI sebesar 0.1444 dan SAIFI sebesar 0.1184 dari kondisi sebelum rekonfigurasi.

5.2. Saran

Adapun saran dari penulis untuk pengembangan penelitian ini kedepan antara lain :

1. Menggunakan batasan nilai keandalan peralatan yang sesuai dengan kondisi lapangan.
2. Perencanaan *masterplan* sistem dapat memperhatikan pengembangan saluran transmisi yang ada.
3. Analisis lebih lanjut terkait dampak rekonfigurasi jaringan terhadap sistem kedepannya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

[1] T. Gonen, Electric Power Distribution System Engineering, Sacramento: McGraw-Hill, Inc., 1986.

[2] W. H. Kersting, Distribution System Modeling and Analysis, New Mexico: CRC Press, 2001.

[3] A. Fatoni, "Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV di PT. PLN Rayon Lumajang dengan Metode FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)," *Jurusan Teknik Elektro ITS,* 2016.

[4] A. Tanjung, "Reconfiguration of Power Supply System Distribution 20 Kv: PT. PLN (Persero) Dumai Area Case," *ICon-ITSD,* vol. 178, 2018.

[5] H. Saadat, Power System Analysis, Boston: WCB/McGraw-Hill, 1999.

[6] A. T. Prabowo, B. Winardi and S. Handoko, "Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20kV Pada Penyulang Pekalongan 8 dan 11," *TRANSIENT,* vol. 2, no. 4, 2013.

[7] T. Sucita, Y. Mulyadi and C. Timotius, "Reliability Evaluation of Power Distribution System with Reliability Index Assessment (RIA)," *International Symposium on Material and Electrical Engineering (ISMEE) 2017,* 2018.

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

[9] F. A. Nugraha, "Studi Analisis Keandalan SIstem Distribusi PT. PLN (Persero) Surabaya Utara Menggunakan Metode RIA (Reliability Index Assessment)," *Jurusan Teknik Elektro ITS,* 2016.

[10] A. G. Patel and C. Patel, "Distribution Network Reconfiguration for Loss Reduction," *IEEE,* 2016.

[11] E. Ahmed, Abu-Elanien, S. M.M.A. and S. Khaled B., "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.

[12] PT.PLN, "AMADIS V1.0; Aplikasi Manajemen Aset Distribusi," PLN UID Lampung, 2020. [Online]. Available: http://27.50.27.157/amadis.

[13] PT.PLN, "SPLN 59 : 1985". Indonesia 1985.

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

[15] PT.PLN, "SPLN 1 ; 1995". Indonesia 1995.

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

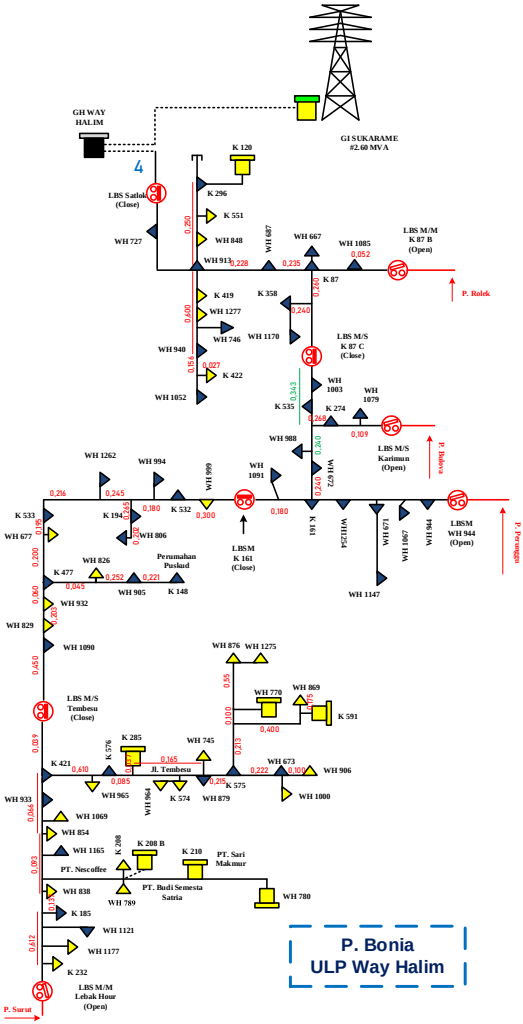
[17] I. Jonan, Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2019-2028, Jakarta: Kementerian ESDM Republik Indonesia, 2019.

[18] PT.PLN, "Data Niaga Sistem Kelistrikan Kota Bandar Lampung," PLN UID Lampung, Bandar Lampung, 2020.

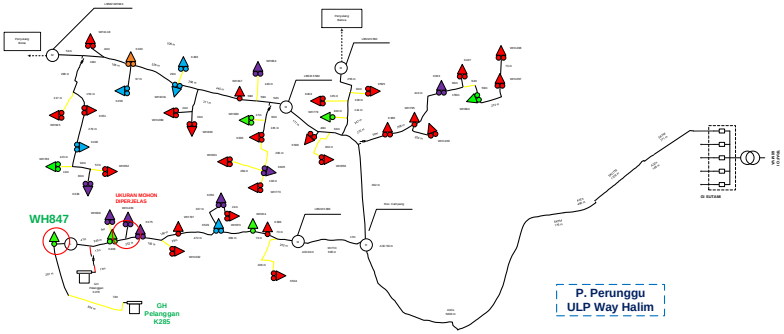
[19] PT.PLN, "Studi Masterplan Kelistrikan Kota Bandar Lampung," PLN UID Lampung, Bandar Lampung, 2020.

LAMPIRAN A

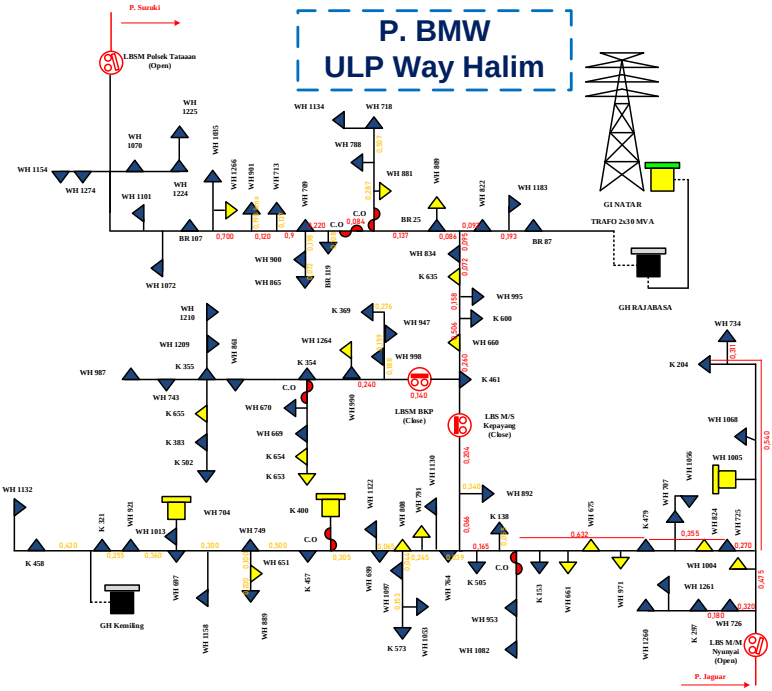
Gambar File Visio *Single Line Diagram (SLD)* tiap penyulang / *feeder* pada ULP Way Halim



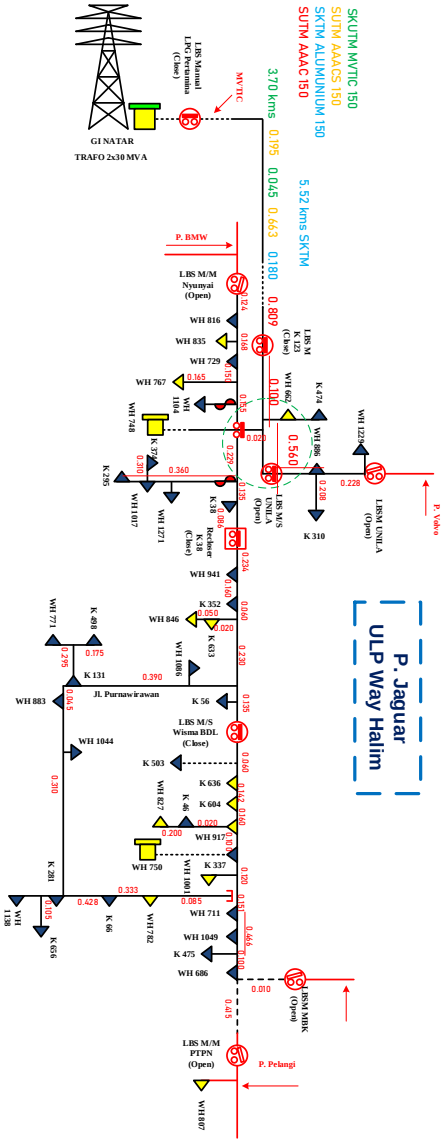
Penyulang Bonia ULP Way Halim



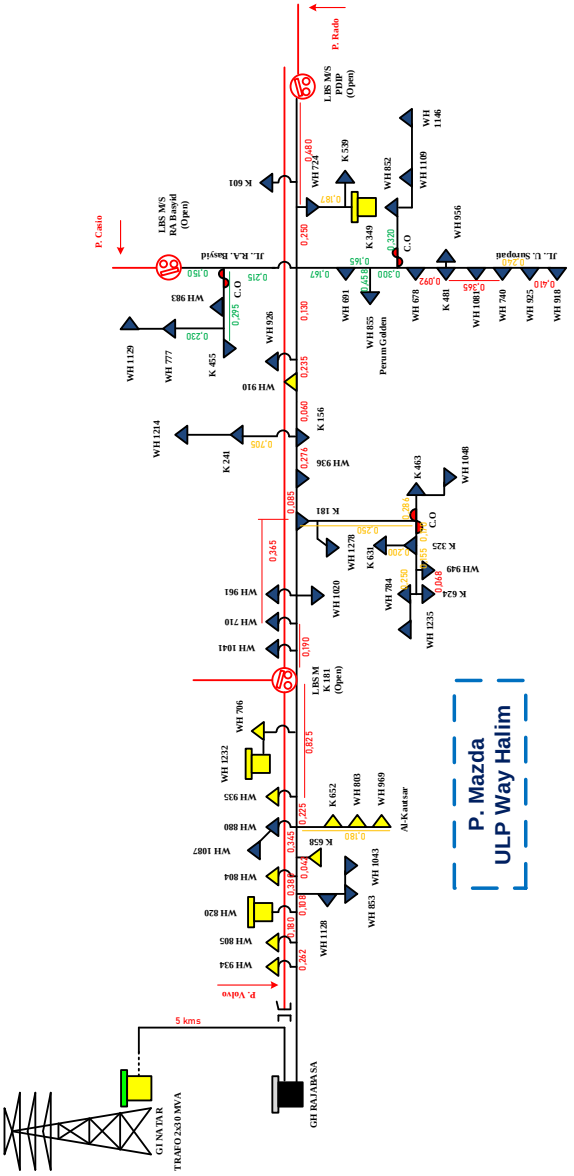
Penyulang Perunggu ULP Way Halim



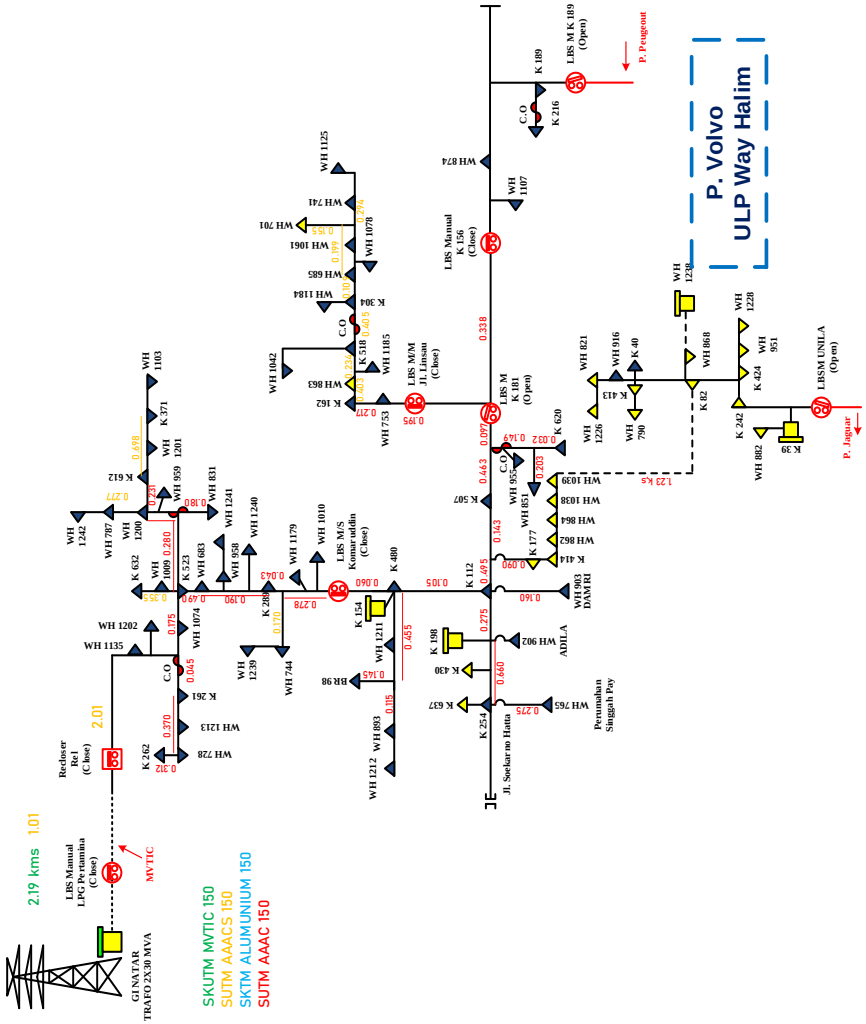
Penyulang BMW ULP Way Halim



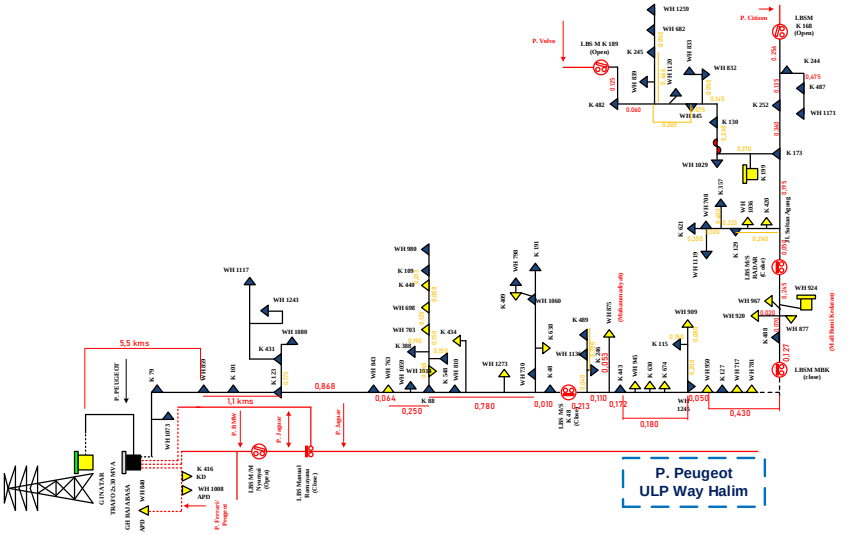
Penyulang Jaguar ULP Way Halim



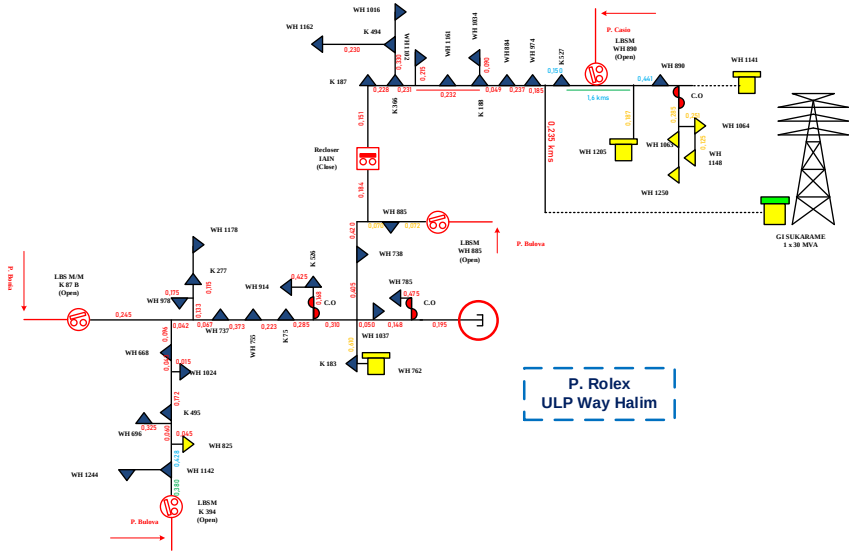
Penyulang Mazda ULP Way Halim



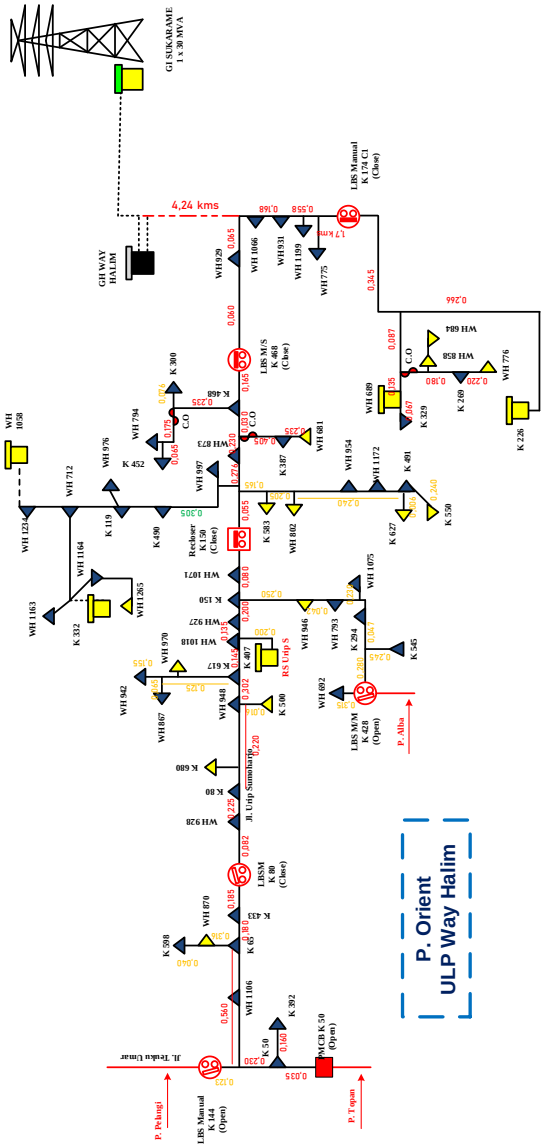
Penyulang Volvo ULP Way Halim



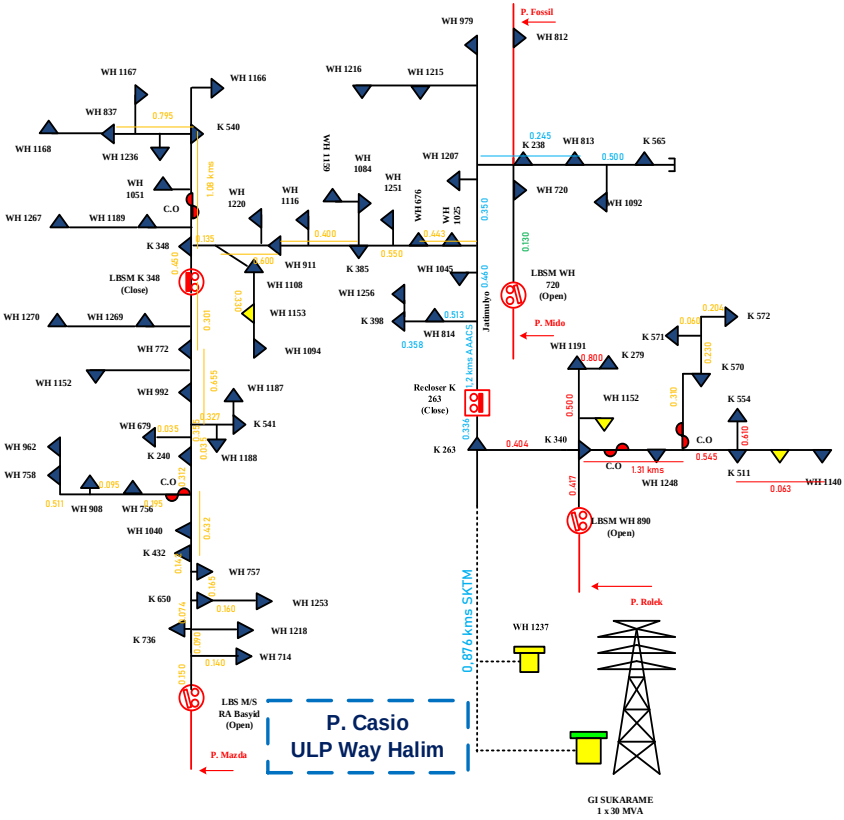
Penyulang Peugeot ULP Way Halim



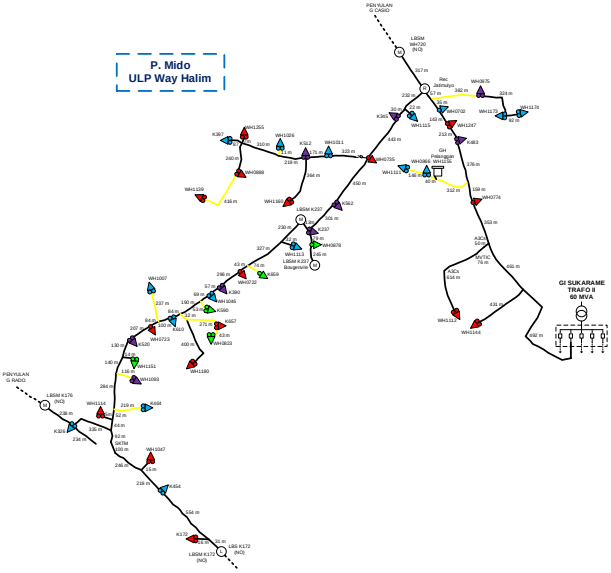
Penyulang Rolex ULP Way Halim



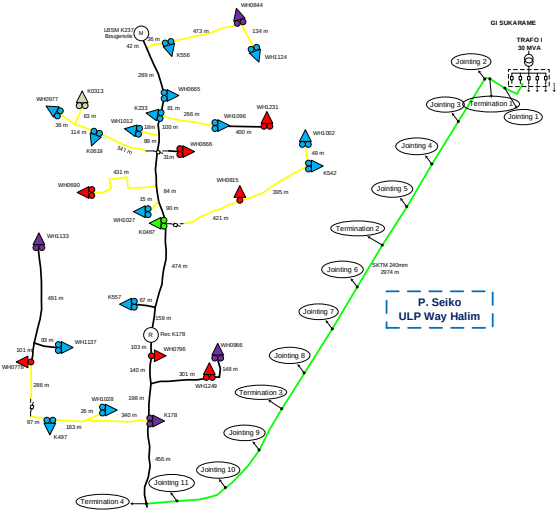
Penyulang Orient ULP Way Halim



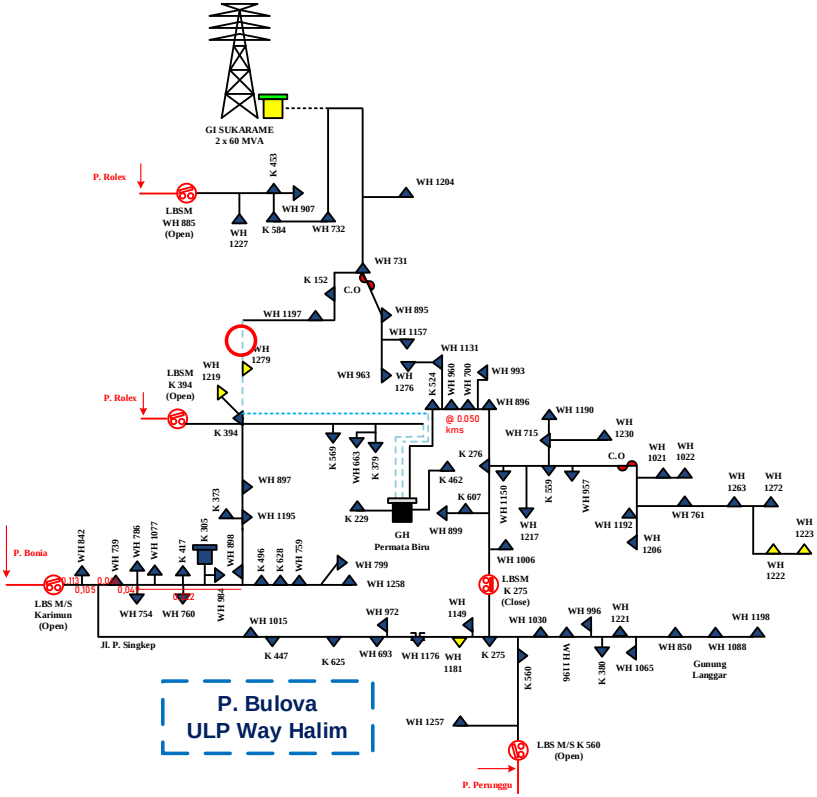
Penyulang Casio ULP Way Halim



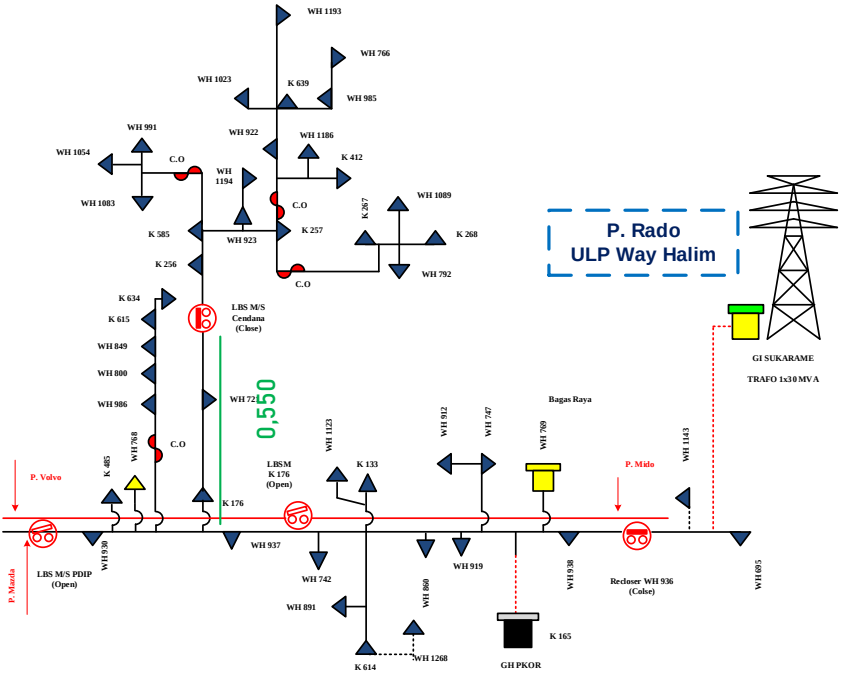
Penyulang Mido ULP Way Halim



Penyulang Seiko ULP Way Halim



Penyulang Bulova ULP Way Halim

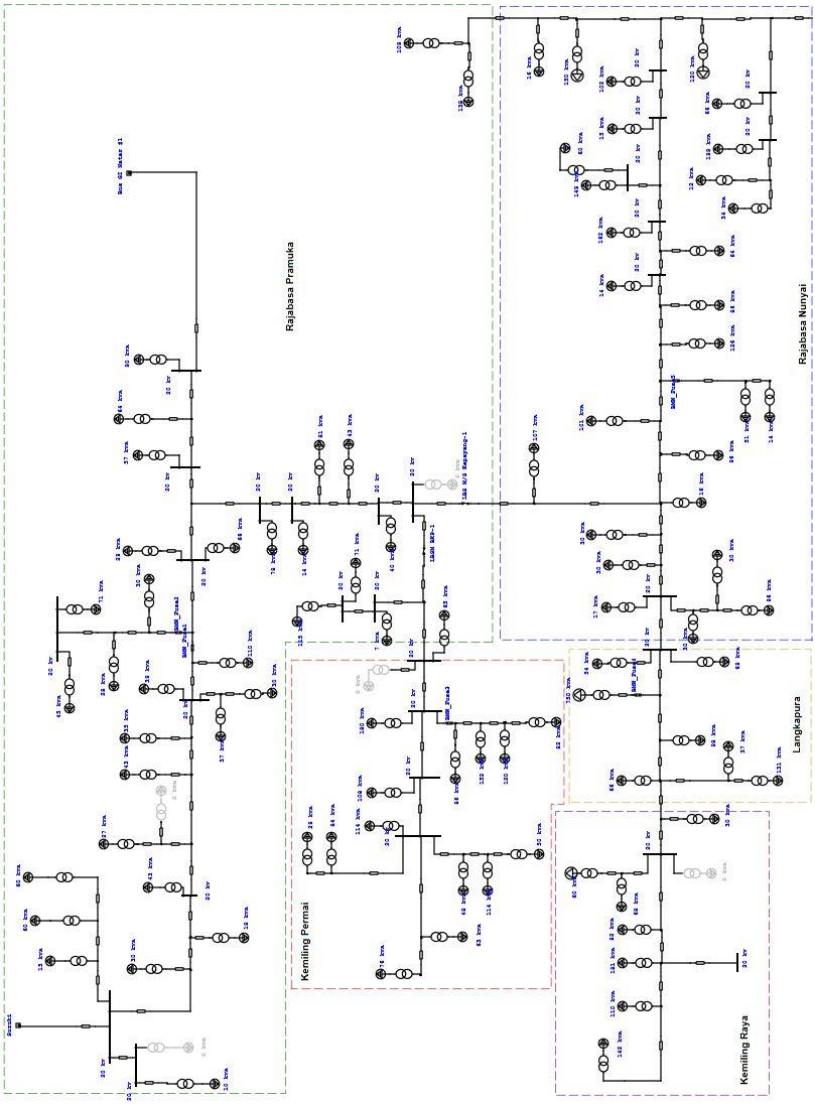


Penyulang Rado ULP Way Halim

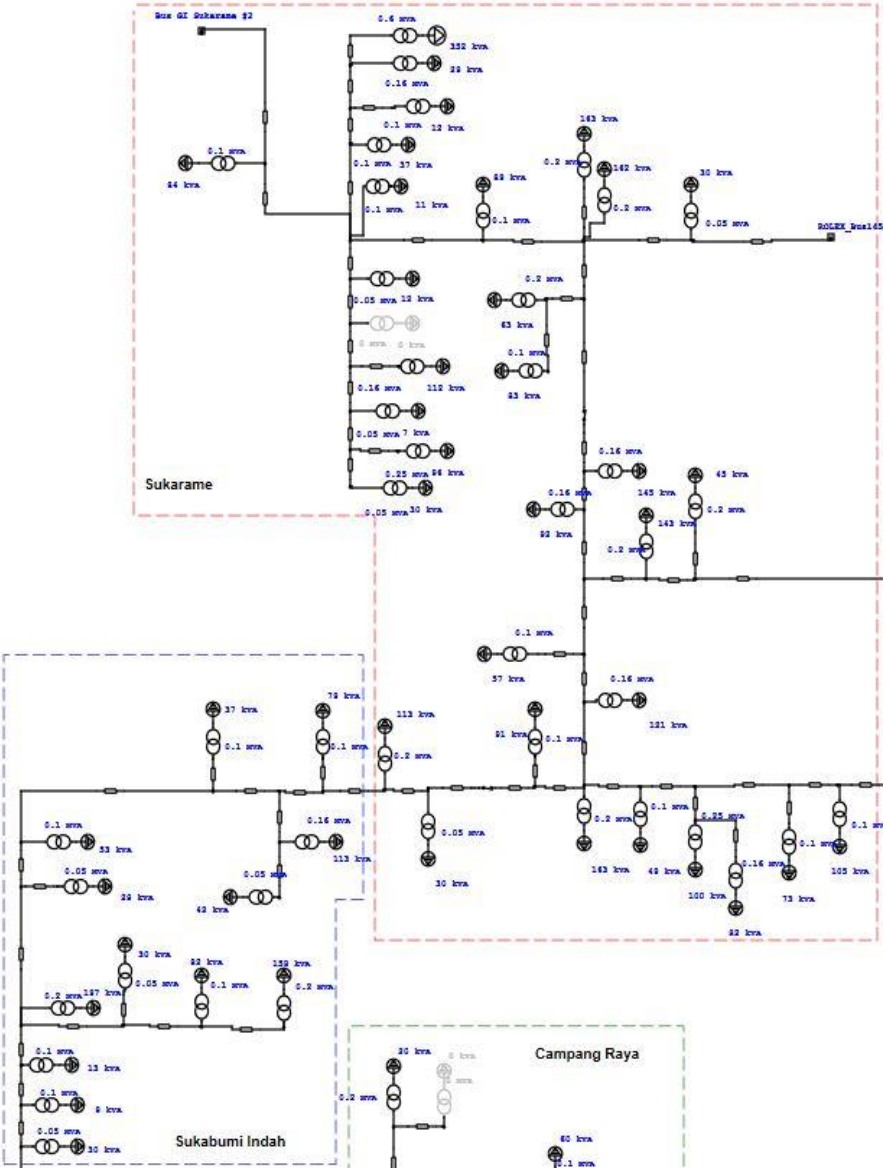
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN B
Pemodelan SLD pada *software* ETAP 16.0.0

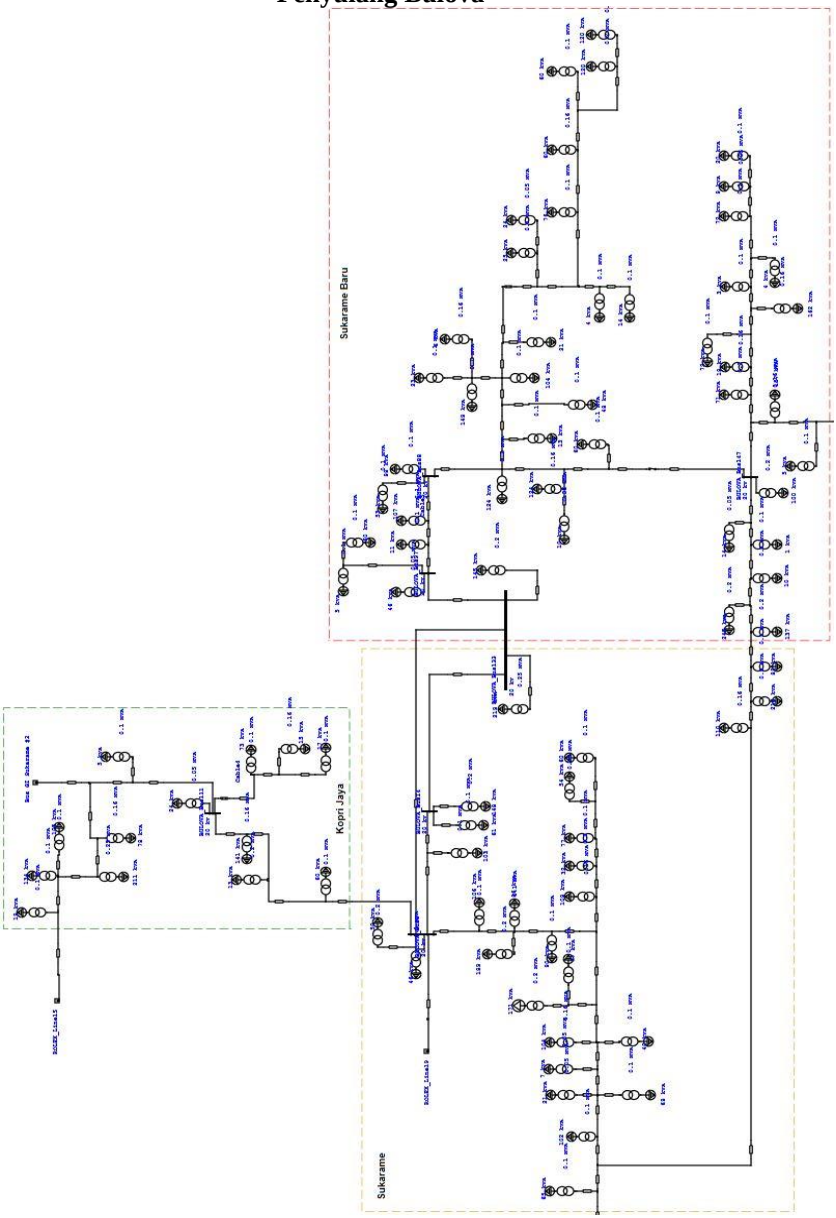
Penyulang BMW



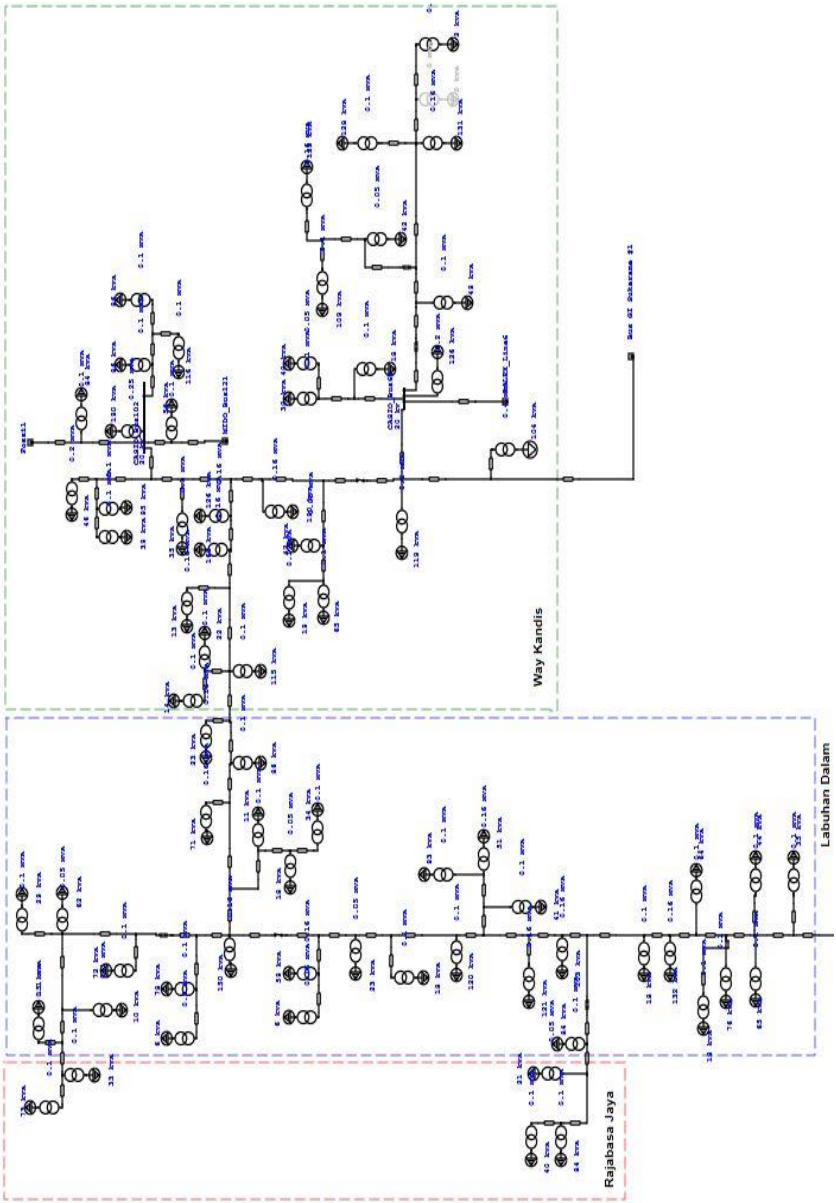
Penyulang Bonia



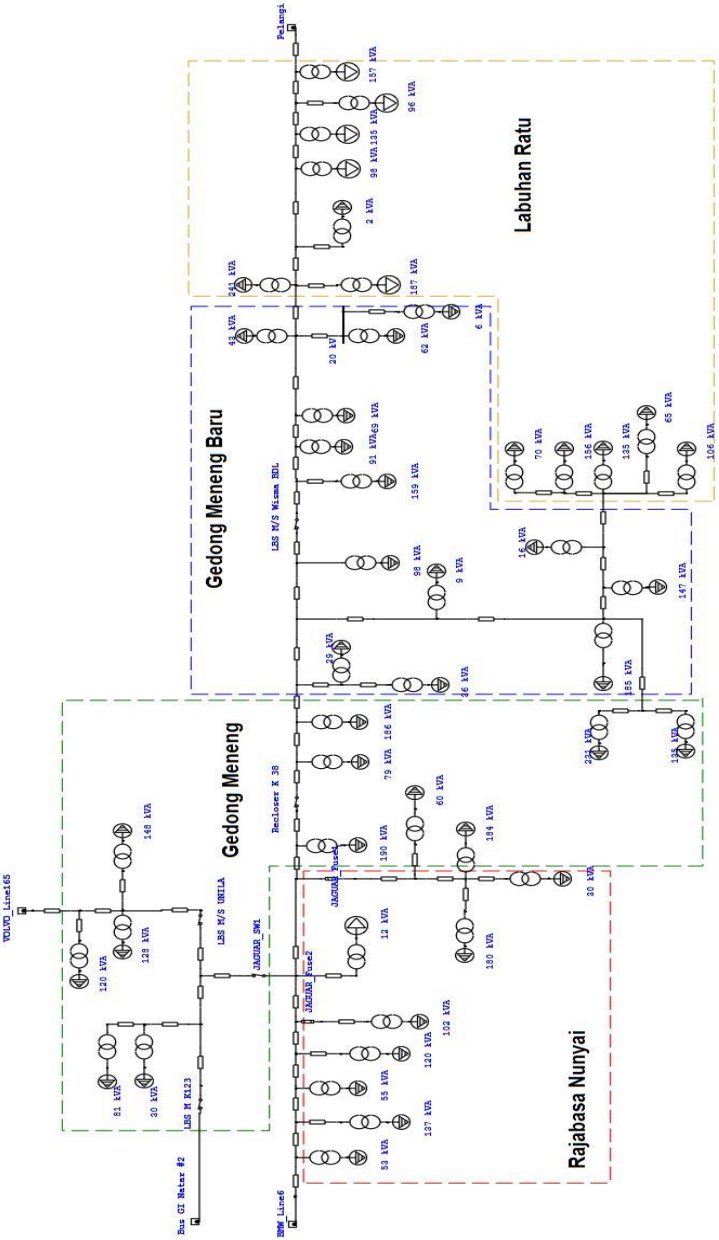
Penyulang Bulova



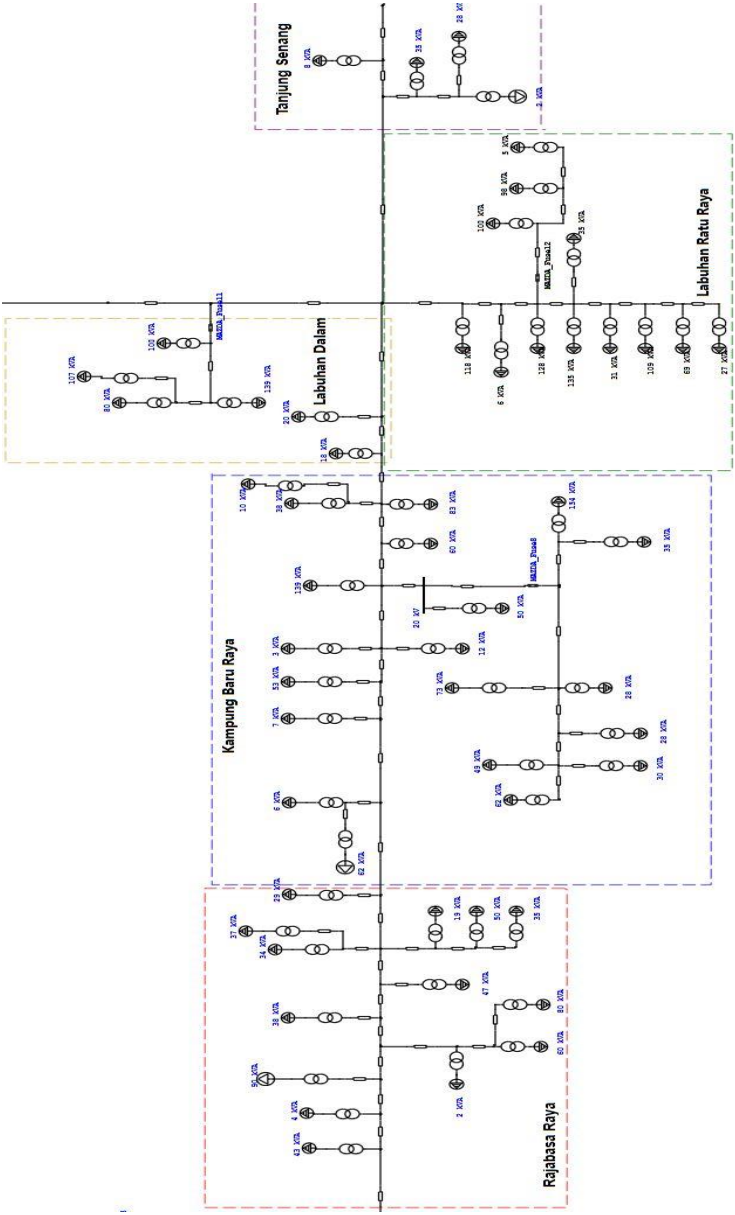
Penyulang Casio



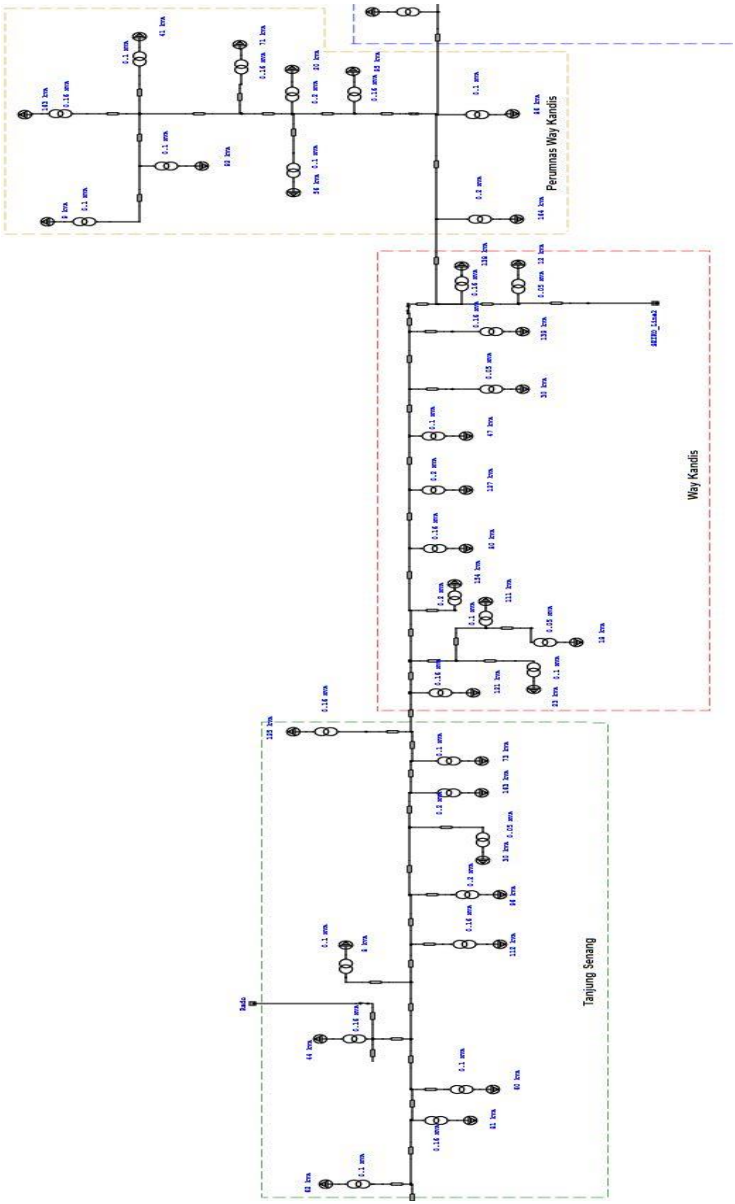
Penyulang Jaguar



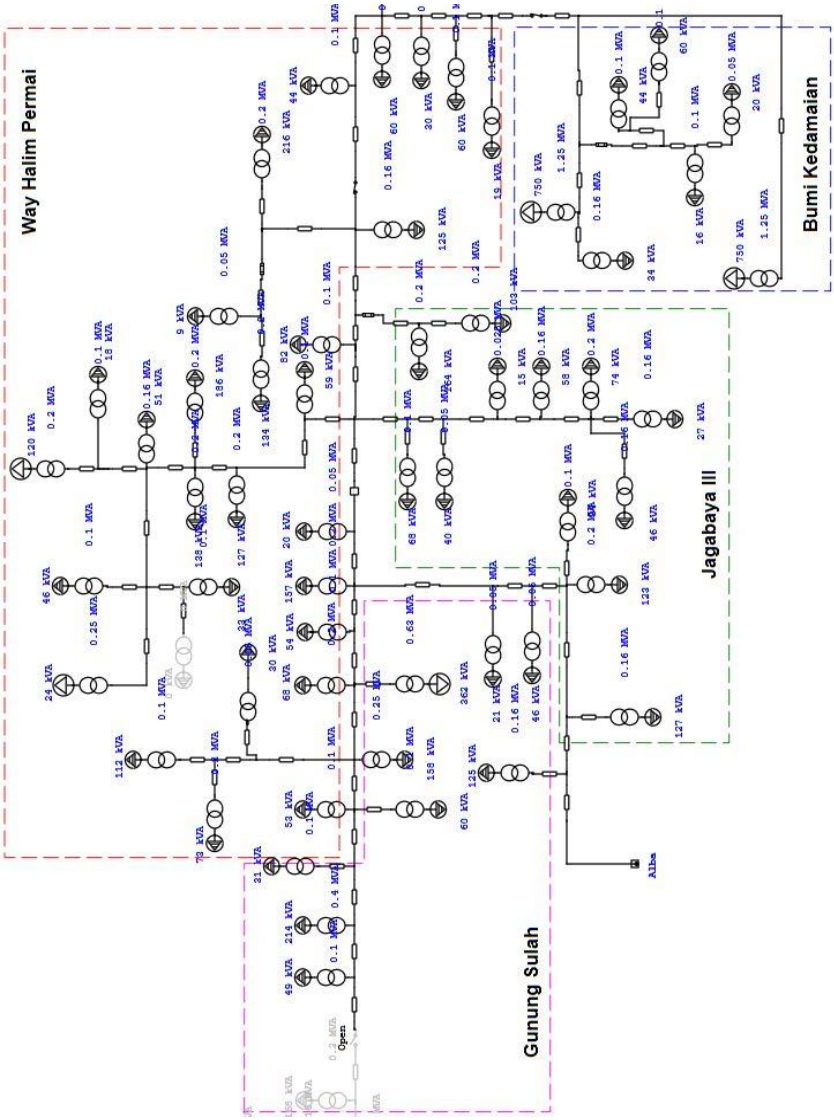
Penyulang Mazda



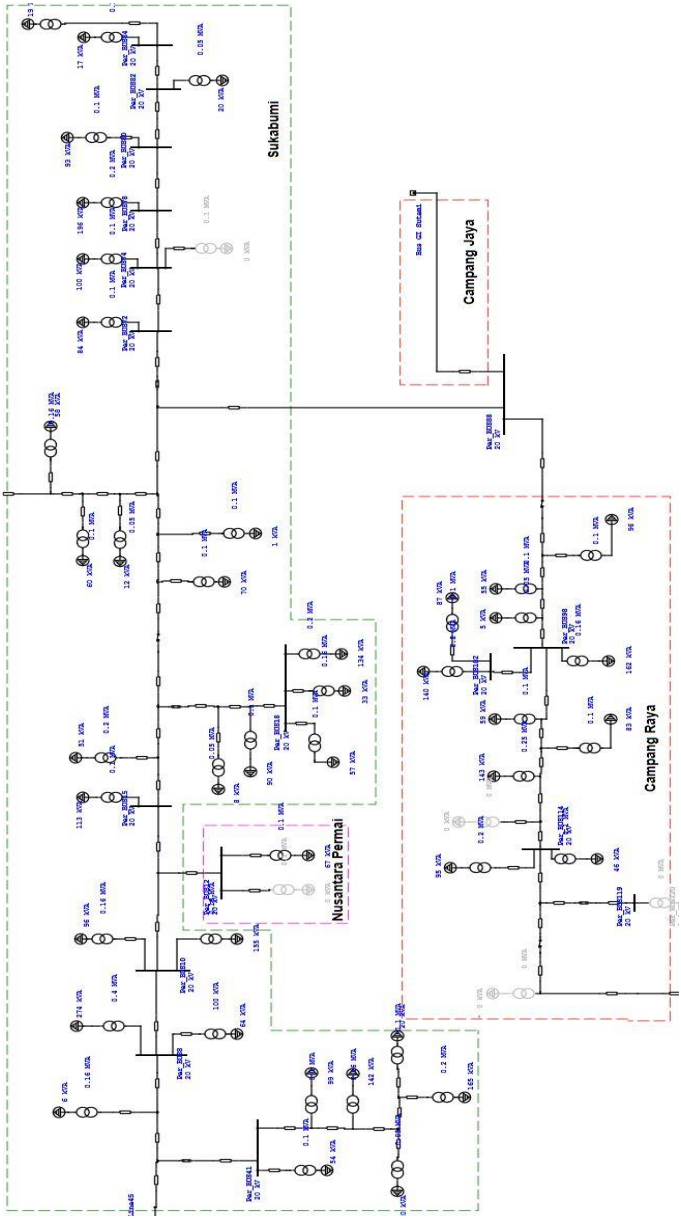
Penyulang Mido



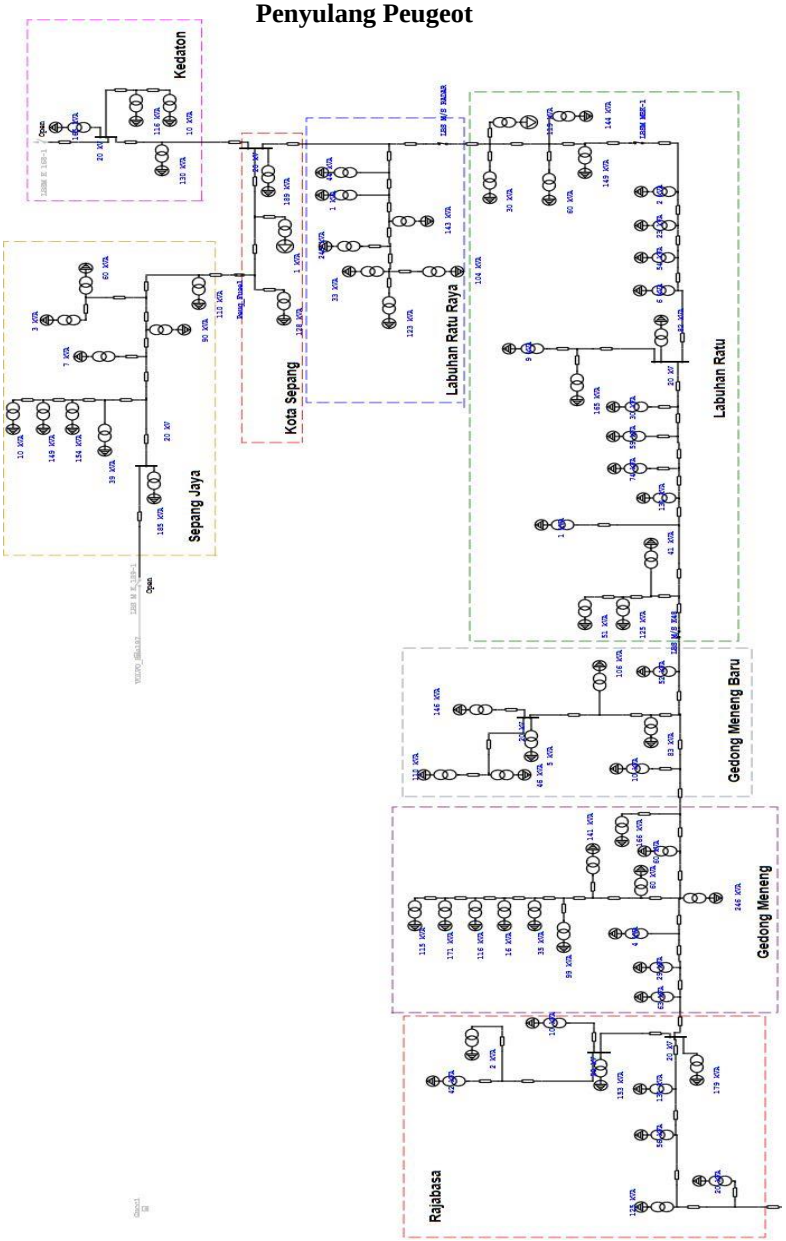
Penyulang Orient



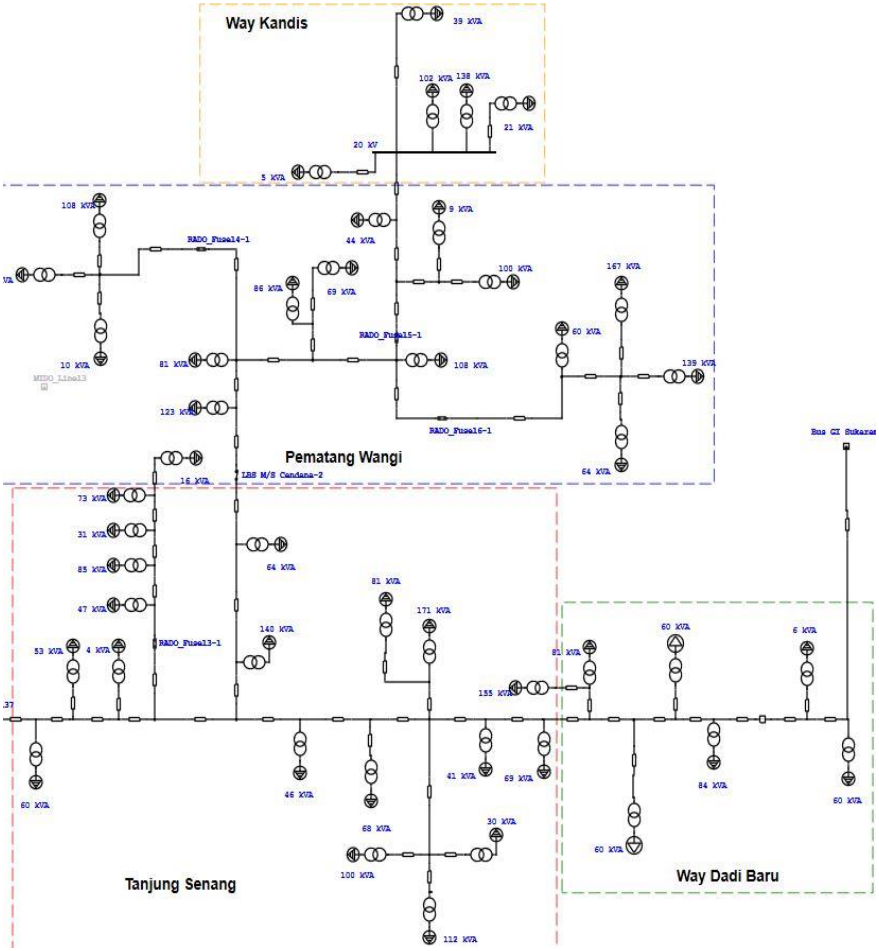
Penyulang Perunggu



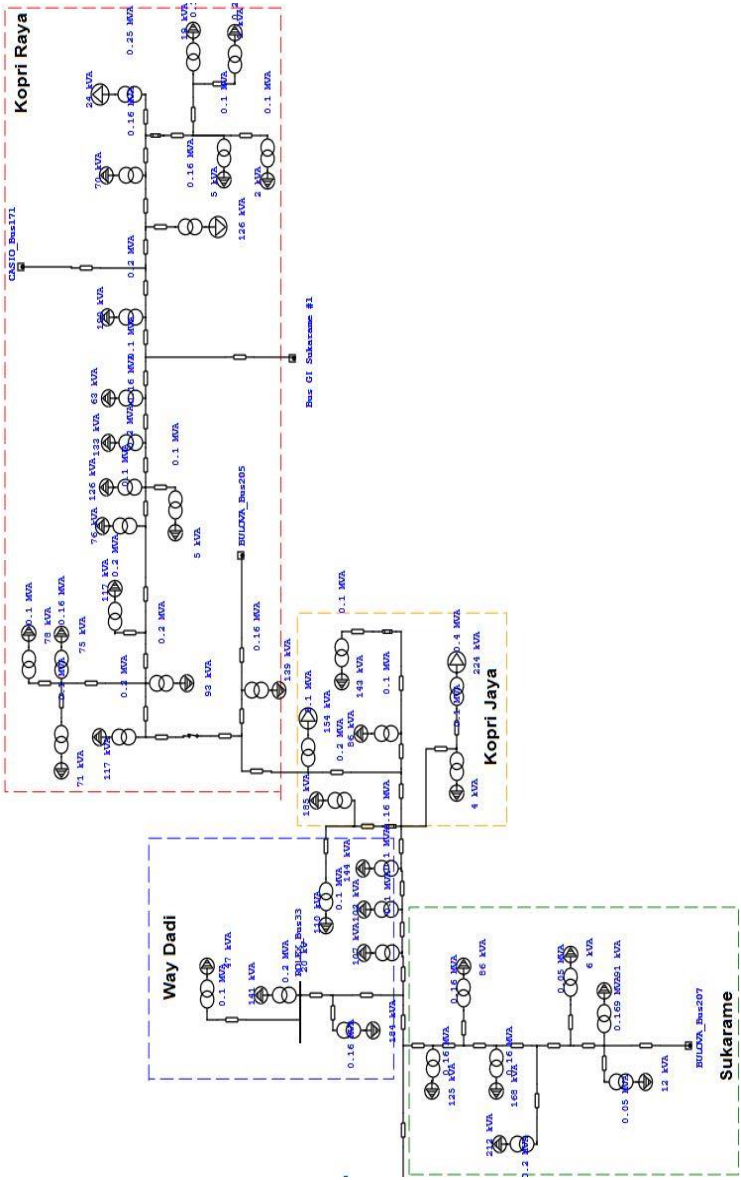
Penyulang Peugeot



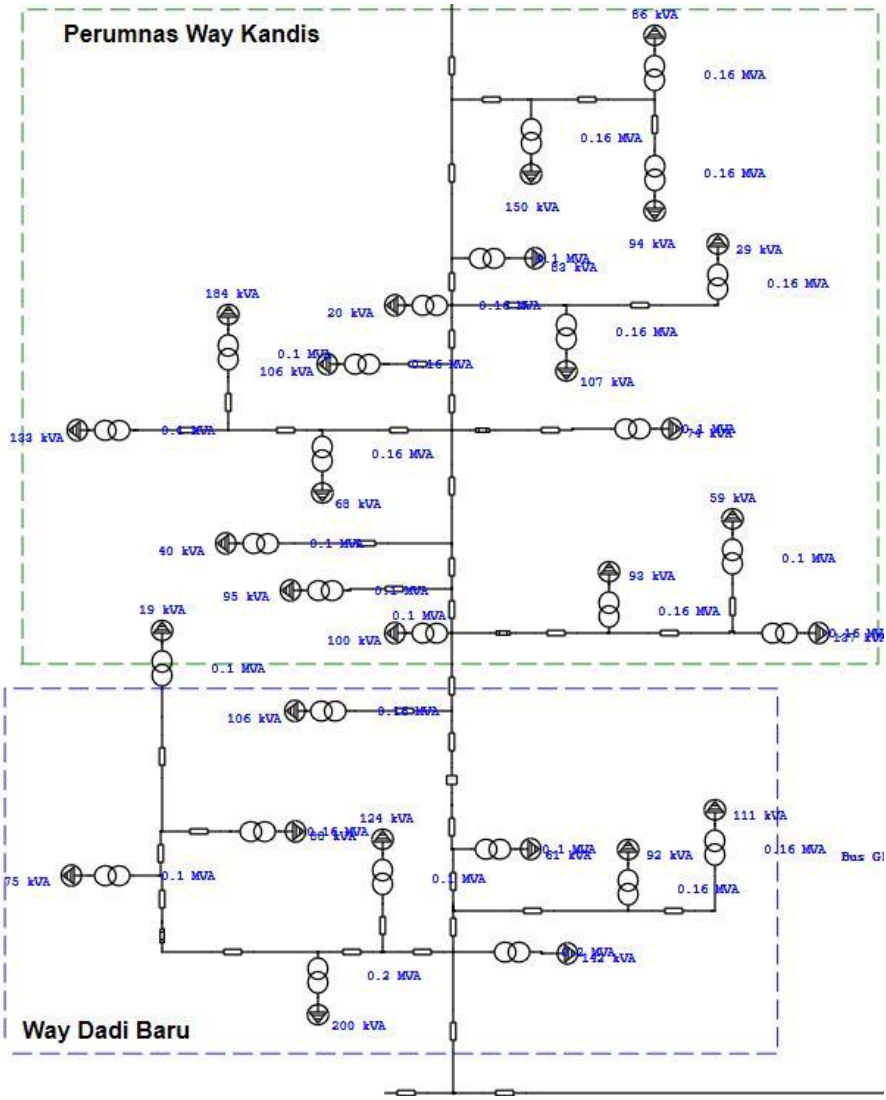
Penyulang Rado



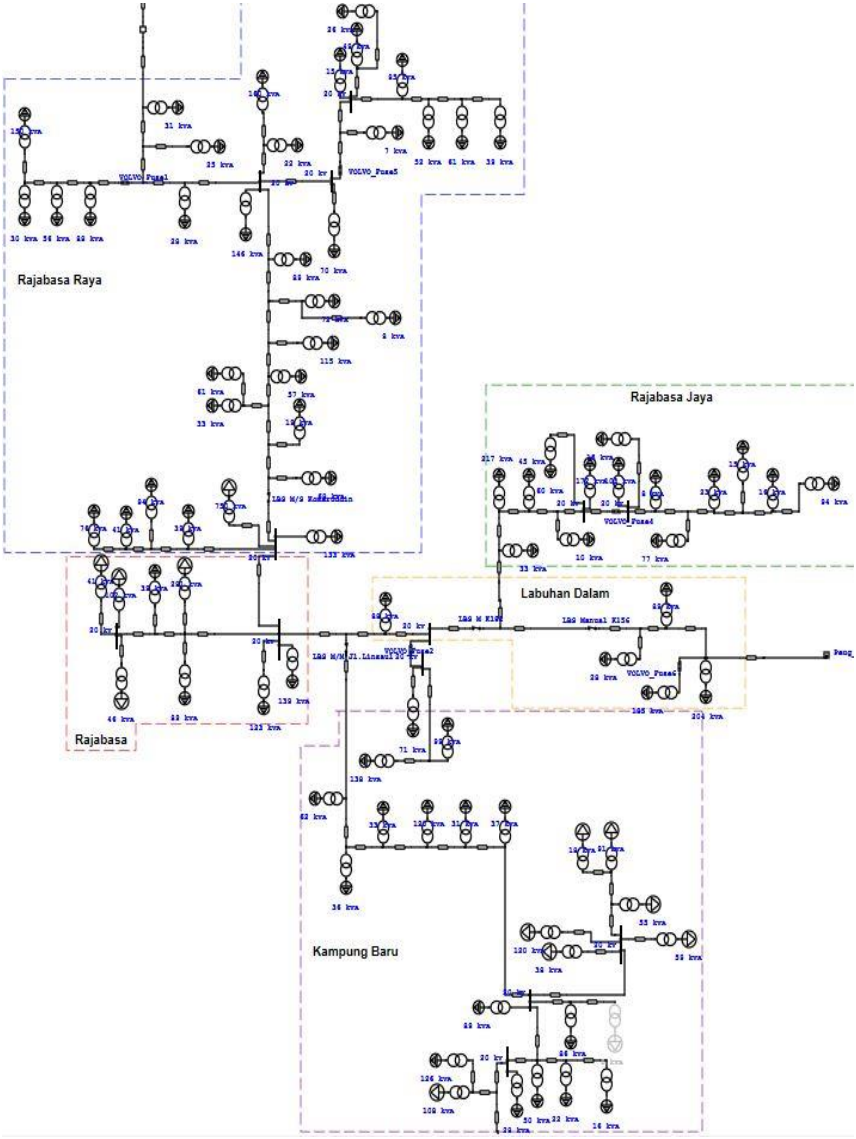
Penyulang Rolex



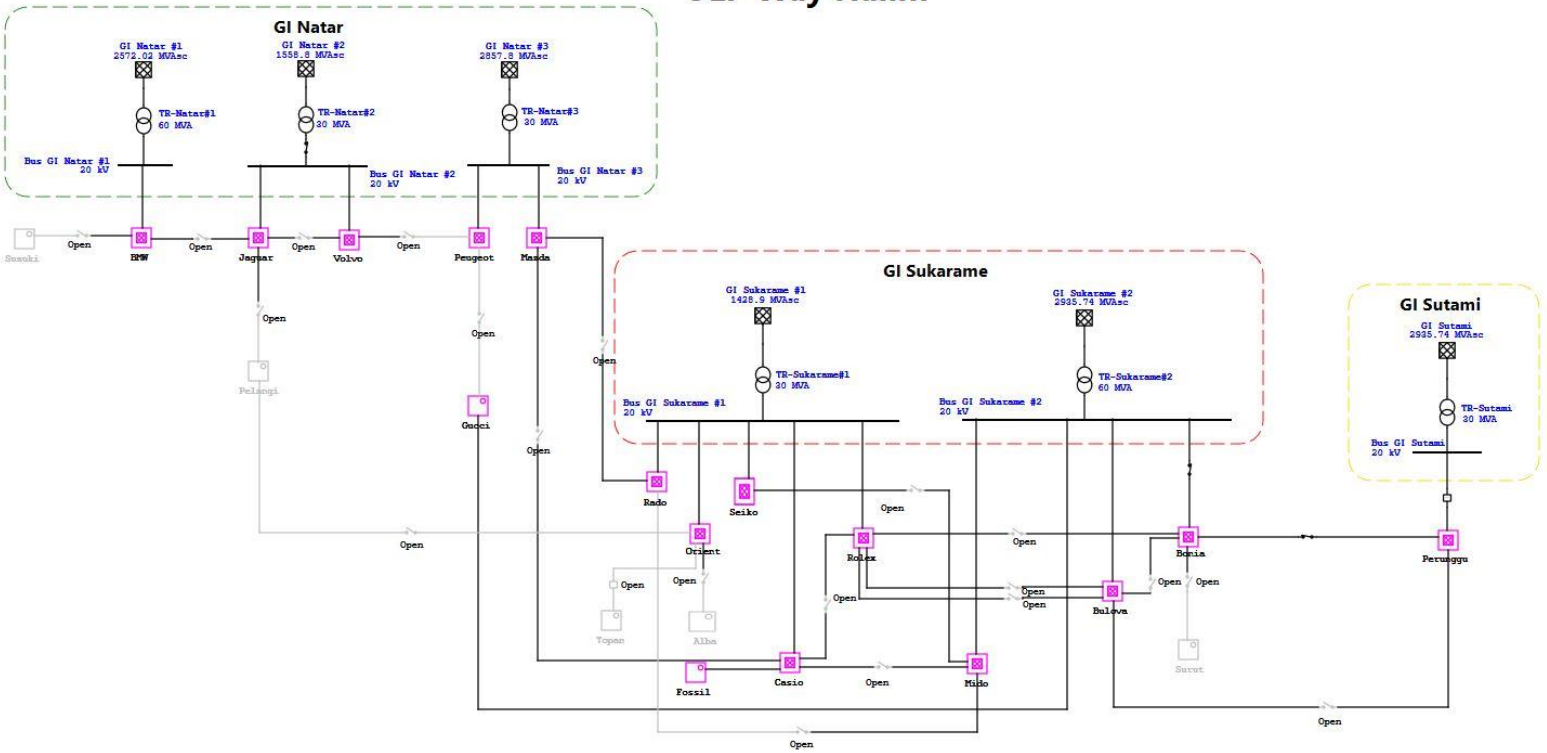
Penyulang Seiko



Penyulang Volvo



ULP Way Halim



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN C
Pengolahan Data Pembebanan Listrik

Data jumlah dan kapasitas beban terpasang tiap penyulang / *feeder* pada tiap cakupan kelurahan yang ada

No.	Penyulang	Kelurahan	Beban Terpasang	Daya (kVA)
1	Perunggu	Campang Raya	13	971
		Sukabumi	31	2311
		Nusantara Permai	2	67
2	BMW	Rajabasa Nunyai	28	1993
		Kemiling Permai	15	1306
		Kemiling Raya	8	673
		Langkapura	7	1203
		Rajabasa Pramuka	37	1551
3	Jaguar	Rajabasa Nunyai	8	689
		Gedong Meneng	12	1572
		Gedong Meneng Baru	13	950
		Labuhan Ratu	12	1448
4	Volvo	Rajabasa	8	860
		Rajabasa Raya	34	2776
		Rajabasa Jaya	14	888
		Kampung Baru	24	1523
		Labuhan Dalam	5	594
5	Peugeot	Rajabasa	9	718
		Gedong Meneng	14	1321
		Gedong Meneng Baru	8	558
		Labuhan Ratu	20	1355
		Labuhan Ratu Raya	7	697
		Kota Sepang	3	318
		Sepang Jaya	10	807
		Kedaton	4	421
6	Mazda	Rajabasa Raya	14	568
		Kampung Baru Raya	20	982
		Labuhan Dalam	6	464
		Labuhan Ratu Raya	12	861
		Tanjung Senang	4	73
7	Rolex	Kopri Raya	20	1530
		Kopri Jaya	6	806
		Way Dadi	7	836
		Sukarame	7	700
8	Casio	Way Kandis	34	2651
		Labuhan Dalam	33	1866
		Rajabasa Jaya	5	251
9	Orient	Way Halim Permai	29	2115
		Jagabaya III	12	779
		Gunung Sulah	9	1234
		Surabaya	6	685
		Bumi Kedamaian	7	1674
10	Seiko	Way Dadi Baru	9	999

		Perumnas Way Kandis	19	1677
11	Rado	Way Dadi Baru	6	351
		Tanjung Senang	19	2036
		Pematang Wangi	16	1200
		Way Kandis	5	305
12	Mido	Tanjung Senang	11	854
		Way Kandis	12	1000
		Perumnas Way Kandis	10	797
		Way Dadi Baru	13	1135
13	Bulova	Kopri Jaya	13	895
		Sukarame	27	2017
		Sukarame Baru	45	2810
14	Bonia	Sukarame	33	2781
		Sukabumi Indah	13	872
		Campang Raya	31	3337

Data hasil perhitungan pengembangan sistem kelistrikan ULP Way Halim untuk tahun 2030

No	Penyulang	Lingkup Kelurahan	RB	FK 2030	RK 2030	PB 2030
1	Perunggu	Campang Raya	0.29	20.03	5.81	27.03
		Sukabumi	0.69	18.87	13.02	25.42
		Nusantara Permai	0.02	13.05	0.26	7.90
2	BMW	Rajabasa Nunyai	0.30	11.96	3.54	17.01
		Kemiling Permai	0.19	17.27	3.35	30.05
		Kemiling Raya	0.10	12.93	1.29	21.74
		Langkapura	0.18	13.64	2.44	46.84
		Rajabasa Pramuka	0.23	17.11	3.95	14.33
3	Jaguar	Rajabasa Nunyai	0.15	11.96	1.77	13.57
		Gedong Meneng	0.34	24.38	8.23	42.06
		Gedong Meneng Baru	0.20	26.09	5.32	25.11
		Labuhan Ratu	0.31	21.76	6.76	34.58
4	Volvo	Rajabasa	0.13	18.96	2.46	21.22
		Rajabasa Raya	0.42	15.35	6.42	13.05
		Rajabasa Jaya	0.13	22.92	3.06	15.14
		Kampung Baru	0.23	17.42	3.99	11.51
		Labuhan Dalam	0.09	17.82	1.59	22.04
5	Peugeot	Rajabasa	0.12	18.96	2.20	27.95
		Gedong Meneng	0.21	24.38	5.20	42.51
		Gedong Meneng Baru	0.09	26.09	2.35	33.63
		Labuhan Ratu	0.22	21.76	4.76	27.24
		Labuhan Ratu Raya	0.11	17.30	1.95	31.83
		Kota Sepang	0.05	18.43	0.95	36.10
		Sepang Jaya	0.13	18.22	2.37	27.17
		Kedaton	0.07	19.92	1.35	38.74

6	Mazda	Rajabasa Raya	0.19	15.35	2.96	14.74
		Kampung Baru Raya	0.33	18.97	6.32	22.05
		Labuhan Dalam	0.16	17.82	2.80	32.62
		Labuhan Ratu Raya	0.29	17.30	5.05	29.38
		Tanjung Senang	0.02	19.65	0.49	8.49
7	Rolex	Kopri Raya	0.40	20.98	8.29	19.33
		Kopri Jaya	0.21	22.15	4.61	35.83
		Way Dadi	0.22	26.85	5.80	38.61
		Sukarame	0.18	21.26	3.84	25.60
8	Casio	Way Kandis	0.56	18.89	10.50	20.54
		Labuhan Dalam	0.39	17.82	6.97	14.05
		Rajabasa Jaya	0.05	22.92	1.21	16.04
9	Orient	Way Halim Permai	0.33	28.28	9.22	25.49
		Jagabaya III	0.12	16.37	1.97	13.13
		Gunung Sulah	0.19	16.87	3.21	28.58
		Surabaya	0.11	22.25	2.35	31.39
		Bumi Kedamaian	0.26	21.72	5.60	64.19
10	Seiko	Way Dadi Baru	0.37	19.78	7.38	35.62
		Perumnas Way Kandis	0.63	18.17	11.39	26.02
11	Rado	Way Dadi Baru	0.09	19.78	1.78	16.82
		Tanjung Senang	0.52	19.65	10.28	30.60
		Pematang Wangi	0.31	18.38	5.67	20.03
		Way Kandis	0.08	18.89	1.48	16.74
12	Mido	Tanjung Senang	0.23	19.65	4.43	24.53
		Way Kandis	0.26	18.89	4.99	25.32
		Perumnas Way Kandis	0.21	18.17	3.83	23.29
		Way Dadi Baru	0.30	19.78	5.93	27.77
13	Bulova	Kopri Jaya	0.16	22.15	3.46	16.43
		Sukarame	0.35	21.26	7.49	17.11
		Sukarame Baru	0.49	27.95	13.73	18.81
14	Bonia	Sukarame	0.40	21.26	8.46	18.20
		Sukabumi Indah	0.12	34.95	4.36	23.82
		Campang Raya	0.48	20.03	9.56	21.91

Keterangan :

RB = Rasio beban trafo gardu distribusi pada tiap kelurahan
RK 2030 = Rasio kepadatan beban tiap kelurahan 2030
PB 2030 = Penambahan beban tiap trafo distribusi (kW)
PB 2030 = Penambahan beban tiap trafo distribusi (kW)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI

Penulis bernama lengkap Marcellinus Verylian Nathan Pramudita dan lahir di Surabaya, 13 November 1997. Penulis mengawali pendidikan dasar di SD Katolik Santa Clara Surabaya, kemudian dilanjutkan di SMP Katolik Santa Clara Surabaya hingga lulus pada tahun 2013. Pendidikan menengah atas dilanjutkan di SMA Negeri 5 Surabaya. Sejak tahun 2016 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Departemen Teknik Eletro ITS dan aktif mengikuti berbagai kegiatan dan perlombaan di dalam maupun di luar kampus. Pada tahun 2018 penulis menjadi asisten lab. *Power System Simulation Laboratory* (PSSL) dan pada kepengurusan berikutnya menjadi koordinator asisten laboratorium. Penulis dapat dihubungi melalui *email* : verylian13@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)