TUGAS AKHIR – EE 184801

REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PADA PT. PLN (PERSERO) ULP MENGANTI MENGGUNAKAN *SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI JARINGAN DISTRIBUSI

Putu Diah Nitya Kirana
NRP 07111540000143

Dosen Pembimbing
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

TUGAS AKHIR – EE 184801

REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PADA PT. PLN (PERSERO) ULP MENGANTI MENGGUNAKAN *SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI JARINGAN DISTRIBUSI

Putu Diah Nitya Kirana
NRP 07111540000143

Dosen Pembimbing
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

FINAL PROJECT – EE 184801

NETWORK RECONFIGURATION OF DISTRIBUTION SYSTEM IN PT. PLN (PERSERO) ULP MENGANTI USING SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION TO INCREASE THE EFFICIENCY OF DISTRIBUTION SYSTEM

Putu Diah Nitya Kirana
NRP 07111540000143

Advisor
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PADA PT. PLN (PERSERO) ULP MENGANTI MENGGUNAKAN *SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI JARINGAN DISTRIBUSI**" 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 mapupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2019

Putu Diah Nitya Kirana

07111540000143

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PADA PT. PLN (PERSERO) ULP MENGANTI MENGGUNAKAN *SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI JARINGAN DISTRIBUSI

TUGAS AKHIR

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

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.	Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.
NIP. 196307251990031002	NIP. 198109052005011002

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

SURABAYA
JUNI, 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PADA PT. PLN (PERSERO) ULP MENGANTI MENGGUNAKAN *SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI JARINGAN DISTRIBUSI

Nama mahasiswa : Putu Diah Nitya Kirana
Dosen Pembimbing I : Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
Dosen Pembimbing II : Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.

ABSTRAK

Semakin padatnya pemukiman dan perindustrian, maka permintaan energi listrik juga semakin meningkat. Sistem distribusi merupakan sistem yang menyalurkan energi listrik dari sistem transmisi menuju ke konsumen. Dengan adanya penambahan beban, maka mengakibatkan perluasan atau penambahan jaringan listrik. Hal tersebut dapat menimbulkan permasalahan pada jaringan seperti *losses*, jatuh tegangan dan juga gangguan listrik lainnya. *Losses* dan jatuh tegangan ini dipengaruhi oleh parameter utama yaitu arus resistansi dan reaktansi penyulang. Oleh karena itu, untuk memperoleh jaringan yang optimal maka perlu dilakukan perubahan konfigurasi yang bertujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya sistem dan membebaskan beban terlalu berat dalam jaringan (*over load*). Pada tugas akhir ini metode *Selective Particle Swarm Optimization* (*SPSO*) diaplikasikan pada sistem distribusi 63 bus dengan tiga penyulang di PT. PLN (Persero) ULP Menganti. Ketiga penyulang tersebut yaitu Penyulang Domas, Penyulang An Nur dan Penyulang Cahaya Baru. Metode ini bertujuan untuk menemukan optimasi dari kombinasi *switch* yang dapat meminimalisasi besar *losses* pada jaringan. Hasil simulasi menunjukkan penurunan rugi-rugi daya nyata dari 790,0614 kW menjadi 745,3004 kW atau sebesar 5,6655% saat rata-rata waktu beban puncak dan perbaikan kualitas tegangan dengan tegangan minimal pada sistem dari 0,89036 p.u menjadi 0,90373 p.u.

Kata kunci: Jaringan Radial, Rugi Daya, *SPSO*, Rekonfigurasi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

NETWORK RECONFIGURATION OF DISTRIBUTION SYSTEM IN PT. PLN (PERSERO) ULP MENGANTI USING SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION TO INCREASE THE EFFICIENCY OF DISTRIBUTION SYSTEM

Student Name : Putu Diah Nitya Kirana
Supervisor I : Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
Supervisor II : Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., MT.

ABSTRACT

The more dense settlements and industries, the demand for electrical energy also increases. Distribution system is a system which delivers the electricity from transmission system to the consumers. With the addition of the load, it results in the expansion or addition of the electrical network. This can cause many network problems such as losses, voltage drop and other electrical disturbances. Losses and voltage drop are affected with two main parameters, there are network resistance and reactance. Therefore, to obtain a better optimal network, it is necessary to make change through reconfiguration. This reconfiguration is a potential solution to minimize power losses and overload network. In this final project, the Selective Particle Swarm Optimization (SPSO) method is applied to the 63 bus distribution system for three feeders at PT. PLN (Persero) ULP Menganti, which are Domas Feeder, An Nur Feeder, and Cahaya Baru Feeder. This method is proposed to find the optimal combination of switches that will minimize the power losses of the network. The simulation results show the minimization of power losses from 790,0614 kW to 745,3004 kW or by 5,6655% when the average peak load time and improve the minimum quality of the system from 0,89036 p.u to 0,90373 p.u.

Key Word: Radial Network, Losses, SPSO, Reconfiguration

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Tiada kata yang mampu menggambarkan seberapa banyak syukur yang harus penulis panjatkan kepada Tuhan YME, atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya, walaupun baragam tantangan menghadang, pada akhirnya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul "**REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PADA PT. PLN (PERSERO) ULP MENGANTI MENGGUNAKAN *SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI JARINGAN DISTRIBUSI**".

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan YME atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Kedua orang tua, Ni Putu Kamiati dan I Wayan Suparja atas segala doa dan dukungannya. Semoga Tuhan senantiasa melindungi dan memberikan panjang umur.
3. Bapak Ir. Sjamsjul Anam, M.T. dan Bapak Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Bapak Mujiono selaku manajer PT. PLN (Persero) UP3 SBB, dan Bapak Dikdik selaku manajer PT. PLN (Persero) ULP Menganti yang sudah membantu dalam proses pengumpulan data.
5. Ray Zimmerman dan Illias Sarantakos yang sudah membantu dalam penyelesaian program.
6. Teman-teman asisten Laboratorium Konversi Energi serta e55 yang telah menemani dan menorehkan cerita selama masa kuliah sampai penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang luar biasa.

Penulis telah berusaha maksimal dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun tetap besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikat manfaat yang luas.

Surabaya, Juni 2019

Putu Diah Nitya Kirana
07111540000143

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR i
ABSTRAK v
ABSTRACT vii
KATA PENGANTAR ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR TABEL xiv
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan 3
1.5 Metodologi 3
1.6 Sistematika Penulisan 4
1.7 Relevansi 5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI 7
2.1 Sistem Distribusi 7
2.1.1 Klasifikasi Menurut Nilai Tegangannya 7
2.1.2 Klasifikasi menurut Jenis Konduktor 7
2.1.3 Klasifikasi Menurut Susunan Rangkaiannya 8
2.2 Klasifikasi Beban Tenaga Listrik 11
2.3 Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Radial 12
2.4 Analisis Aliran Daya 14
2.5 Perhitungan dengan Metode *Newton Raphson* 16
2.6 *Selective Particle Swarm Optimization* (*SPSO*) 17
BAB 3 PEMODELAN SISTEM 21
3.1 Pemodelan Jaringan Distribusi 21
3.1.1 Pemodelan Sistem 63 Bus 21
3.1.2 Pemodelan Jaringan Distribusi dengan *SPSO* 24
3.1.3 Batasan-batasan (*Constraint*) 26
3.2 Data dan Simulasi Jaringan Distribusi 26
3.2.1 Penyulang Domas 31
3.2.2 Penyulang An Nur 34
3.2.3 Penyulang Cahaya Baru 37
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 41
4.1 Hasil Simulasi Sistem Jaringan Distribusi 63 Bus 41

4.1.1 Kondisi Sistem Sebelum Dilakukan Rekonfigurasi Jaringan 41
4.2 Analisis Hasil Rekonfigurasi Jaringan 53
4.3 Perhitungan Biaya 58
BAB 5 PENUTUP 59
5.1 Kesimpulan.....59
5.2 Saran.....59
DAFTAR PUSTAKA 61
BIODATA PENULIS 63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jaringan Distribusi Tipe Radial 8
Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Tipe Radial dengan *Tie Switch* dan Pemisah 9
Gambar 2.3 Jaringan Distribusi Tipe Ring 9
Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Tipe Spindel..... 10
Gambar 2.5 Jaringan Distribusi Tipe Mesh 11
Gambar 2.6 Kurva Beban Per-Golongan Tarif 12
Gambar 2.7 *Single Line Diagram* pada Penyulang..... 13
Gambar 2.8 Diagram Alir *SPSO*..... 20
Gambar 3.1 Ilustrasi Pengelompokkan Bus (a) 21
Gambar 3.2 Ilustrasi Pengelompokkan Bus (b) 22
Gambar 3.3 Implementasi Titik Pusat Massa pada Pemodelan 23
Gambar 3.4 Ilustrasi Perhitungan Panjang SUTM 24
Gambar 3.5 Ilustrasi Model Jaringan Distribusi (a) 24
Gambar 3.6 Ilustrasi Model Jaringan Distribusi (b) 25
Gambar 3.7 *Single Line Diagram* 63 Bus..... 27
Gambar 3.8 *Single Line Diagram* Penyulang Domas..... 32
Gambar 3.9 WBP Siang dan Malam Hari Penyulang Domas..... 33
Gambar 3.10 *Single Line Diagram* Penyulang An Nur 35
Gambar 3.11 WBP Siang dan Malam Hari Penyulang An Nur..... 36
Gambar 3.12 *Single Line Diagram* Penyulang Cahaya Baru 38
Gambar 3.13 WBP Siang dan Malam Hari Penyulang Cahaya Baru .. 39
Gambar 4.1 *Single Line Diagram* 63 Bus Setelah Rekonfigurasi..... 47
Gambar 4.2 Besar *Losses* saat Rata-Rata WBP Siang dan Malam 53
Gambar 4.3 Besar *Losses* saat WBP Tertinggi 54
Gambar 4.3 Plot Tegangan saat Rata-Rata WBP Siang dan Malam ... 56
Gambar 4.3 Plot Tegangan saat WBP Tertinggi..... 56

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Loop dari Sistem Distribusi 63 Bus 28
Tabel 3.2 Data *Generator Bus* pada Sistem Distribusi 63 Bus 29
Tabel 3.3 Data *Branch* pada Sistem Distribusi 63 Bus 29
Tabel 3.4 Data Pembebanan Penyulang Domas saat Rata-Rata WBP dan WBP Tertinggi 34
Tabel 3.5 Data Pembebanan Penyulang An Nur saat Rata-Rata WBP dan WBP Tertinggi 37
Tabel 3.6 Data Pembebanan Penyulang Cahaya Baru saat Rata-Rata WBP dan WBP Tertinggi.....40
Tabel 4.1 Hasil Simulasi sebelum Rekonfigurasi jaringan 41
Tabel 4.2 Kapasitas Total Pembebanan pada Penyulang sebelum Rekonfigurasi.....42
Tabel 4.3 Besar Rugi-Rugi Daya Nyata sebelum Rekonfigurasi 42
Tabel 4.4 Besar Tegangan setiap Bus sebelum Rekonfigurasi.....44
Tabel 4.5 Hasil Simulasi setelah Rekonfigurasi Jaringan 48
Tabel 4.6 Kapasitas Total Pembebanan pada Penyulang setelah Rekonfigurasi.....48
Tabel 4.7 Besar Rugi-Rugi Daya Nyata setelah Rekonfigurasi 49
Tabel 4.8 Besar Tegangan setiap Bus setelah Rekonfigurasi.....51

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik adalah sumber energi yang sangat dibutuhkan untuk menunjang kebutuhan manusia. Bertambahnya pemukiman dan dunia industri mengakibatkan semakin meningkatnya kebutuhan energi listrik. Sistem distribusi merupakan tahap akhir dalam penyaluran energi listrik. Sistem ini menyalurkan listrik dari sistem transmisi menuju ke konsumen. Dengan adanya penambahan beban, maka mengakibatkan perluasan atau penambahan jaringan listrik. Hal tersebut dapat menimbulkan permasalahan pada jaringan seperti *losses*, jatuh tegangan dan juga gangguan listrik lainnya. *Losses* jaringan merupakan salah satu jenis susut teknis. Susut teknis yang diperbolehkan pada desain sebuah jaringan tegangan menengah dengan tipe jaringan *open loop* dan radial maksimal sebesar 2,3% [1]. *Losses* dipengaruhi oleh besarnya resistansi dan reaktansi pada jaringan. Disisi lain *losses* juga berkaitan erat dengan biaya. Semakin tingginya *losses*, maka semakin kecil keuntungan yang diperoleh oleh pihak PLN sebagai BUMN yang bergerak di bidang jasa ketenagalistrikan. Kerugian yang diderita PT. PLN (Persero) dalam pengendalian terhadap *losses* energi listrik mengakibatkan hilangnya kesempatan perusahaan untuk memperoleh pendapatan akibat tidak terjualnya energi listrik yang didistribusikan. Solusi yang potensial untuk mengurangi *losses* ini adalah dengan pemasangan kapasitor, *distributed genetrator (DG)*, *conductor grading*, sistem distribusi tegangan tinggi dan rekonfigurasi jaringan distribusi [2].

Rekonfigurasi jaringan merupakan salah satu solusi untuk meminimasi rugi-rugi daya. Perubahan konfigurasi pada jaringan dilakukan untuk mengurangi rugi-rugi daya sistem dan membebaskan beban berlebih pada jaringan. Jaringan di Surabaya dan sekitarnya khususnya di PT. PLN (Persero) ULP Menganti menggunakan jaringan tipe radial. Kekurangan dari tipe jaringan radial adalah kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena jatuh tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.

Salah satu teknik rekonfigurasi jaringan adalah dengan mengoptimalkan kombinasi *switch* yang terdapat pada jaringan distribusi, sehingga dapat meminimalisasi rugi-rugi daya pada sistem jaringan yang radial [3]. PT. PLN (Persero) ULP Menganti terdiri dari 19 penyulang.

Karena rumitnya jaringan distribusi tersebut, maka akan sulit apabila perhitungan aliran daya dilakukan secara manual, sehingga penyelesaiannya dapat menggunakan kecerdasan buatan.

Beberapa metode kecerdasan buatan seperti *expert system* [4], *refined genetic algorithm* [5], *adaptive generic algorithm* [6], dan *ant colony search* [7], sudah pernah dijadikan solusi untuk meminimasi masalah rugi-rugi daya dengan rekonfigurasi jaringan distribusi. Metode-metode tersebut memiliki perhitungan komputasi yang lama untuk suatu sistem yang besar [5]. Dalam penelitian kali ini akan digunakan metode *Selective Particle Swarm Optimization* yang akan diuji pada penyulang-penyulang di PT. PLN (Persero) ULP Menganti. Penggunaan *Selective Particle Swarm Optimization* dipilih karena perhitungan komputasinya yang cepat dibanding metode kecerdasan buatan lainnya dan hasil yang lebih optimal apabila dibanding dengan *Binary Particle Swarm Optimization* mengacu pada referensi [8].

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Memetakan jaringan distribusi primer pada PT. PLN (Persero) ULP Menganti.
2. Memilih penyulang-penyulang yang memungkinkan untuk dilakukan rekonfigurasi jaringan dengan menggunakan metode *Selective Particle Swarm Optimization*.
3. Bagaimana pemodelan jaringan distribusi yang akan direkonfigurasi.
4. Bagaimana perbandingan rugi daya nyata sebelum rekonfigurasi dan setelah rekonfigurasi jaringan.
5. Bagaimana analisis optimalisasi jaringan menggunakan metode *SPSO*.
6. Seberapa besar pengaruh *losses* distribusi energi listrik terhadap pendapatan PT. PLN (Persero) ULP Menganti.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Perhitungan optimal jaringan hanya dilihat dari parameter rugi-rugi daya nyata.

2. Jaringan hanya terbatas pada tiga Penyulang, yaitu Penyulang Domas, Penyulang An Nur dan Penyulang Cahaya Baru, yang berasal dari tiga Gardu Induk, yaitu Gardu Induk Kasih Jatim, Gardu Induk Krian (Sumput), dan Gardu Induk Karang Pilang.
3. Tidak mempertimbangkan harmonisa dan koordinasi proteksi pada sistem.

1.4 Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah :

1. Memperoleh jaringan-jaringan mana yang akan direkonfigurasi.
2. Memperoleh pemodelan jaringan distribusi yang akan direkonfigurasi.
3. Memperoleh bentuk konfigurasi jaringan baru pada PT. PLN (Persero) ULP Menganti dengan menggunakan *SPSO*.
4. Menganalisis hasil optimalisasi jaringan distribusi.
5. Membandingkan rugi-rugi daya nyata sebelum dengan setelah rekonfigurasi jaringan.
6. Memberi masukan kepada pihak PT. PLN (Persero) ULP Menganti bagaimana rekonfigurasi jaringan yang efektif, guna mengurangi kerugian pendapatan perusahaan yang disebabkan oleh *losses*.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
   Studi literatur bertujuan untuk menambah wawasan dan pemahaman yang berkaitan dengan topik tugas akhir. Literatur dapat diperoleh dari paper, buku, tugas akhir, thesis, artikel ilmiah, internet, dan lain-lain. Teori penunjang yang dibutuhkan adalah Sistem Distribusi, Klasifikasi Beban, Analisis Aliran Daya, Metode *Newton Raphson*, dan *Selective Particle Swarm Optimization*.
2. Pengumpulan Data
   Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan untuk keperluan tugas akhir. Ada dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Dalam topik ini, data yang

dibutuhkan adalah data kapasitas transformator distribusi, data pembebanan, data jenis dan panjang saluran pada setiap penyulang yang akan dilakukan rekonfigurasi. Data ini didapat dari PT. PLN (Persero) ULP Menganti sehingga data ini bersifat data sekunder.

3. Pemodelan Sistem
   Sistem distribusi dimodelkan dengan pemodelan yang sesuai dengan algoritma SPSO.
4. Simulasi
   Simulasi aliran daya menggunakan metode *Newton Raphson* serta simulasi menggunakan algoritma *SPSO* dengan software MATLAB R2016a dengan analisis aliran daya menggunakan MATPOWER 6.0.
5. Analisis Data
   Hasil simulasi akan dianalisis setelah didapatkan sistem jaringan baru hasil rekonfigurasi, dan dilakukan analisis perbandingan rugi daya nyata pada sebelum dan sesudah rekonfigurasi jaringan.
6. Penyusunan Laporan
   Seluruh proses dan hasil yang didapatkan akan disusun menjadi tulisan ilmiah dalam bentuk Buku Tugas Akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri dari lima BAB dengan uraian sebagai berikut :

1. BAB 1 merupakan pendahuluan yang berisikan latar belakang masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi
2. BAB 2 berisikan kajian pustaka dan dasar teori yang membahas mengenai teori-teori penunjang yang berkaitan dengan sistem distribusi dan *Selective Particle Swarm Optimization.*
3. BAB 3 berisikan data dan permodelan sistem jaringan yang digunakan.
4. BAB 4 berisikan simulasi dan analisis data, yang membahas tentang simulasi sistem jaringan distribusi sebelum dan sesudah rekonfigurasi jaringan.
5. BAB 5 berisikan kesimpulan dan saran.

1.7 Relevansi

Relevansi dari tugas akhir ini adalah antara lain :

1. Menjadi referensi bagi peneliti lain yang ingin melakukan penelitian pada bidang yang sama
2. Menjadi referensi untuk mahasiswa lain dalam mengerjakan tugas akhir jika memiliki topik yang sama

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan sistem tenaga listrik yang menyalurkan listrik dari sistem transmisi menuju ke konsumen. Mengacu pada referensi [9] sistem distribusi di Indonesia memiliki beberapa klasifikasi sebagai berikut:

2.1.1 Klasifikasi Menurut Nilai Tegangannya

Menurut nilai tegangannya jaringan distribusi dibagi menjadi dua yaitu jaringan distribusi primer dan saluran distribusi sekunder.

a. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer terletak pada sisi primer transformator distribusi, yaitu antara titik sekunder transformator Gardu Induk dengan titik primer transformator distribusi. Jaringan ini menggunakan tegangan menengah 20 kV dan 70 kV atau 150 kV jika langsung melayani pelanggan yang membutuhkan tegangan tinggi.

b. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder terletak pada sisi sekunder transformator distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban. Jaringan distribusi ini menggunakan tegangan rendah 220/380 V atau 231/400 V.

2.1.2 Klasifikasi menurut Jenis Konduktor

Menurut jenis konduktornya, jaringan distribusi dibagi menjadi 3 jenis yaitu saluran udara, saluran bawah tanah dan saluran bawah laut.

a. Saluran Udara

Saluran udara dipasang pada udara terbuka dengan bantuan penyangga (tiang) dan perlengkapannya, yang dibedakan atas:

- Saluran kawat udara, bila konduktornya telanjang, tanpa isolasi pembungkus.
- Saluran kabel udara, bila konduktornya terbungkus isolasi.

b. Saluran Bawah Tanah

Saluran bawah tanah dipasang di dalam tanah dengan menggunakan kabel tanah (*ground cable*).

c. ***Saluran Bawah Laut***

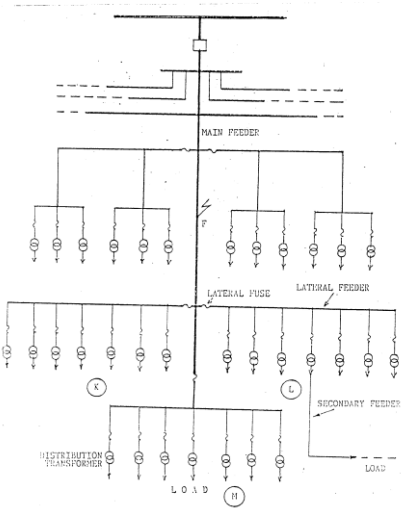
Saluran bawah laut dipasang di dasar laut dengan menggunakan kabel laut (*submarine cable*).

2.1.3 Klasifikasi Menurut Susunan Rangkaiannya

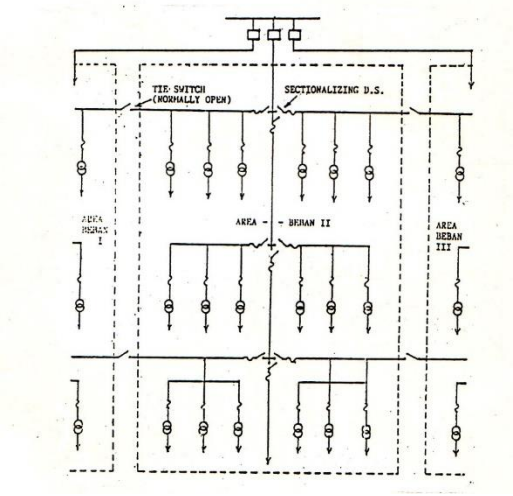
Sistem Distribusi Primer memiliki beberapa jenis susunan rangkaian sebagai berikut :

a. ***Jaringan Distribusi Radial***

Jaringan distribusi radial adalah model jaringan yang paling umum digunakan, hampir seluruh jaringan distribusi berbentuk radial. Suatu jaringan disebut radial apabila antara titik sumber dan titik bebannya hanya terdapat satu saluran, tidak ada alternatif saluran lainnya. Bentuk jaringan radial ini sederhana dan biaya investasinya relatif murah, akan tetapi kontinyuitas pelayanan daya tidak terjamin, sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka sesudah titik gangguan akan mengalami pemadaman dan harus dilakukan manuver terhadap saluran lain.



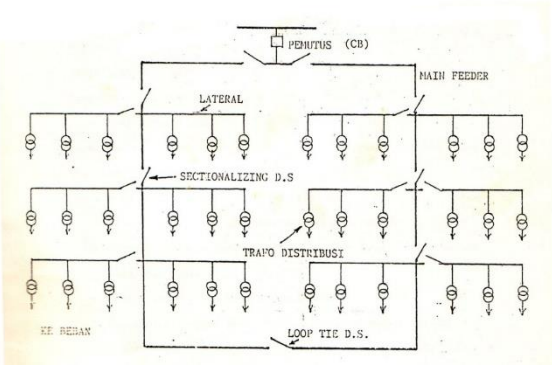
Gambar 2.1 Jaringan Distribusi Tipe Radial [9]



Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Tipe Radial dengan *Tie Switch* dan Pemisah [9]

b. ***Jaringan Distribusi Ring (Loop)***

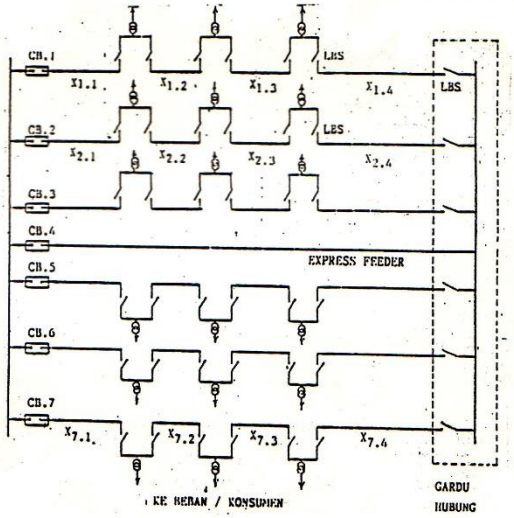
Jaringan ini merupakan bentuk tertutup. Susunan rangkaian penyulang yang membentuk ring, memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah penyulang. Akibatnya kontinyuitas pelayanan lebih terjamin, serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena jatuh tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil.



Gambar 2.3 Jaringan Distribusi Tipe Ring [9]

c. ***Jaringan Distribusi Spindel***

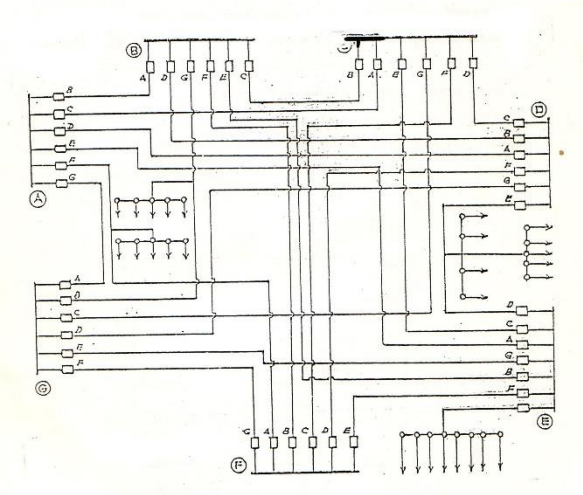
Sistem jaringan spindel terdiri dari beberapa penyulang dalam keadaan berbeban dan satu penyulang tanpa beban sebagai "*express feeder"* yang berfungsi sebagai cadangan pada saat terjadi gangguan pada penyulang yang bekerja. *Express feeder* juga berfungsi untuk memperkecil terjadinya jatuh tegangan pada sistem distribusi dalam keadaan operasi normal.



Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Tipe Spindel [9]

d. ***Jaringan Distribusi Mesh***

Pada jaringan distribusi tipe mesh, satu penyulang dapat disuplai lebih dari satu sumber. Jadi jaringan ini dibentuk dari beberapa Gardu Induk yang saling dihubungkan, sehingga kontinyuitas penyaluran daya terjamin.



Gambar 2.5 Jaringan Distribusi Tipe Mesh [9]

2.2Klasifikasi Beban Tenaga Listrik

Sistem distribusi memiliki jenis beban yang beragam. Setiap beban memiliki karakteristik dan pola operasi yang berbeda-beda. PT. PLN (Persero) sebagai penyedia istrik di Indonesia, mengelompokkan beban ke dalam 4 jenis [10] diantaranya :

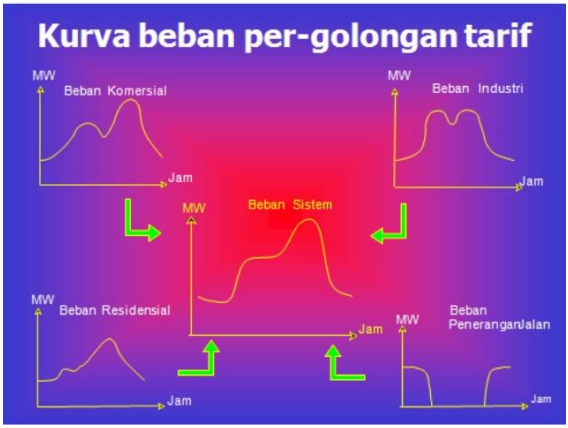
1. Beban Residensial
   Beban residensial atau beban rumah tangga pada umumnya meliputi beban berupa lampu untuk penerangan, peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, lemari es, penyejuk udara, pemanas air, dan sebagainya. Pemakaian daya beban rumah tangga dominan pada siang dan malam hari.
2. Beban Industrial
   Beban industrial adalah pemakai listrik yang memang khusus untuk menjalankan suatu usaha yang sellau membutuhkan listrik secara kontinyu. Beban industrial dibedakan dalam skala kecil dan skala besar. Untuk skala kecil, penggunaan listrik dominan pada siang hari sedangkan untuk industri besar banyak yang beroperasi hingga 24 jam. Pemakaian daya pada beban industri lebih merata, tidak jauh berbeda antara siang dengan malam karena banyak industri yang bekerja siang sampai malam.

3. Beban Komersial

   Beban komersial atau beban bisnis adalah pengguna listrk yang ditujukan untuk penunjang usaha, seperti perkantoran, hotel, mall, restoran, perkantoran. Beban ini dominan penggunaannya pada siang hari dan menurun ketika menjelang sore hari.

4. Beban Publik

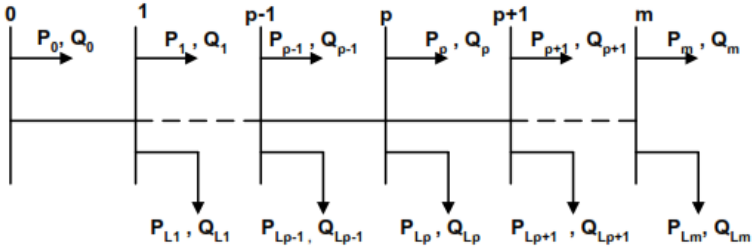
   Beban publik adalah pemakaian listrik untuk fasilitas-fasilitas umum seperti penerangan jalan (PJU), rumah sakit, kantor pemerintahan dan sebagainya. Untuk pembebanan fasilitas umum lebih dominan pada saat siang dan malam hari.



Gambar 2.6 Kurva Beban Per-Golongan Tarif [11]

2.3 Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Radial

Rekonfigurasi pada jaringan distribusi radial dilakukan untuk mencari solusi bentuk jaringan radial paling optimal yaitu dengan rugi-rugi daya (*Ploss*) yang minim dari sistem. Perhitungan total **Ploss** dijabarkan pada gambar 2.7 dan persamaan berikut.



Gambar 2.7 *Single Line Diagram* pada Penyulang [12]

Pada *single line diagram* gambar 2.7, persamaan aliran dayanya adalah,

$$P_{\mathrm{p+1}} = P_{\mathrm{p}} - P_{\mathrm{Lp+1}} - R_{p,p+1} \frac{(P_p{}^2 + Q_p{}^2)}{|V_p|^2} \tag{2.1}$$

$$Q_{\mathrm{p+1}} = Q_{\mathrm{p}} - Q_{\mathrm{Lp+1}} - R_{p,p+1} \frac{(P_p{}^2 + Q_p{}^2)}{|V_p|^2} \tag{2.2}$$

$$|V_{p+1}|^2 = |V_{p+1}|^2 - 2\left(R_{(p,p+1)}P_p + X_{(p,p+1)}Q_p\right) + \left(R^2{}_{(p,p+1)}P_p + X^2{}_{(p,p+1)}\right) \frac{(P_p{}^2 + Q_p{}^2)}{|V_p|^2} \tag{2.3}$$

P_{p} adalah nilai daya nyata yang keluar dari bus p

Q_{p} adalah nilai daya reaktif yang keluar dari bus p

P_{Lp} adalah nilai daya nyata beban pada bus p

Q_{Lp} adalah nilai daya reaktif beban pada bus p

$R_{p,p+1}$ adalah nilai resistansi pada saluran antar bus p dan p+1

$X_{p,p+1}$ adalah nilai reaktansi pada saluran antar bus p dan p+1

Besar rugi-rugi daya nyata antar bus p dan p+1 adalah,

$$P_{\mathrm{L,Loss(p,p+1)}} = R_{p,p+1} \frac{(P_p{}^2 + Q_p{}^2)}{|V_p|^2} \tag{2.4}$$

Besar total rugi-rugi daya nyata pada satu penyulang adalah,

$$P_{\text{Loss}} = \sum_{p=1}^{m} P_{\text{L,Loss(p,p+1)}} \tag{2.5}$$

Dimana P_{Loss} adalah total rugi-rugi daya pada sistem yang diperoleh dari penjumlahan rugi-rugi daya pada semua saluran dari penyulang.

2.4 Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya merupakan analisis aliran daya dalam suatu sistem terinterkoneksi yang dalam analisisnya dihitung tegangan tiap-tiap bus dan aliran daya pada tiap-tiap saluran. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui magnitude dan sudut fasa dari tegangan, daya aktif, daya reaktif reaktif, *line transfer* dan gangguan pada aliran daya suatu jaringan. Dalam mencari solusi pada permasalahan aliran daya, sistem diasumsikan untuk beroperasi pada kondisi underbalanced dan menggunakan model satu fasa. Empat variabel dijadikan tolak ukur dalam setiap bus, yaitu magnitude tegangan |Vj| , sudut fasa δ, daya nyata P, dan daya reaktif Q. Sistem bus diklasifikasikan dalam tiga jenis :

- *Slack/Swing Bus*
  Salah satu bus diketahui sebagai slack atau swing bus, yaitu bus referensi dimana magnitude dan sudut fasa dari tegangan terspesikasi. Bus ini memberikan perbedaan antara beban-beban yang tetap dan daya yang muncul yang disebabkan oleh rugi-rugi yang ada di jaringan.
- *Load Bus*
  Pada bus ini daya aktif dan reaktif terspesifikasi. Magnitude dan sudut fasa dari tegangan bus tidak diketahui.
- *Regulated Bus*
  Bus ini disebut juga dengan bus generator. Pada bus ini, daya nyata dan magnitude tegangan terspesifikasi. Sudut fasa dari tegangan dan daya ditentukan. Batas dari nilai daya reaktif juga ditentukan.

Metode yang biasa digunakan dalam analisis aliran daya adalah *node-voltage method*, dan persamaan dalam analisis ini berbentuk persamaan aljabar kompleks linier [13].

Aliran daya pada saluran i-j ditentukan sebagai berikut :

$S_{ij} = V_i I^*ij$

$= Vi \left[\frac{Vi-Vj}{Zij}\right]^*$

Zij = Impedansi saluran i-j

Impedansi dari saluran diubah menjadi matriks ybus atau admitansi bus dalam persamaannya (dalam satuan per unit / p.u pada basis MVA).

$Y_{ij} = \frac{1}{Zij} = \frac{1}{rij+jxij}$

$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus}$ (2.6)

I_{bus} =Vektor arus bus terinjeksi

V_{bus} = Vektor tegangan bus yang diukur dari node referensi

Y_{bus} = Bus admitansi matriks

$Y_{ii} = \sum_{j=0}^{n} Yij \quad j \neq i$ (2.7)

Elemen off-diagonal bernilai sama dengan negatif dari admitansi diantara nodes (*mutual admittance*)

$Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ij}$ (2.8)

Ketika arus dari bus diketahui persamaan (2.7) dapat terselesaikan untuk *n* tegangan bus

$V_{bus} = Y_{bus}^{-1} I_{bus}$ (2.9)

Invers dari matriks admitansi bus dinamakan impedansi matriks Z_{bus}'.

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk menyelesaikan iterasi persamaan aljabar non linear diantaranya adalah :

1. Metode *Newton Raphson*
2. Metode *Gauss-Seidel*
3. Metode *Fast Decouple*

2.5 Perhitungan dengan Metode Newton Raphson

Pada metode *Newton Raphson* jumlah iterasi yang diperlukan tidak bergantung pada besarnya sistem [13]. Persamaan aliran daya ditulis dalam bentuk polar. Persamaan arus dalam bus *i* ditulis dengan persamaan :

$$I_i = \sum_{j=1}^{n} Yij\ Vj \tag{2.10}$$

Dalam bentuk polar menjadi

$$\sum_{j=1}^{n} |Yij||Vj| \angle\ \theta_{ij} + \delta_j \tag{2.11}$$

Daya kompleks dari bus *i* adalah

$$P_i - jQ_i = V_i * I_i \tag{2.12}$$

Mensubtitusi persamaan (2.11) untuk I_i pada persamaan (2.12)

$$P_i - jQ_i = |Vi| \angle\ -\sigma_i \sum_{j=1}^{n} |Yij||Vj| \angle\ \theta_{ij} + \delta_j \tag{2.13}$$

Memisahkan bagian real dan imajiner,

$$P_i = \sum_{j=1}^{n} |Vi||Vj||Yij| \cos(\theta ij - \delta j + \delta i) \tag{2.14}$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^{n} |Vi||Vj||Yij| \cos(\theta ij - \delta j + \delta i) \tag{2.15}$$

Persamaan (2.14) dan (2.15) adalah satu set persamaan aljabar non linear dalam variabel bebas, magnitude tegangan dalam satu per unit, sudut fasa dalam radian. Terdapat dua persamaan untuk setiap l*oad bus* yaitu pada persamaan (2.14) dan (2.15), serta satu persamaan untuk setiap bus dengan tegangan yang terkontrol pada persamaan 2.14. Dengan menjabarkan persamaan (2.14) dan (2.15) menggunakan deret Taylor yaitu :

$$\frac{df(x)}{dx} \Delta x = \Delta f \tag{2.16}$$

Persamaan (2.14) dan (2.15) menjadi,

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2{}^{(k)} \\ \Delta P_n{}^{(k)} \\ \Delta Q_2{}^{(k)} \\ \Delta Q_n{}^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2}{}^{(k)} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n}{}^{(k)} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|}{}^{(k)} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_n|}{}^{(k)} \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2}{}^{(k)} & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n}{}^{(k)} & \frac{\partial P_n}{\partial |V_2|}{}^{(k)} & \frac{\partial P_n}{\partial |V_n|}{}^{(k)} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2}{}^{(k)} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n}{}^{(k)} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|}{}^{(k)} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_n|}{}^{(k)} \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2}{}^{(k)} & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n}{}^{(k)} & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_2|}{}^{(k)} & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_n|}{}^{(k)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \tag{2.17}$$

Pada persamaan diatas, bus I diasumsikan sebagai *slack bus*. Dilanjutkan dengan mengubah persamaan dengan elemen matriks Jacobian. Elemen-elemen dari matriks Jacobian adalah turunan parsial dari persamaan (2.14) dan (2.15). Secara singkat persamaan dapat diubah menjadi :

$$\begin{matrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{matrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \begin{matrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{matrix} \tag{2.18}$$

2.6 *Selective Particle Swarm Optimization (SPSO)*

Particle Swarm Optimization adalah optimisasi berbasis algoritma yang pertama kali diperkenalkan oleh Eberhart dan Kennedy [12]. Algoritma ini didefinisikan dengan pergerakan kolektif kumpulan burung atau gerombolan *swarm*. Setiap partikel (*swarm*) memiliki posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam ruang (*space*) tertentu dan mengingat posisi yang terbaik yang pernah dilalui (pengalaman pada setiap iterasi), sehingga posisi partikel akan semakin mengarah ke tempat yang dituju. Versi diskrit dari PSO dinamakan BPSO, yaitu memodifikasi *search space* menjadi *binary*. Modifikasi dari BPSO sendiri adalah *SPSO* dimana *search space* dapat ditentukan dan merupakan solusi zona terbaik [12].

Pada partikel *i*th dalam dimensi *search space* D, vektor posisi dan kecepatan direpresentasikan dengan $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, ...,x_{iD})$, $V_i = (v_{i1}, v_{i2},.....,v_{iD})$. Untuk posisi terbaik dari setiap individu direpresentasikan dengan p_{best}, $p_{besti} = (p_{i1}, p_{i2}, ...,p_{iD})$. Jika partikel g_{th} adalah yang terbaik dari semua partikel dalam suatu grup maka hasil yang diperoleh untuk seluruh partikel pada populasi direpresentasikan dengan $g_{best}=p_{best}$ $(p_{g1}, p_{g2}, ...,p_{gD})$.

Kecepatan dan posisi partikel menjadi :

$$v_{iD}^{k+1} = wv_{iD}^{k} + c_1 r_1(p_{bestiD}^{k} - x_{iD}^{k}) + c_2 r_2 (g_{bestiD}^{k} - x_{iD}^{k}) \quad (2.19)$$

$$x_{iD}^{k} = x_{iD}^{k} + v_{iD}^{k+1} \quad (2.20)$$

Dimana :

i = 1,2,3.....m;

w = inertia weight

c_1 dan c_2 = koefisien akselerasi

r_1 dan r_2 = nilai random dengan range [0,1]

Fungsi *weighting* dihitung dengan persamaan

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} * \text{iter} \quad (2.21)$$

w_{max}, w_{min} adalah inisial nilai *weight* dan nilai *final weight*;

$iter_{max}$ adalah jumlah iterasi maksimum;

iter adalah jumlah iterasi sekarang;

Pada *Binary PSO*, sigmoid transformasi diaplikasikan pada komponen kecepatan menjadi kecepatan dengan range [0,1] dan membuat lokasi dari partikel menjadi antara 0 dan 1.

$$\text{sig}\,(v_{iD}^{k+1}) = \frac{1}{1+\exp(-V_{iD}^{k+1})} \quad (2.22)$$

$$x_{iD}^{k+1} = \begin{cases} 1, if\ \sigma < \text{sig}\,(V_{iD}^{k+1}) \\ 0,\ \ if\ \sigma \geq \text{sig}\,(V_{iD}^{k+1}) \end{cases} \quad (2.23)$$

Modifikasi yang lebih sederhana dari *Binary PSO* yang diusulkan oleh Khalil dan Gorphinich adalah *Selective PSO* yaitu dengan membatasi pencarian pada *space* yang dipilih [14]. Pada *SPSO*, *search space* pada setiap dimensi D, S_D= [S_{D1}, S_{D2}, ..., S_{DN}] adalah set dari posisi DN dimana DN adalah nomor posisi yang dipilih pada dimensi D. Seperti pada PSO, *fitness function* F harus terdefinisi. Di *SPSO* hal tersebut memetakan setiap dimensi D dari posisi DN pada *selective space* S_D

dimana posisi dari setiap partikel telah berubah dari *real-valued space* menjadi sebuah titik pada *selective space*, sehingga sigmoid transformasi akan berubah menjadi persamaan (2.24), dan koordinat i-th dari setiap posisi partikel dalam sebuah dimensi d pada persamaan (2.25).

$$\text{sig}\,(\mathrm{v}_{\mathrm{iD}}{}^{\mathrm{k+1}}) = DN\,\frac{1}{1+\exp(-\mathrm{V}_{\mathrm{iD}^{k+1}})} \tag{2.24}$$

$$\mathrm{x}_{\mathrm{iD}}{}^{\mathrm{k+1}} = \begin{cases} s_{D1}\ if\ sig\left(\mathrm{v}_{\mathrm{iD}^{k+1}}\right) < 1 \\ s_{D2}\ if\ sig\left(\mathrm{v}_{\mathrm{iD}^{k+1}}\right) < 2 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots. \\ s_{DN}\ if\ sig\left(\mathrm{v}_{\mathrm{iD}^{k+1}}\right) \leq DN \end{cases} \tag{2.25}$$

Nilai kecepatan dari partikel bergantung dari nilai minimum dan maksimum [$\mathrm{v}_{\mathrm{min}}$, $\mathrm{v}_{\mathrm{max}}$] pada persamaan

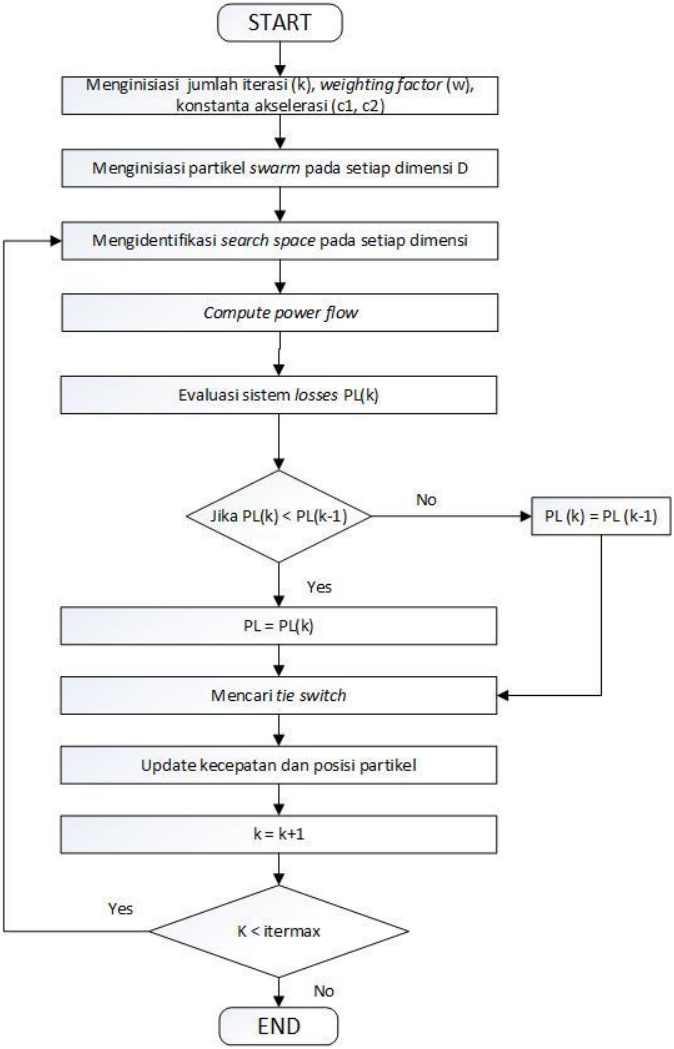
$$\mathrm{v}_{\mathrm{iD}}{}^{\mathrm{k+1}} = \begin{cases} v_{max}\ if\ \mathrm{v}_{\mathrm{iD}^{k+1}} > v_{max} \\ \mathrm{v}_{\mathrm{iD}^{k+1}}\ if\ |\mathrm{v}_{\mathrm{iD}^{k+1}}| \leq v_{max} \\ v_{min}\ if\ \mathrm{v}_{\mathrm{iD}^{k+1}} \leq v_{min} \end{cases} \tag{2.26}$$

Untuk menghindari invariabilitas dari nilai i-th kecepatan partikel dalam dimensi-d pada nilai maksium dan minimum maka dibuat persamaan

$$\mathrm{v}_{\mathrm{iD}}{}^{\mathrm{k+1}} = \begin{cases} rand * \mathrm{v}_{\mathrm{iD}^{k+1}}\ if\ \left|\mathrm{v}_{\mathrm{iD}^{k+1}}\right| = |\mathrm{v}_{\mathrm{iD}^{k}}| \\ \mathrm{v}_{\mathrm{iD}^{k+1}}\ otherwise \end{cases} \tag{2.27}$$

Secara garis besar urutan penggunaan *SPSO* pada rekonfigurasi ini adalah :

1. Menentukan jumlah dimensi.
   Untuk menentukan jumlah dimensi dari jaringan, maka semua *tie switch* akan ditutup sehingga akan tercipta sejumlah loop. Banyaknya dimensi akan sesuai dengan banyaknya loop pada jaringan.
2. Untuk mengidentifikasi *search space* pada setiap dimensi.
3. Menemukan solusi optimal dari *search space* menggunakan *SPSO*.



Gambar 2.8 Diagram Alir *SPSO*

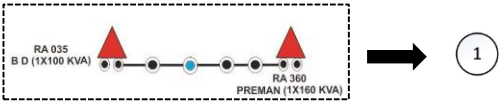
BAB 3
PEMODELAN SISTEM

3.1 Pemodelan Jaringan Distribusi

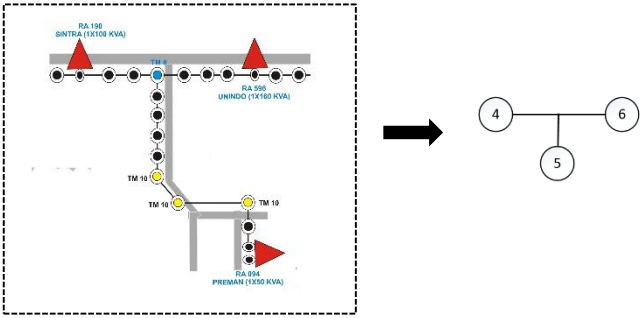
Sistem jaringan distribusi yang dijadikan penelitian pada Tugas Akhir ini adalah jaringan distribusi pada PT. PLN (Persero) ULP Menganti Gresik, yang terdiri dari Penyulang Domas yang disuplai oleh Gardu Induk Kasih Jatim, Penyulang An Nur yang disuplai oleh Gardu Induk Krian (Sumput) dan Penyulang Cahaya Baru yang disuplai oleh Gardu Induk Karang Pilang. Ketiga penyulang ini dipilih karena saling terinterkoneksi satu dengan lainnya, jaraknya yang memungkinkan untuk dipasang *tie switch*, dan dapat didesain sebagai *multiloop circuit*, sehingga dapat disimulasikan dengan menggunakan metode *SPSO*. Pemodelan dilakukan dengan membagi gardu induk dan beban-beban setiap penyulang menjadi beberapa bus. Untuk tiga gardu induk dimisalkan menjadi *Generator Bus* yang berjumlah 3 bus, dan untuk Gardu Distribusi (Gardu Transformator Distribusi, Gardu Transformator Khusus dan Gardu Beton) dimisalkan menjadi *Load Bus*.

3.1.1 Pemodelan Sistem 63 Bus

Total bus pada pemodelan jaringan distribusi ini berjumlah 63 bus. Gardu Distribusi yang dimisalkan sebagai *load bus* membuat kecenderungan jumlah load bus menjadi lebih banyak. Dikarenakan penyelesaian aliran daya dengan bantuan *software* memiliki keterbatasan jumlah bus maksimum, maka beberapa gardu distribusi dikelompokkan menjadi 1 bus yang sama pada jarak yang dekat (kurang dari 1 km). Ilustrasi dapat dilihat seperti gambar 3.1 dan 3.2.



Gambar 3.1 Ilustrasi Pengelompokkan Bus (a)

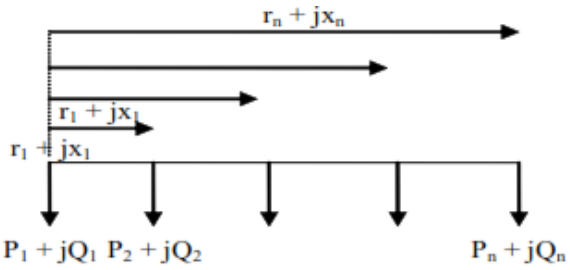


Gambar 3.2 Ilustrasi Pengelompokkan Bus (b)

Pada gambar 3.1, kedua gardu distribusi RA035 dan RA360 karena jaraknya berdekatan antar tiang, maka dapat dijadikan 1 bus yaitu bus 1. Dan pada gambar 3.2 pengelompokkan gardu distribusi RA190, RA094, RA596 dapat dijadikan 3 bus terpisah yaitu bus 4, bus 5 dan bus 6. Dengan pengelompokkan beban seperti diatas membuat perhitungan aliran daya menjadi tidak riil, sehingga dibutuhkan perhitungan untuk pendistribusian beban terpusat yang dapat mewakili beban tersebar.

Beban-beban yang tersebar dalam sistem distribusi bentuknya tersebar dan tidak seragam pada suatu daerah, sehingga pada pemodelan kali ini beban-beban tersebut diwakili oleh kelompok beban terpusat pada suatu titik. Dengan beban terpusat ini, penyelesaian aliran dayanya menjadi lebih mudah. Mengacu pada referensi [15], pemodelan titik pusat beban adalah sebagai berikut. Sebagai permisalan, beban-beban $P_1 + \mathrm{J}Q_1$, $P_2 + \mathrm{J}Q_2$,... $P_n + \mathrm{J}Q_n$ mempunyai panjang saluran untuk setiap beban adalah $R_1 + \mathrm{J}X_1$, $R_2 + \mathrm{J}X_2$,... $R_n + \mathrm{J}X_n$, maka asumsi yang perlu didefinisikan adalah:

$$(P_1 + \mathrm{J}Q_1), (P_2 + \mathrm{J}Q_2),\ldots (P_n + \mathrm{J}Q_n) = \sum_{k=1}^{n}(P_k + \mathrm{J}Q_k) = (P_t + \mathrm{J}Q_t)$$



Gambar 3.3 Implementasi Titik Pusat Massa pada Pemodelan [15]

Sehingga dipusatkan di satu titik $\overline{R + JX}$, maka :

$(P_1 + JQ_1)(R_1 + JX_1)$+$(P_2 + JQ_2)(R_2 + JX_2)$+... $(P_n + JQ_n)(R_n + JX_n,) = \sum_{k=1}^{n}(P_k + JQ_k)\,(R_k + JX_k)$

Dengan demikian didapatkan titik pusat massa $\overline{R + JX}$ adalah :

$$(\overline{R + JX}\,) = \frac{\sum_{k=1}^{n}(P_k + JQ_k)(R_k + JX_k)}{\sum_{k=1}^{n}(P_k + JQ_k)}$$

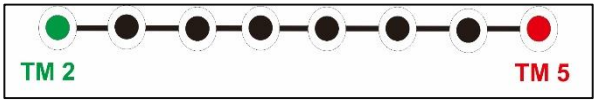
Dengan:

$(P_k + JQ_k)$ = beban setiap bus

$(R_k + JX_k)$ = panjang saluran antar beban

Dari sini didapatkan jarak kelompok beban terpusat.

Untuk parameter jarak saluran udara tegangan menengah pada setiap bus, dihitung dengan menggunakan parameter tiang. Setiap tiang atau jarak antar gawang bernilai 50 meter ditambah andongan dari SUTM menjadi 50,6 meter. Sehingga didapatkan nilai panjang saluran udara tegangan menengah dan dapat dihitung resistansi dan impedansinya. Seperti ilustrasi pada gambar 3.4, jarak dari TM 2 (Tiang Tegangan Menengah Jenis Konstruksi 2) ke TM 5 (Tiang Tegangan Menengah Jenis Konstruksi 5) sebanyak 7 gawang, sehingga panjang SUTMnya sebesar 7 gawang x 50,6 = 354,2 meter.



Gambar 3.4 Ilustrasi Perhitungan Panjang SUTM

3.1.2 Pemodelan Jaringan Distribusi dengan SPSO

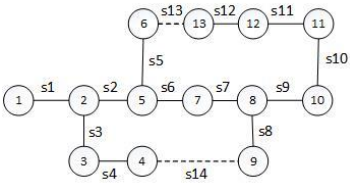
Pemodelan jaringan distribusi menggunakan metode *Selective Particle Swarm Optimization* (*SPSO*). Simulasi dilakukan menggunakan software MATLAB R2016b dengan tahapan penyelesaian rekonfigurasi sebagai berikut :

1. ***Menentukan Jumlah Dimensi***

   Jaringan distribusi didesain sebagai *multiloop circuit* tetapi dijalankan dalam loop terbuka untuk memastikan jaringan dalam bentuk radial. *Tie switch* dianggap tertutup sehingga akan tercipta sejumlah loop. Jumlah loop sama dengan jumlah dimensi pada jaringan.

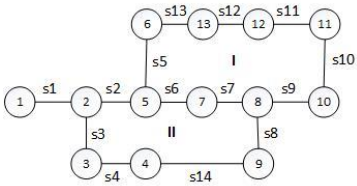
2. ***Mengidentifikasi Search Space pada Setiap Dimensi***

   Search space dalam setiap dimensi adalah kumpulan percabangan atau *switch* yang ada dalam satu loop. Ilustrasi akan dijelaskan pada gambar 3.5 dan 3.6. Pada sistem berikut memiliki 13 bus, 14 cabang dan 2 *tie switch*.



Gambar 3.5 Ilustrasi Model Jaringan Distribusi (a)

Dengan menutup 2 *tie switch* yaitu *switch* 13 dan *switch* 14 maka akan membentuk 2 loop, sehingga terdapat 2 dimensi. Seperti yang tertera pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Ilustrasi Model Jaringan Distribusi (b)

Percabangan yang tidak termasuk dalam loop, maka tidak termasuk dalam *search space*. *Search space* pada masing-masing dimensi direpresentasikan dalam 2 loop yaitu d1 = [s5, s6, s7, s9, s10, s11, s12, s13] dan d2 = [s2, s3, s4, s8, s14]. Cabang s6 dan s7 masuk dalam 2 dimensi, sehingga 2 percabangan ini hanya akan muncul pada satu dimensi saja.

3. **Mencari Solusi Optimal dengan *SPSO***

Setelah tahap 1 dan 2 dilakukan maka akan didapat dimensi dan *search space* pada tiap dimensi, lalu *SPSO* dapat dilakukan untuk mendapatkan solusi optimal dengan tahapan seperti pada gambar 2.8.

Tahap awal dimulai dengan menginisiasi jumlah iterasi (k), *weighting factor* (w), dan *acceleration constant* (c1, c2). Selanjutnya dilakukan inisiasi nilai partikel *swarm* sesuai dengan dimensi dengan inisial posisi dan kecepatan. Setelah itu dilakukan identifikasi pada *search space* tiap dimensi secara random dan dilakukan perhitungan aliran daya. Perhitungan aliran daya dilakukan dengan menggunakan metode *Newton Raphson* yang pada simulasi ini digunakan MATPOWER 6.0. Langkah berikutnya adalah evaluasi *losses* dan pencarian *tie switch*. Lalu update posisi dan kecepatan pada setiap d-dimensi dan i-th partikel, dilanjutkan dengan update nilai k sehingga mencapai iterasi maksimum dan diperoleh hasil *losses* minimal pada jaringan.

Switch yang tidak termasuk dalam *search space* pada suatu dimensi, tidak akan keluar sebagai solusi optimasi algoritma. *Switch* hanya muncul pada satu dimensi, sehingga tidak ada *switch* yang sama pada dimensi yang berbeda. *Search space* pada setiap dimensi akan dipilih yang paling optimal dengan *SPSO*, sehingga akan menjadi solusi optimal dalam pemilihan *tie switch*.

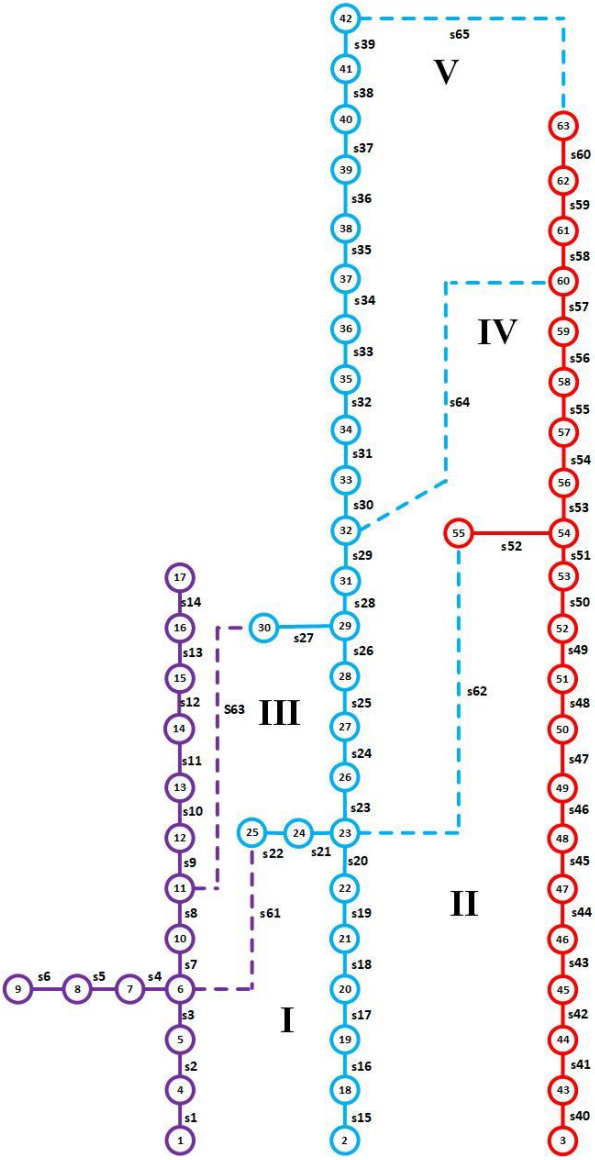
3.1.3 Batasan-batasan (*Constraint*)

Batasan-batasan (*constraint*) digunakan untuk mendapatkan hasil yang optimal. Jika batasan ini dilanggar maka hasilnya bukanlah hasil yang paling optimal. Pada simulasi ini menggunakan batasan bahwa jaringan setelah direkonfigurasi harus tetap memiliki topologi radial.

3.2 Data dan Simulasi Jaringan Distribusi

Untuk data dan simulasi pada jaringan distribusi ini, ketiga Gardu Induk berperan sebagai *Generator Bus* dimana sudut fasa dan tegangannya terspesifikasi, sedangkan daya aktif dan reaktifnya dihitung. Untuk beban-beban berperan sebagai *Load Bus* (P-Q Bus) dimana daya aktif dan reaktif terspesifikasi, sedangkan magnitude dan sudut fasa dari tegangan *load bus* ini dihitung. Pada beban-beban di jaringan ini, kapasitas beban disesuaikan saat rata-rata waktu beban puncak (WBP) siang dan malam hari dan saat WBP Tertinggi yang pernah terjadi pada penyulang dengan cos φ sebesar 0,85.

Sistem 63 bus dari penyulang Domas, An Nur dan Cahaya Baru ini mempunyai tegangan 20 kV, 63 Bus, 65 Cabang dan 5 *Tie Switch* seperti yang tertera pada gambar 3.7. Dengan keterangan Penyulang Domas berwarna ungu, Penyulang An Nur berwarna biru dan Penyulang Cahaya Baru berwarna merah.



Gambar 3.7 *Single Line Diagram 63 Bus*

Sistem terdiri dari 60 *sectionalizing switch* (*normally closed*) dan 5 *tie switch* (*normally open*). Kelima *tie switch* tersebut adalah s61, s62, s63, s64, s65. Garis lurus pada gambar 3.7 menunjukkan *sectionalizing switch* dan garis putus-putus merepresentasikan *tie switch*.

Pada penjelasan sebelumnya sudah dijelaskan bahwa terdapat lima loop saat menutup 5 *tie switch*, maka dari itu dimensi dari sistem 63 bus ini berjumlah 5. Untuk *switch* S9, S10, S11, S12, S13, S14, S30, S31, S32, S33, S34, S35, S36, S37, S38, S39, S58, S59, S60 tidak berada dalam loop manapun, karena tidak digunakan untuk mencari solusi optimal dengan *SPSO*. Tabel 3.1 menunjukkan loop dari sistem 63 bus.

Tabel 3.1 Loop dari Sistem Distribusi 63 Bus

LOOP	DIMENSI	*SWITCH*
I	S_{D1}	S1, S2, S3, S15, S16, S17, 18, S19, S20, S21, S22
II	S_{D2}	S40, S41, S42, S43, S45, S46, S47, S48, S49, S50, S51, S52, S62
III	S_{D3}	S7, S8, S23, S24, S25, S26, S27, S63
IV	S_{D4}	S53, S54, S55, S56, S57, S64
V	S_{D5}	S30, S31, S32, S33, S34, S35, S36, S37, S38, S39, S58, S59, S60, S65

Pemodelan loop ini dilakukan dengan pertimbangan setiap bus terletak pada jarak yang berdekatan, dan dengan kondisi yang memungkinkan untuk dipasang *tie switch.* Pada loop I, bus 6 dengan bus 25 memiliki jarak 0,75 km. Pada loop II bus 23 letaknya berada dibawah bus 55 (kondisi jaringan An Nur terletak dibawah jaringan Cahaya Baru). Pada loop III, bus 11 dengan bus 30 memiliki jarak 0,7 km. Pada loop IV, bus 32 terletak berseberangan dengan bus 60. Pada loop V, bus 40, 41 dan 42 terletak dibawah bus 61, 62 dan 63 (kondisi jaringan An Nur berada dibawah jaringan Cahaya Baru). Pemilihan *tie switch* antara bus 42 dengan bus 63, dikarenakan dalam loop V kemungkinan *tie switch* berada di s39 adalah yang paling memungkinkan diantara switch yang lain. Kapasitas beban pada bus 42 lebih kecil dibanding dengan bus 40 dan 41, sehingga dengan menggunakan metode *SPSO*, bus tersebut memungkinkan untuk dipindah ke penyulang Cahaya Baru.

Data untuk *Generator Bus* dapat dilihat pada tabel 3.2. Dengan nilai VG (*voltage magnitude set point*) bernilai 1 p.u.

Tabel 3.2 Data *Generator Bus* pada Sistem Distribusi 63 Bus

Bus	VG (p.u)	Base MVA
1	1	100
2	1	100
3	1	100

Untuk nilai impedansi pada percabangan setiap bus, ditulis dalam bentuk p.u. Perhitungan dilakukan seperti berikut :

$$\text{Zbase} = \frac{(kVBaseLL)^2}{Base\ MVA\ 3\theta} = \frac{20^2}{100} = 4$$

$$\text{Zpu} = \frac{Zactual}{Zbase}$$

Dengan nilai Zactual bernilai Z=0,2162+j0,3305 Ω yang didapat dari impedansi positif kabel A3C 150 mm^2, lalu dimasukkan pada persamaan 2 dan dikalikan sesuai panjang SUTM. Sehingga didapatkan data seperti pada tabel :

Tabel 3.3 Data *Branch* pada Sistem Distribusi 63 Bus

Nomor *Branch*	Dari Bus	Menuju Bus	R (p.u)	X (p.u)
1	1	4	0,306	0,468
2	4	5	0,052	0,079
3	5	6	0,06	0,092
4	6	7	0,057	0,088
5	7	8	0,055	0,084
6	8	9	0,068	0,105
7	6	10	0,104	0,159
8	10	11	0,066	0,1
9	11	12	0,046	0,071
10	12	13	0,052	0,079
11	13	14	0,079	0,121
12	14	15	0,044	0,067
13	15	16	0,088	0,134
14	16	17	0,066	0,1

Tabel 3.3 Data *Branch* pada Sistem Distribusi 63 Bus (lanjutan)

Nomor *Branch*	**Dari Bus**	**Menuju Bus**	**R** (p.u)	**X (p.u)**
15	2	18	0,328	0,502
16	18	19	0,074	0,113
17	19	20	0,09	0,138
18	20	21	0,046	0,071
19	21	22	0,033	0,05
20	22	23	0,055	0,084
21	23	24	0,049	0,075
22	24	25	0,049	0,075
23	23	26	0,046	0,071
24	26	27	0,044	0,067
25	27	28	0,025	0,038
26	28	29	0,068	0,105
27	29	30	0,066	0,1
28	29	31	0,077	0,117
29	31	32	0,044	0,067
30	32	33	0,082	0,125
31	33	34	0,088	0,134
32	34	35	0,044	0,067
33	35	36	0,085	0,13
34	36	37	0,046	0,071
35	37	38	0,052	0,079
36	38	39	0,019	0,029
37	39	40	0,027	0,042
38	40	41	0,03	0,046
39	41	42	0,041	0,063
40	3	43	0,033	0,05
41	43	44	0,057	0,088
42	44	45	0,057	0,088
43	45	46	0,068	0,105
44	46	47	0,077	0,117
45	47	48	0,074	0,112
46	48	49	0,057	0,088
47	49	50	0,068	0,104

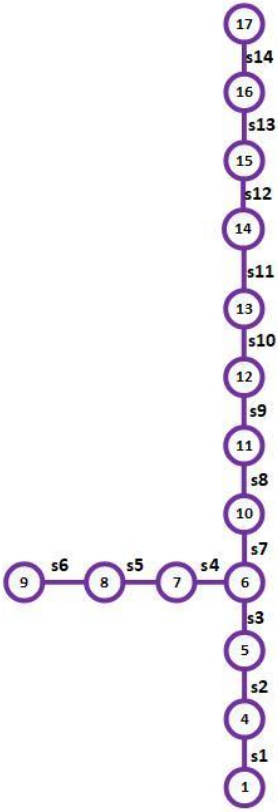
Tabel 3.3 Data *Branch* pada Sistem Distribusi 63 Bus (lanjutan)

Nomor *Branch*	**Dari Bus**	**Menuju Bus**	**R** (p.u)	**X (p.u)**
48	50	51	0,044	0,067
49	51	52	0,183	0,28
50	52	53	0,074	0,112
51	53	54	0,074	0,112
52	54	55	0,153	0,234
53	54	56	0,167	0,255
54	56	57	0,041	0,063
55	57	58	0,044	0,033
56	58	59	0,027	0,042
57	59	60	0,036	0,058
58	60	61	0,022	0,033
59	61	62	0,161	0,247
60	62	63	0,016	0,025
61	6	25	0,041	0,063
62	23	55	0,043	0,067
63	11	30	0,038	0,059
64	32	60	0,005	0,008
65	42	63	0,016	0,025

Untuk data pembebanan setiap bus, nilai Vm atau magnitude tegangan dari bus tersebut bernilai 1 p.u dengan Tegangan Base (Base KV) adalah tegangan *line to line* dalam jaringan tegangan menengah yaitu 20 kV. Data pembebananan dapat dilihat pada sub bab selanjutnnya pada setiap penyulang.

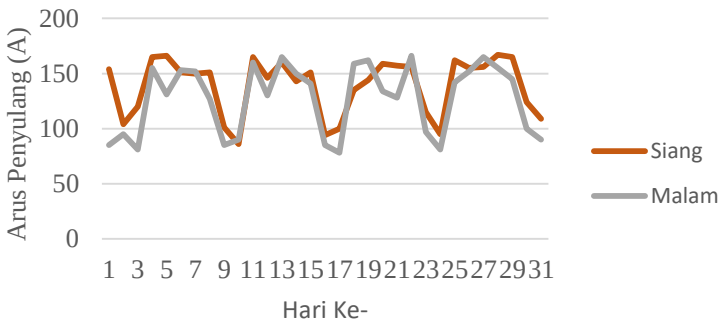
3.2.1 Penyulang Domas

Penyulang Domas merupakan jaringan distribusi 20 kV yang disuplai oleh Gardu Induk Kasih Jatim. Penyulang ini memiliki SUTM sepanjang 27,05 KMS. *Single Line Diagram* dari Penyulang Domas dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Single Line Diagram* Penyulang Domas

Jenis pelanggan pada penyulang ini adalah pelanggan industri. Berikut adalah data pembebanan penyulang Domas saat waktu beban puncak (WBP) siang dan malam hari pada bulan Maret 2019.



Gambar 3.9 WBP Siang dan Malam Hari Penyulang Domas

(Sumber : Data PT. PLN Distribusi Jawa Timur, 2019)

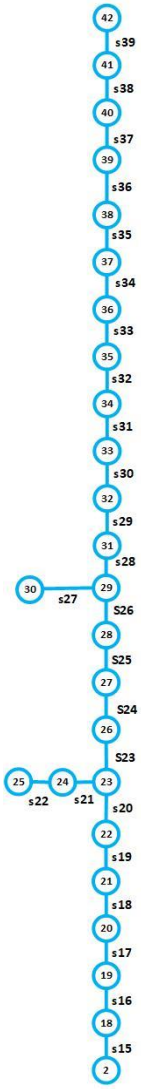
Dari data beban tersebut didapatkan rata-rata arus pembebanan pada WBP siang dan malam hari sebesar 132 A dan arus tertinggi pada penyulang yang pernah dicapai sebesar 167 A. Berikut adalah data pembebanan saat arus penyulang 132 A atau pada saat rata-rata WBP siang dan malam hari dan 167 A atau pada saat arus tertinggi.

Tabel 3.4 Data Pembebanan Penyulang Domas saat Rata-Rata WBP dan WBP Tertinggi

	WBP RATA-RATA		**WBP TERTINGGI**	
NO BUS	**P (KW)**	**Q (VAR)**	**P (KW)**	**Q (KVAR)**
4	85	52,7	107,1	66,4
5	127,5	79,05	106,65	99,6
6	0	0	0	0
7	327,25	202,9	412,34	255,65
8	289	179,18	364,14	225,77
9	195,5	121,21	246,33	152,73
10	148,75	92,23	187,42	116,2
11	110,5	68,51	139,23	86,32
12	106,25	65,88	133,88	83
13	139,4	86,43	175,64	108,9
14	238	147,56	299,88	185,93
15	255	158,1	321,3	199,21
16	1649	1022,38	2077,4	1288,2
17	235,875	146,24	297,2	184,27
TOTAL	3,9 MW	2,21 MVAR	4,92 MW	2,8 MVAR

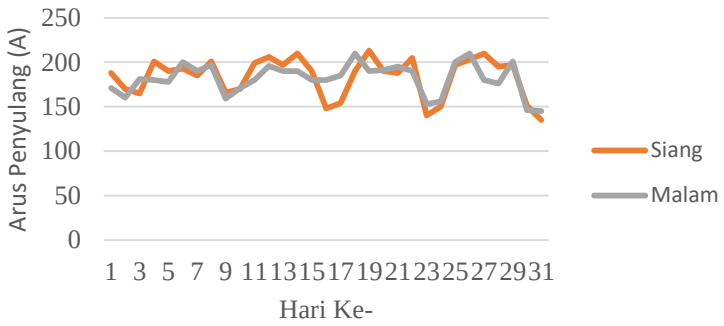
3.2.2 Penyulang An Nur

Penyulang An Nur merupakan jaringan distribusi 20 kV yang disuplai oleh Gardu Induk Krian. Penyulang ini memiliki SUTM sepanjang 35,4 KMS. *Single Line Diagram* dari Penyulang An Nur dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 *Single Line Diagram* Penyulang An Nur

Jenis pelanggan pada penyulang ini adalah pelanggan industri. Berikut adalah data pembebanan Penyulang An Nur saat WBP Siang dan Malam pada Bulan Maret 2019.



Gambar 3.11 WBP Siang dan Malam Hari Penyulang An Nur

(Sumber : Data PT. PLN Distribusi Jawa Timur, 2019)

Dari data beban tersebut didapatkan rata-rata arus pembebanan pada WBP siang dan malam hari sebesar 183 A dan arus tertinggi pada penyulang yang pernah dicapai sebesar 220 A. Berikut adalah data pembebanan saat arus penyulang 183 A atau pada saat rata-rata WBP siang dan malam hari dan 220 A atau pada saat arus tertinggi.

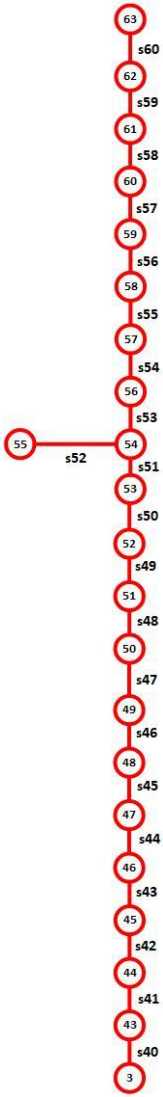
Tabel 3.5 Data Pembebanan Penyulang An Nur saat Rata-Rata WBP dan WBP Tertinggi

	WBP RATA-RATA		WBP TERTINGGI	
NO BUS	**P (KW)**	**Q (KVAR)**	**P (KW)**	**Q (KVAR)**
18	127,5	79,05	147,9	91,7
19	374	231,88	433,84	269
20	85	52,7	98,6	61,13
21	191,25	65,88	221,85	76,43
22	212,5	131,75	246,5	152,83
23	153	94,86	177,48	110,04
24	667,25	413,7	774,01	479,89
25	42,5	26,35	49,3	30,57
26	42,5	26,35	49,3	30,57
27	85	52,7	98,6	61,132
28	148,75	92,23	172,55	106,98
29	297,5	184,45	345,1	213,96
30	195,5	121,21	226,78	140,6
31	136	84,32	157,76	97,81
32	0	0	0	0
33	323	200,26	374,68	232,30
34	306	189,72	354,96	220,07
35	153	94,86	177,48	110,04
36	170	105,4	197,2	122,26
37	110,5	68,51	128,18	79,47
38	476	295,12	552,16	342,34
39	510	316,2	591,6	366,8
40	153	94,86	177,48	110,04
41	386,75	239,78	448,63	278,15
42	68	42,16	78,88	48,90
TOTAL	5,41 MW	3,3 MVAR	6,28 MW	3,83 MVAR

3.2.3 Penyulang Cahaya Baru

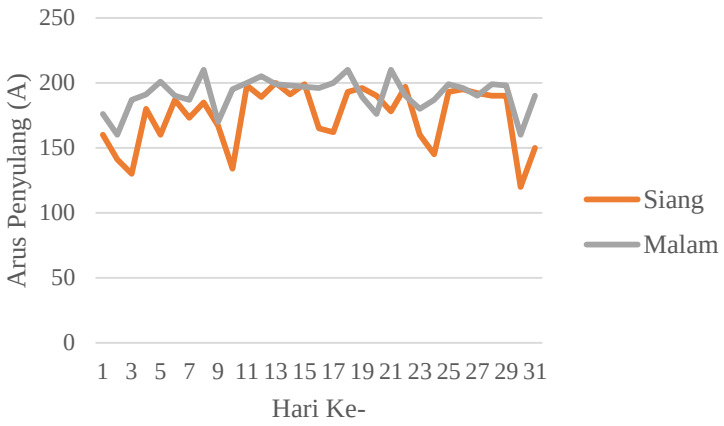
Penyulang Cahaya Baru merupakan jaringan distribusi 20 kV yang disuplai oleh Gardu Induk Karang Pilang. Penyulang ini memiliki SUTM

sepanjang 33,05 KMS. *Single Line Diagram* dari Penyulang Cahaya Baru dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 *Single Line Diagram* Penyulang Cahaya Baru

Jenis pelanggan pada penyulang ini adalah pelanggan rumah tangga. Berikut adalah data pembebanan penyulang Cahaya Baru saat WBP Siang dan Malam hari pada Bulan Maret 2019.



Gambar 3.13 WBP Siang dan Malam Hari Penyulang Cahaya Baru

(Sumber : Data PT. PLN Distribusi Jawa Timur, 2019)

Dari data beban tersebut didapatkan rata-rata arus pembebanan pada WBP siang dan malam hari sebesar 183 A dan arus tertinggi pada penyulang yang pernah dicapai sebesar 210 A. Berikut adalah data pembebanan saat arus penyulang 183 A atau pada saat rata-rata WBP siang dan malam hari dan 210 A atau pada saat arus tertinggi.

Tabel 3.6 Data Pembebanan Penyulang Cahaya Baru saat Rata-Rata WBP dan WBP Tertinggi.

	WBP RATA-RATA		**WBP TERTINGGI**	
NO BUS	**P (KW)**	**Q (KVAR)**	**P (KW)**	**Q (KVAR)**
43	265,2	164,42	303,88	188,40
44	212,16	131,54	243,1	150,72
45	212,16	131,54	243,1	150,72
46	212,16	131,54	243,1	150,72
47	171,36	106,24	196,35	121,74
48	163,2	101,18	187	115,94
49	163,2	101,18	187	115,94
50	81,6	50,59	93,5	57,97
51	252,96	156,83	289,85	179,70
52	342,72	212,48	392,7	243,47
53	130,56	80,95	149,6	92,75
54	265,2	164,42	303,88	188,40
55	65,28	40,47	74,8	46,38
56	40,8	25,3	46,75	28,98
57	81,6	50,6	93,5	57,97
58	310,08	192,25	355,3	220,29
59	269,28	166,95	308,55	191,30
60	0	0	0	0
61	675,24	418,65	773,71	479,70
62	1130,16	700,7	1294,97	802,88
63	367,2	227,66	420,75	260,86
TOTAL	5,41 MW	3,35 MVAR	6,2 MW	3,84 MVAR

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi Sistem Jaringan Distribusi 63 Bus

Dalam sub-bab ini, akan ditampilkan hasil pemodelan dan simulasi sistem sebelum dan sesudah rekonfigurasi jaringan. Seperti yang sudah dijelaskan pada bab III, sistem terdiri dari 63 bus dengan 5 *tie switch*. Hasil dari simulasi ini adalah bentuk konfigurasi jaringan yang baru untuk mendapatkan rugi-rugi daya yang minimum.

4.1.1 Kondisi Sistem Sebelum Dilakukan Rekonfigurasi Jaringan

Sistem jaringan distribusi 63 bus disimulasikan dalam 2 kondisi pembebanan, yaitu pada saat beban rata-rata WBP siang dan malam hari serta saat WBP tertinggi. *Single Line Diagram* sebelum dilakukan rekonfigurasi jaringan dapat dilihat pada gambar 3.7. Setelah disimulasikan, kondisi sistem sebelum dilakukan rekonfigurasi jaringan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Sebelum Rekonfigurasi Jaringan

Kondisi	***Tie Switch***	***Ploss* (kW)**	**Tegangan Minimal (p.u.)**
WBP Rata-Rata	S61, S62, S63, S64, S65	790,0614	0,89036 (bus 42)
WBP Tertinggi	S61, S62, S63, S64, S65	1125, 717	0.8701 (bus 42)

Dengan penjabaran kapasitas setiap penyulang pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kapasitas Total Pembebanan pada Penyulang Sebelum Rekonfigurasi

WBP Rata-Rata	**Penyulang Domas**	**Penyulang An Nur**	**Penyulang Cahaya Baru**
P+JQ	3,9+J2,22 (4,6 MVA)	5,41+J3,3 (6,34 MVA)	5,41+J3,36 (6,36 MVA)
WBP Tertinggi	**Penyulang Domas**	**Penyulang An Nur**	**Penyulang Cahaya Baru**
P+JQ	4,92+J2,8 (5,8 MVA)	6,28+J3,83 (7,36 MVA)	6,2+J3,84 (7,3 MVA)

Untuk hasil perhitungan rugi-rugi daya nyata dan tegangan dapat dilihat pada tabel 4.3 dan 4.4.

Tabel 4.3 Besar Rugi-Rugi Daya Nyata Sebelum Rekonfigurasi

	WBP Rata-Rata	**WBP Tertinggi**
No Branch	**Rugi Daya (kW)**	**Rugi Daya (kW)**
1	71,594	117,054
2	11,636	19,031
3	12,608	20,629
4	0,563	0,911
5	0,191	0,31
6	0,039	0,063
7	13,381	21,953
8	7,615	12,499
9	4,972	8,164
10	5,121	8,41
11	6,981	11,469
12	3,123	5,132
13	4,849	7,972
14	0,057	0,094
15	158,305	220,728
16	34,037	47,482
17	36,138	50,479
18	17,999	25,147

Tabel 4.3 Besar Rugi-Rugi Daya Nyata Sebelum Rekonfigurasi (lanjutan)

	WBP Rata-Rata	**WBP Tertinggi**
No Branch	**Rugi Daya (kW)**	**Rugi Daya (kW)**
19	11,864	16,585
20	18,055	25,255
21	0,397	0,55
22	0,002	0,002
23	10,07	14,122
24	9,259	12,987
25	4,966	6,967
26	12,653	17,759
27	0,042	0,058
28	10,31	14,492
29	5,342	7,511
30	10,015	14,083
31	8,269	11,636
32	3,129	4,405
33	5,188	7,306
34	2,355	3,316
35	2,302	3,243
36	0,418	0,588
37	0,177	0,249
38	0,109	0,154
39	0,004	0,005
40	15,348	20,66
41	24,456	32,958
42	22,604	30,489
43	24,777	33,451
44	25,445	34,385
45	19,421	26,262
46	16,484	22,305
47	16,729	22,651
48	8,391	11,364
49	41,225	55,885
50	11,698	15,873
51	11,762	15,964

Tabel 4.3 Besar Rugi-Rugi Daya Nyata Sebelum Rekonfigurasi (lanjutan)

	WBP Rata-Rata	**WBP Tertinggi**
No Branch	**Rugi Daya (kW)**	**Rugi Daya (kW)**
52	0,011	0,015
53	23,19	31,503
54	5,544	7,532
55	5,581	7,582
56	2,751	3,739
57	2,617	3,558
58	1,745	2,372
59	6,134	8,344
60	0,038	0,051
61	0	0
62	0	0
63	0	0
64	0	0
65	0	0

Tabel 4.4 Besar Tegangan setiap Bus Sebelum Rekonfigurasi

WBP Rata-Rata		**WBP Tertinggi**
Penyulang Domas		**Penyulang Domas**
No Bus	**Tegangan (p.u)**	**Tegangan (p.u)**
1	1	1
4	0,975	0,968
5	0,971	0,963
6	0,967	0,957
7	0,966	0,956
8	0,965	0,955
9	0,965	0,955
10	0,960	0,949
11	0,957	0,945
12	0,954	0,941
13	0,951	0,938
14	0,948	0,933
15	0,946	0,930

Tabel 4.4 Besar Tegangan setiap Bus Sebelum Rekonfigurasi (lanjutan)

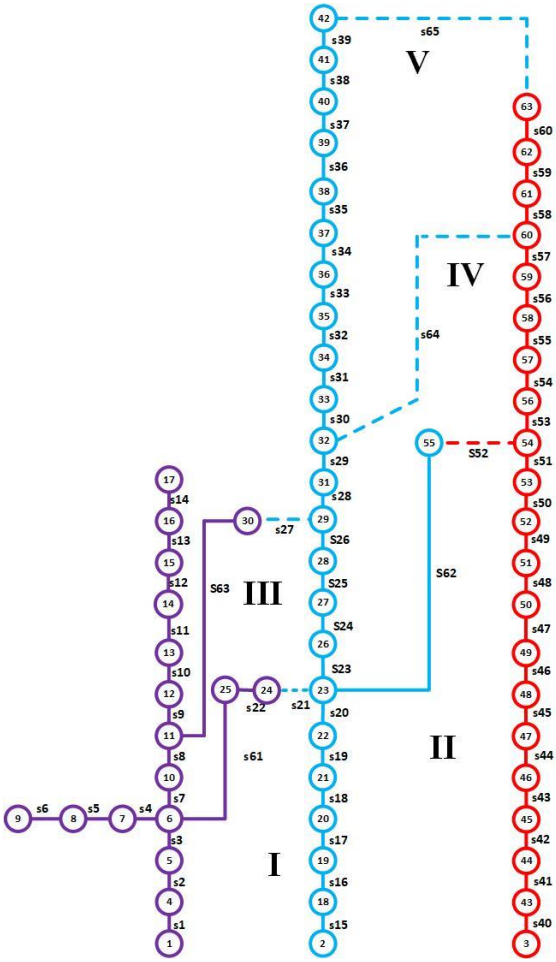
WBP Rata-Rata		WBP Tertinggi
Penyulang Domas		Penyulang Domas
No Bus	**Tegangan (p.u)**	**Tegangan (p.u)**
16	0,942	0,926
17	0,942	0,926
Penyulang An Nur		**Penyulang An Nur**
No Bus	**Tegangan (p.u)**	**Tegangan (p.u)**
2	1	1
18	0,962	0,955
19	0,953	0,945
20	0,944	0,934
21	0,939	0,928
22	0,936	0,924
23	0,931	0,918
24	0,930	0,917
25	0,930	0,917
26	0,927	0,914
27	0,924	0,910
28	0,922	0,907
29	0,917	0,902
30	0,917	0,901
31	0,912	0,896
32	0,910	0,893
33	0,905	0,887
34	0,901	0,882
35	0,899	0,880
36	0,895	0,876
37	0,893	0,874
38	0,892	0,872
39	0,891	0,871
40	0,891	0,870
41	0,890	0,870
42	0,890	0,870

Tabel 4.4 Besar Tegangan setiap Bus Sebelum Rekonfigurasi (lanjutan)

WBP Rata-Rata		WBP Tertinggi
Penyulang Cahaya Baru		Penyulang Cahaya Baru
No Bus	**Tegangan (p.u)**	**Tegangan (p.u)**
3	1	1
43	0,996	0,996
44	0,990	0,988
45	0,984	0,981
46	0,977	0,973
47	0,970	0,965
48	0,964	0,958
49	0,959	0,952
50	0,953	0,946
51	0,950	0,942
52	0,936	0,925
53	0,931	0,920
54	0,928	0,916
55	0,927	0,916
56	0,917	0,904
57	0,915	0,901
58	0,913	0,899
59	0,911	0,897
60	0,910	0,895
61	0,904	0,894
62	0,904	0,888
63	0,904	0,888

4.1.2 Kondisi Sistem Setelah Dilakukan Rekonfigurasi Jaringan

Setelah dilakukan simulasi dan *running program* selama 290.285453 detik, didapatkan *single line diagram* yang baru hasil rekonfigurasi jaringan seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 *Single Line Diagram* 63 Bus Setelah Rekonfigurasi

Terlihat pada gambar 4.1 bahwa terjadi perubahan *tie switch* atau terdapat beberapa saluran yang dibuka. Saluran tersebut antara lain s21, s27, s52, sedangkan pada s64 dan s65 tidak terjadi perubahan. Kombinasi *tie switch* yang baru ini dipilih karena dapat mengurangi rugi-rugi daya

yang lebih besar dibanding dengan kombinasi *switch* yang lain. Untuk hasil simulasinya dirangkum pada tabel dibawah.

Tabel 4.5 Hasil Simulasi setelah Rekonfigurasi Jaringan

Kondisi	***Tie Switch***	***Ploss* (kW)**	***Ploss Reduction* (%)**	**Tegangan Minimal (p.u.)**
WBP Rata-Rata	S21, S27, S52, S64, S65	745,3004	5,6655	0,90373 (bus 42)
WBP Tertinggi	S21, S27, S52, S64, S65	1068,0467	5,123	0,88627 (bus 42)

Dengan penjabaran kapasitas setiap penyulang sebagai berikut :

Tabel 4.6 Kapasitas Total Pembebanan pada Penyulang setelah Rekonfigurasi

WBP Rata-rata	**Penyulang Domas**	**Penyulang An Nur**	**Penyulang Cahaya Baru**
P+JQ	4,81+J3 (5,67 MVA)	4,77 + J2,9 (5,59 MVA)	5,35+J3,32 (6,3 MVA)
WBP Tertinggi	**Penyulang Domas**	**Penyulang An Nur**	**Penyulang Cahaya Baru**
P+JQ	5,97+j3,7 (7,03 MVA)	5,53+J3,37 (6,48 MVA)	6,12+J3,8 (7,2 MVA)

Dan hasil perhitungan rugi –rugi daya nyata dan tegangan pada tabel 4.7 dan 4.8.

Tabel 4.7 Besar Rugi-Rugi Daya Nyata Setelah Rekonfigurasi

	WBP Rata-Rata	**WBP Tertinggi**
No Branch	**Rugi Daya (kW)**	**Rugi Daya (kW)**
1	110,058	175,104
2	18,034	28,685
3	19,793	31,467
4	0,572	0,93
5	0,195	0,316
6	0,04	0,065
7	15,528	25,318
8	8,896	14,505
9	5,068	8,358
10	5,22	8,61
11	7,116	11,742
12	3,183	5,254
13	4,944	8,162
14	0,059	0,096
15	110,42	153,141
16	23,535	32,657
17	24,29	33,752
18	12,012	16,697
19	7,802	10,852
20	11,633	16,192
21	0	0
22	0,332	0,457
23	8,754	12,2
24	8,039	11,204
25	4,299	5,994
26	10,896	15,197
27	0	0
28	10,01	13,974
29	5,186	7,243
30	9,724	13,579
31	8,028	11,218
32	3,038	4,247
33	5,036	7,042
34	2,286	3,196

Tabel 4.7 Besar Rugi-Rugi Daya Nyata Setelah Rekonfigurasi (lanjutan)

	WBP Rata-Rata	**WBP Tertinggi**
No Branch	**Rugi Daya (kW)**	**Rugi Daya (kW)**
35	2,235	3,125
36	0,406	0,567
37	0,172	0,24
38	0,106	0,148
39	0,004	0,005
40	14,948	20,112
41	23,787	32,042
42	21,961	29,609
43	24,044	32,446
44	24,66	33,308
45	18,8	25,411
46	15,938	21,556
47	16,155	21,863
48	8,097	10,962
49	39,692	53,783
50	11,223	15,221
51	11,266	15,285
52	0	0
53	23,127	31,399
54	5,529	7,507
55	5,565	7,557
56	2,744	3,727
57	2,61	3,546
58	1,74	2,364
59	6,117	8,317
60	0,038	0,051
61	0,313	0,431
62	0,006	0,008
63	0,023	0,032
64	0	0
65	0	0

Tabel 4.8 Besar Tegangan setiap Bus Setelah Rekonfigurasi

WBP Rata-Rata		WBP Tertinggi
Penyulang Domas		**Penyulang Domas**
No Bus	**Tegangan (p.u)**	**Tegangan (p.u)**
1	1	1
4	0,969	0,961
5	0,964	0,955
6	0,959	0,948
7	0,958	0,946
8	0,957	0,946
9	0,957	0,945
10	0,952	0,939
11	0,948	0,934
12	0,945	0,931
13	0,943	0,927
14	0,939	0,922
15	0,937	0,920
16	0,933	0,915
17	0,933	0,915
24	0,957	0,946
25	0,958	0,947
30	0,948	0,934
Penyulang An Nur		**Penyulang An Nur**
No Bus	**Tegangan (p.u)**	**Tegangan (p.u)**
2	1	1
18	0,968	0,962
19	0,961	0,954
20	0,953	0,945
21	0,95	0,940
22	0,947	0,937
23	0,943	0,932
26	0,939	0,928
27	0,936	0,925
28	0,934	0,923
29	0,930	0,917
31	0,925	0,912
32	0,923	0,909

Tabel 4.8 Besar Tegangan setiap Bus Setelah Rekonfigurasi (lanjutan)

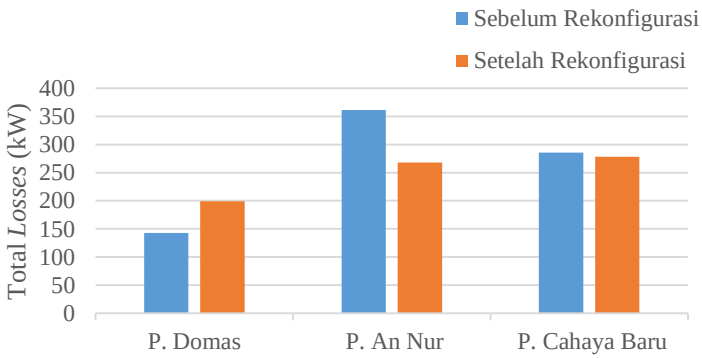
WBP Rata-Rata		WBP Tertinggi
Penyulang An Nur		**Penyulang An Nur**
No Bus	**Tegangan (p.u)**	**Tegangan (p.u)**
33	0,918	0,903
34	0,914	0,898
35	0,912	0,896
36	0,908	0,892
37	0,907	0,890
38	0,905	0,888
39	0,904	0,887
40	0,904	0,887
41	0,904	0,886
42	0,904	0,886
55	0,943	0,916
Penyulang Cahaya Baru		**Penyulang Cahaya Baru**
No Bus	**Tegangan (p.u)**	**Tegangan (p.u)**
3	1	1
43	0,996	0,996
44	0,99	0,988
45	0,984	0,981
46	0,977	0,973
47	0,97	0,965
48	0,964	0,958
49	0,959	0,952
50	0,954	0,946
51	0,951	0,942
52	0,937	0,925
53	0,933	0,920
54	0,929	0,916
56	0,943	0,904
57	0,919	0,901
58	0,916	0,899
59	0,914	0,897
60	0,913	0,895
61	0,911	0,894
62	0,910	0,888

Tabel 4.8 Besar Tegangan setiap Bus Setelah Rekonfigurasi (lanjutan)

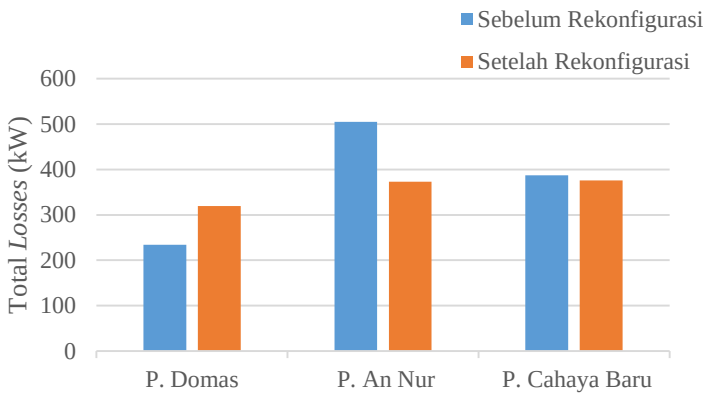
WBP Rata-Rata		WBP Tertinggi
Penyulang Cahaya Baru		Penyulang Cahaya Baru
No Bus	Tegangan (p.u)	Tegangan (p.u)
63	0,905	0,888

4.2 Analisis Hasil Rekonfigurasi Jaringan

Setelah dilakukan simulasi rekonfigurasi jaringan untuk dua kondisi, yaitu pada saat rata-rata WBP siang dan malam hari dengan WBP tertinggi didapatkan hasil *tie switch* yang sama yaitu s21, s27, s52, s64, dan s65 dengan *losses* berkurang sebesar 5,6655% dan 5,123%. Dengan perbandingan *losses* sebelum dan sesudah rekonfigurasi jaringan seperti yang tertera pada gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.2 Besar *Losses* saat Rata-Rata WBP Siang dan Malam



Gambar 4.3 Besar *Losses* saat WBP Tertinggi

Pada gambar 4.2 dan 4.3, dapat dilihat nilai *losses* pada Penyulang An Nur mengalami penurunan yang paling signifikan dibandingkan dengan penyulang yang lain. Hal ini dikarenakan pada penyulang ini banyak terjadi perubahan konfigurasi, yaitu bus 24, bus 25 dan bus 30 yang dimanuver ke penyulang Domas sehingga menyebabkan total *losses* pada ketiga jaringan menjadi berkurang. Dari sini juga dapat ditarik kesimpulan bahwa penyulang pada saat kondisi pembebanan apapun, konfigurasi *tie switch* s21, s27, s52, s64, dan s65 merupakan yang paling optimal. Sehingga saat kondisi pembebanan berubah, tidak diperlukan perubahan *tie switch*. Pada kondisi riilnya, *tie switch* yang dipasang pada penyulang berupa LBS (*Load Break Switch*) yang digunakan untuk memanuver penyulang apabila terjadi gangguan. Ketepatan titik manuver dalam simulasi ini mempertimbangkan besarnya *losses* pada jaringan.

Pada *single line diagram* baru hasil rekonfigurasi jaringan (gambar 4.1), dapat dilihat pada loop I terjadi perubahan konfigurasi. Bus 24 dan 25 yang awalnya disuplai oleh Gardu Induk Kasih Jatim pada Penyulang An Nur menjadi disuplai oleh Gardu Induk Krian pada Penyulang Domas. Hal ini dikarenakan bus 24 dan 25 lebih dekat dengan bus 1 (Gardu Induk Kasih Jatim) dibanding dengan bus 2 (Gardu Induk Krian). Sehingga, sesuai teori $Ploss=I^2R$ bahwa semakin jauh jarak titik suplai dengan titik terima maka semakin besar nilai resistansinya (panjang kabel), sehingga *losses*-nya menjadi lebih besar begitupula sebaliknya.

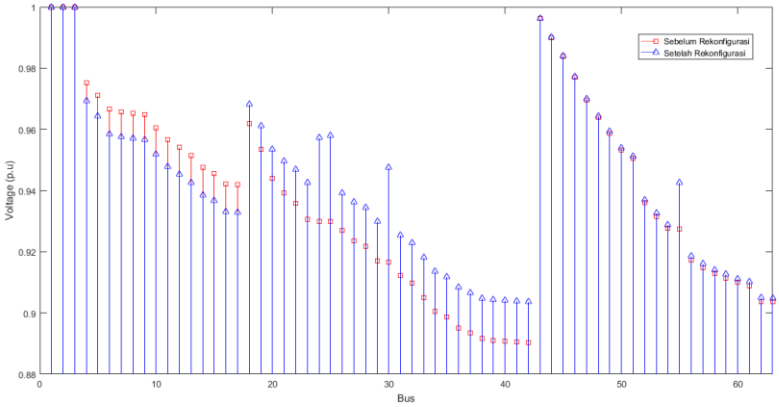
Pada loop II, terjadi perubahan konfigurasi pada bus 55. Bus yang awalnya disuplai oleh bus 3 (Gardu Induk Karang Pilang) setelah direkonfigurasi jadi disuplai oleh bus 2 (Gardu Induk Cahaya Baru). Hal ini dikarenakan bus 55 lebih dekat dengan titik suplai yaitu bus 2 dibanding dengan bus 3, sehingga *Ploss* total yang dihasilkan menjadi lebih kecil.

Pada loop III, terjadi perubahan konfigurasi yaitu bus 30 yang awalnya disuplai oleh GI Krian pada Penyulang An Nur menjadi disuplai oleh GI Kasih Jatim pada Penyulang Domas. Hal ini juga dikarenakan letak bus 30 lebih dekat dengan bus 1 (Gardu Induk Kasih Jatim) dibanding dengan bus 2 (Gardu Induk Krian), sehingga *Ploss* totalnya menjadi lebih kecil.

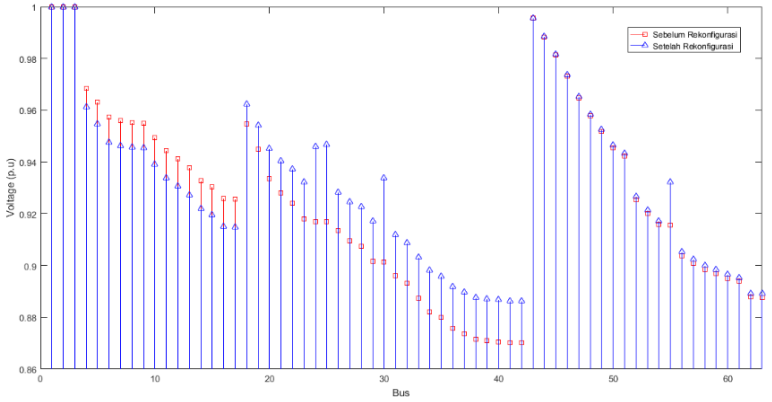
Untuk loop IV tidak ada perubahan konfigurasi jaringan, hal ini dikarenakan apabila dilakukan perubahan *tie switch* (selain s64) kondisi *load bus* yang dipindahkan ke jaringan lain, harus berada dalam jumlah yang banyak. Sehingga apabila dilakukan, pembebanan salah satu penyulang akan mengalami kelebihan beban dan *Ploss* total jaringan menjadi lebih besar, maka dari itu *SPSO* tidak melakukan perubahan *tie switch* pada loop ini.

Pada loop V juga tidak ada konfigurasi jaringan yang berubah. Meski bus 42 sebenarnya memiliki jarak lebih dekat dengan titik suplai dari penyulang Cahaya Baru, sehingga ada kemungkinan untuk switch s39 berada pada kondisi open, akan tetapi hasil optimasi *SPSO* tidak menghasilkan perubahan *tie switch*. Hal ini dikarenakan penyulang Cahaya Baru sudah memiliki beban yang ccukup banyak, dan jika ditambah dengan beban bus 42, nilai total losses dari ketiga jaringan menjadi lebih besar dibanding dengan saat switch open pada s65. Saat disimulasikan dalam keadaan rata-rata WBP, besar total *Ploss* yang dihasilkan sebesar 745,6376 kW saat kombinasi *tie switch* s21, s27, s52, s64, s65 dan 745,3004 kW saat kombinasi *tie switch* s21, s27, s52, s64, s65, maka dari itu *SPSO* menghasilkan kombinasi *tie switch* s21, s27, s52, s64, s65 sebagai hasil yang paling optimal. Hal ini dikarenakan faktor yang memengaruhi losses tidak hanya impedansi, melainkan juga arus pembebanan (I). Semakin besar (I) maka semakin besar juga *losses* yang dihasilkan. Disisi lain, hal ini juga disebabkan jarak titik suplai dari penyulang An Nur dengan titik suplai penyulang Cahaya Baru tidak terlalu signifikan (kondisi jaringan An Nur berada dibawah jaringan Cahaya Baru), dan *Ploss* yang dicari optimasinya adalah nilai Ploss total sehingga tidak terjadi perubahan *tie switch*.

Selain *losses*, besarnya tegangan pada masing-masing bus juga dihitung seperti yang tertera pada gambar 4.4 dan 4.5.



Gambar 4.4 Plot Tegangan saat Rata-Rata WBP Siang dan Malam



Gambar 4.5 Plot Tegangan saat WBP Tertinggi

Pada gambar 4.4 dan 4.5 terlihat bahwa pada bus 1,2 dan 3 tidak mengalami perubahan tegangan dikarenakan bus tersebut merupakan Gardu Induk atau disimulasikan sebagai *Bus Generator*. Sedangkan pada

bus 24, 25 dan 30 mengalami perbaikan kualitas tegangan. Hal ini dikarenakan bus-bus tersebut pindah ke penyulang Domas yang besar total pembebanannya jauh lebih sedikit dibandingkan dengan penyulang An Nur. Perpindahan ini menyebabkan penurunan kualitas tegangan pada penyulang Domas. Pada jaringan yang diberi beban, ketika arus pada jaringan semakin besar menyebabkan penurunan kualitas tegangan dengan impedansi yang konstan.

Pada bus 55 terjadi perbaikan kualitas tegangan. Hal ini dikarenakan bus tersebut pindah ke penyulang An Nur yang besar pembebanannya lebih kecil dibanding Penyulang Cahaya Baru, setelah bus 24, 25 dan 30 dipindah ke Penyulang Domas. Pemindahan beban ini berdampak langsung pada kualitas tegangan.

Untuk bus-bus yang tidak mengalami konfigurasi akibat perubahan *switch*, besar tegangan tidak mengalami perubahan. Tegangan-tegangan pada ketiga penyulang setelah disimulasikan, nilainya berada dibawah standar PLN dengan turun tegangan yang diperbolehkan pada JTM adalah 5% dari tegangan kerja bagi sistem yang memanfaatkan STB yaitu sistem radial di atas tanah dan sistem simpul [1]. Pada kondisi nyatanya, Transformator pada GI Kasih Jatim, GI Krian dan GI Karang Pilang terpasang OLTC, sehingga jatuh tegangan dapat diatasi. Selain itu setiap transformator distribusi juga terdapat *tap changer* untuk menanggulangi drop tegangan pada sisi pelanggan.

4.3 Perhitungan Biaya

Kualitas daya listrik yang baik adalah pengiriman energi listrik dengan kualitas dan mutu yang baik diimbangi biaya pengoperasian yang efisien. *Losses* yang dihasilkan pada jaringan dapat menyebabkan kerugian terhadap pencapaian pendapatan PT. PLN (Persero). Dengan menggunakan konfigurasi jaringan yang baru, penghematan yang dapat dilakukan sebesar:

Perhitungan biaya dilakukan pada golongan tarif B-2/TR dengan batas daya 6,6 s/d 200 kVA. Biaya pemakaiannya (Rp/kWh) sebesar 1.467,28.

Penghematan Biaya
= (Ploss sebelum – Ploss sesudah rekonfigurasi) x 24 jam x 30 hari x TDL (Tarif Dasar Listrik)
= (790,0614 - 745,3004) x 24 x 30 x 1467,28
= 47.287.382,46 rupiah/bulan

Dengan menggunakan konfigurasi jaringan yang baru dengan peletakan titik manuver yang tepat dapat menghemat biaya operasi PT. PLN (Persero) ULP Menganti sebesar 47.287.382,46 rupiah setiap bulannya. Tentunya dengan konfigurasi jaringan yang baru diperlukan biaya tambahan untuk konstruksi, akan tetapi jika dilihat dalam jangka panjang kerugian ekonomis akibat rugi-rugi daya menjadi perhatian yang lebih penting selain itu mutu pelayanan listrik menjadi lebih baik.

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi aliran daya dan optimasi menggunakan *Selective Particle Swarm Optimization* pada jaringan distribusi di PT. PLN (Persero) ULP Menganti, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan didapatkan penurunan rugi-rugi daya nyata pada sistem distribusi 63 bus dari 790,0614 kW menjadi 745,3004 kW atau sebesar 5,6655%.
2. Pada kondisi pembebanan apapun, konfigurasi *tie switch* yang paling optimal adalah s21, s27, s52, s64, dan s65. Sehingga saat pembebanan berubah tidak diperlukan perubahan *tie switch*.
3. Dari sistem distribusi 63 bus didapatkan peningkatan kualitas tegangan yaitu tegangan minimal pada sistem meningkat dari 0,89036 p.u menjadi 0,90373 p.u.
4. Dengan menggunakan konfigurasi jaringan yang baru, PT. PLN (Persero) ULP Menganti dapat menghemat biaya operasi sebesar 47.287.382,46 rupiah setiap bulannya, namun biaya ini belum memperhitungkan biaya investasi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil simulasi, diharapkan penelitian optimasi dengan *SPSO* selanjutnya juga mencakup dengan pemasangan bank kapasitor, sehingga juga dapat meningkatkan kualitas dari tegangan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

[1] SPLN 72:1987, Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara, 1987.

[2] S. Kalambe dan G. Agnihotri, "Loss minimization techniques used in distribution network: Bibliographical," *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* pp. 184-200, 2014.

[3] M. E. Baran dan F. F. Wu, "Network Reconfiguration in Distribution System For Loss Reduction," *IEEE Transactions on Power Delivery,* vol. 4, no. 2, pp. 1401 - 1407, 1989.

[4] C. C. Liu, S. J. Lee dan S. S. Venkata, "An expert system operational aid for restoration and loss reduction of distribution systems," *IEEE Transactions on Power Systems,* vol. 3, no. 2, pp. 619-626, 1988.

[5] J. Z. Zhu, "Optimal Reconfiguration of Electrical Distribution Network Using The Refined Genetic Algorithm," *Electric Power System Research,* vol. 62, no. 1, pp. 37-42, 2002.

[6] A. Swarnkar, N. Gupta dan K. R. Niazi, "Minimal Loss Configuration for Large-Scale Radial Distribution Systems using Adaptive Genetic," *16th NATIONAL POWER SYSTEMS CONFERENCE,* 2010.

[7] Y.-K. Wu, C.-Y. Lee dan L.-C. Liu, "Study of Reconfiguration for the Distribution System With Distributed Generators," *IEEE Transactions on Power Delivery,* vol. 25, no. 3, pp. 1678 - 1685, 2010.

[8] A. Tandon dan D. Saxena, "A Comparative Analysis of SPSO and BPSO for Power Loss Minimization in Distribution System," dalam *2014 Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their impact on Humanity (CIPECH),* Ghaziabad, 2014.

[9] S. Anam, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik," Surabaya.

[10] S. Sabiq, "Estimasi Kerugian Energi Jaringan Distribusi Radial pada Penyulang NR 7 20 kV Kota Medan Menggunakan Loss Factor," *JURNAL TEKNIK ITS,* vol. 6, 2017.

[11] T. Yuwono, "Dasar Sistem Tenaga Listrik (Pengembangan Energi Alternatif, Bagan Kerja Pembangkit)," Surabaya.

[12] A. Tandon dan D. Saxena, “Optimal Reconfiguration of Elecrical Distribution Network Using Selective Particle Swarm Optimzation Algorithm,” dalam *International Conference on Power, Control and Embedded Systems (ICPCES),* Allahabad, India, 2014.

[13] H. Saadat, Power System Analysis, Boston: McGraw-Hill Education, 1999.

[14] T. M. Khalil dan A. V. Gorpinich, “Reconfiguration for Loss Reduction of Distribution Systems Using Selective Particle Swarm Optimization,” *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering (IJMSE),* vol. 3, pp. 16-21, 2012.

[15] I. M. Ginarsa dan I. M. A. Nrartha, “Pemodelan Matematis Beban Tersebar Sebagai Beban Terpusat pada Sistem Distribusi 20 kV untuk Studi Aliran Daya,” *Jurnal Teknik Elektro,* vol. 8, pp. 8-15, 2008.

[16] W. Sarimun, Buku Saku Pelayanan Teknik (Yantek) Edisi Ketiga, Depok: Garamond, 2014.

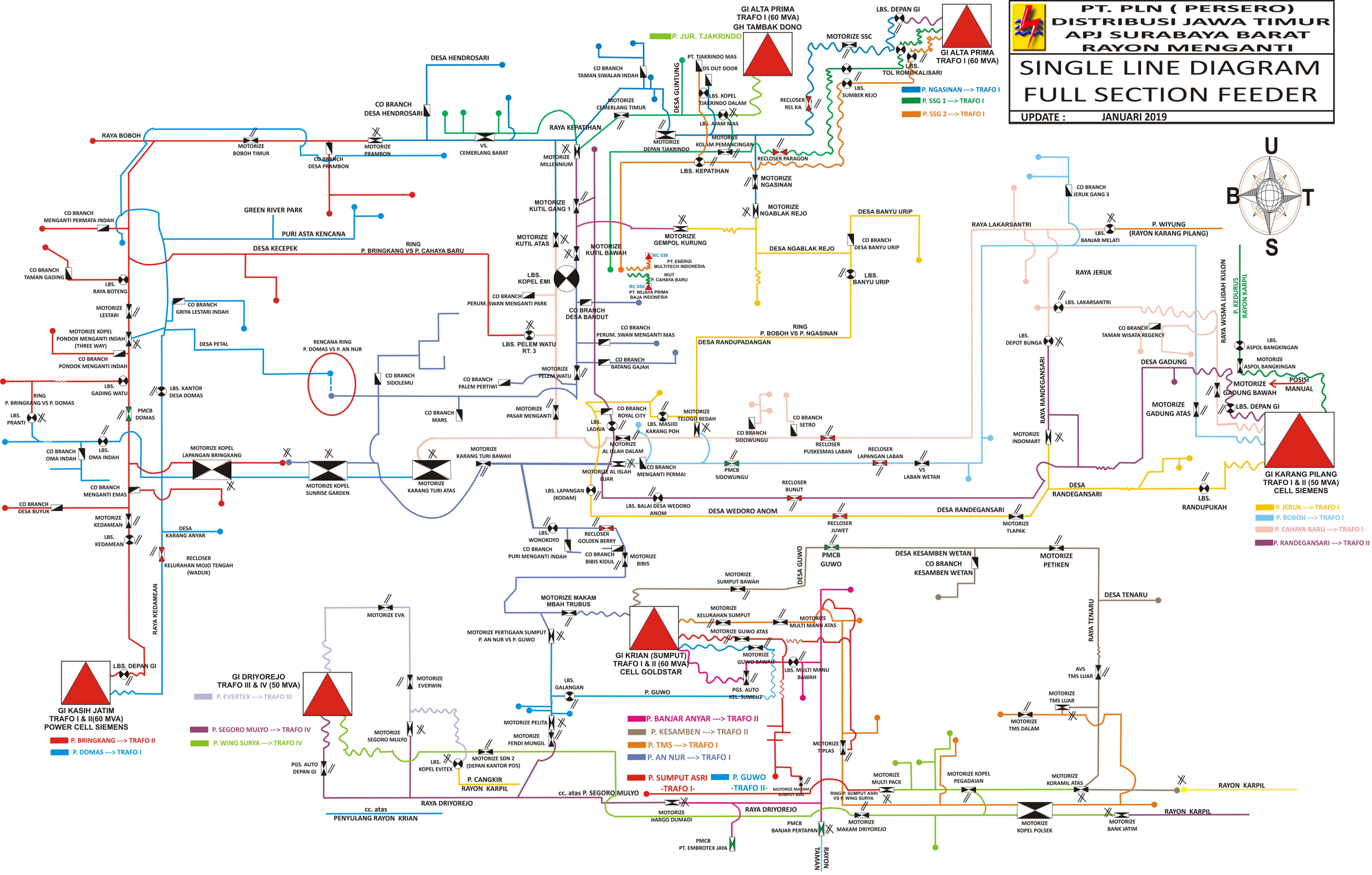
[17] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sánchez dan R. J. Thomas, “MATPOWER: Steady-State Operations, Planning and Analysis Tools for Power Systems Research and Education,” *Power Systems, IEEE Transactions,* vol. 26, pp. 12-19, Feb 2011.

BIODATA PENULIS

Putu Diah Nitya Kirana, dilahirkan di Denpasar, 27 Oktober 1997. Penulis memulai jenjang pendidikan di SDN Jajar Tunggal III Surabaya, SMPN 6 Surabaya, dan SMAN 5 Surabaya hingga lulus tahun 2015. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi dan diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di Departemen Teknik Elektro. Semasa kuliah, penulis aktif dalam kegiatan kepanitiaan, organisasi, dan asisten Laboratorium Konversi Energi. Selain itu, penulis memiliki banyak pengalaman, diantaranya menjadi juara 1 dalam LKTIN Propelan Open IPB 2018, juara 2 dalam LKTIN Prisma 7 UB 2018, menjadi delegasi Indonesia dalam *Engineering and Technological Leaders Forum* di Sirindhorn International Institut of Technology, Thailand, serta mengikuti program magang bersertifikat selama 6 bulan di PT. PLN (Persero) UP3 Surabaya Barat. Penulis dapat dihubungi melalui email : nityakirana.nk@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN


PT. PLN (PERSERO)
DISTRIBUSI JAWA TIMUR
APJ SURABAYA BARAT
RAYON MENGANTI
SINGLE LINE DIAGRAM
FULL SECTION FEEDER
UPDATE : JANUARI 2019
U
B
T
S
GI ALTA PRIMA
TRAFO I (60 MVA)
GH TAMBAK DONO
GI ALTA PRIMA
TRAFO I (60 MVA)
P. JUR. TJAKRINDO
P. NGASINAN ---> TRAFO I
P. SSG 1 ---> TRAFO I
P. SSG 2 ---> TRAFO I
LBS. DEPAN GI
MOTORIZE SSC
LBS. TOL ROMOKALISARI
LBS. SUMBER REJO
RECLOSER REL KA
PT. TJAKRINDO MAS
DS OUT DOOR
LBS. KOPEL TJAKRINDO DALAM
LBS. AYAM MAS
DESA GLINTUNG
CO BRANCH TAMAN SIWALAN INDAH
MOTORIZE CEMERLANG TIMUR
MOTORIZE DEPAN TJAKRINDO
MOTORIZE KOLAM PEMANCINGAN
RECLOSER PARAGON
LBS. KEPATIHAN
MOTORIZE NGASINAN
MOTORIZE NGABLAK REJO
DESA NGABLAK REJO
DESA BANYU URIP
CO BRANCH DESA BANYU URIP
LBS. BANYU URIP
MOTORIZE GEMPOL KURUNG
RC 039
PT. ENERGI MULTITECH INDONESIA
IKUT
P. CAHAYA BARU
RC 050
PT. WIJAYA PRIMA BAJA INDONESIA
DESA HENDROSARI
CO BRANCH DESA HENDROSARI
VS. CEMERLANG BARAT
RAYA KEPATIHAN
MOTORIZE MILLENNIUM
MOTORIZE KUTIL GANG 1
MOTORIZE KUTIL ATAS
MOTORIZE KUTIL BAWAH
LBS. KOPEL EMI
CO BRANCH DESA BANDUT
RAYA BOBOH
MOTORIZE BOBOH TIMUR
MOTORIZE PRAMBON
CO BRANCH DESA PRAMBON
GREEN RIVER PARK
PURI ASTA KENCANA
DESA KECEPEK
RING
P. BRINGKANG VS P. CAHAYA BARU
CO BRANCH MENGANTI PERMATA INDAH
CO BRANCH TAMAN GADING
LBS. RAYA BOTENG
MOTORIZE LESTARI
CO BRANCH GRIYA LESTARI INDAH
MOTORIZE KOPEL PONDOK MENGANTI INDAH (THREE WAY)
CO BRANCH PONDOK MENGANTI INDAH
DESA PETAL
RENCANA RING
P. DOMAS VS P. AN NUR
LBS. GADING WATU
LBS. KANTOR DESA DOMAS
RING
P. BRINGKANG VS P. DOMAS
LBS. PRANTI
PMCB DOMAS
CO BRANCH OMA INDAH
LBS. OMA INDAH
CO BRANCH MENGANTI EMAS
CO BRANCH DESA BUYUK
MOTORIZE KEDAMEAN
LBS. KEDAMEAN
DESA KARANG ANYAR
RECLOSER KELURAHAN MOJO TENGAH (WADUK)
RAYA KEDAMEAN
MOTORIZE KOPEL LAPANGAN BRINGKANG
MOTORIZE KOPEL SUNRISE GARDEN
MOTORIZE KARANG TURI ATAS
MOTORIZE KARANG TURI BAWAH
CO BRANCH PERUM. SWAN MENGANTI PARK
LBS. PELEM WATU RT. 3
CO BRANCH PERUM. SWAN MENGANTI MAS
CO BRANCH BATANG GAJAH
CO BRANCH SIDOLEMU
CO BRANCH PALEM PERTIWI
MOTORIZE PELEM WATU
CO BRANCH MARS
MOTORIZE PASAR MENGANTI
CO BRANCH ROYAL CITY
LBS. LADIVA
LBS. MASJID KARANG POH
MOTORIZE TELOGO BEDAH
MOTORIZE AL ISLAH DALAM
MOTORIZE AL ISLAH LUAR
CO BRANCH MENGANTI PERMAI
CO BRANCH SIDOWUNGU
CO BRANCH SETRO
RECLOSER PUSKESMAS LABAN
RECLOSER LAPANGAN LABAN
PMCB SIDOWUNGU
VS LABAN WETAN
RING
P. BOBOH VS P. NGASINAN
DESA RANDUPADANGAN
LBS. LAPANGAN (KODAM)
LBS. BALAI DESA WEDORO ANOM
DESA WEDORO ANOM
RECLOSER BUNUT
RECLOSER JUWET
DESA RANDEGANSARI
MOTORIZE TLAPAK
LBS. WONOKOYO
RECLOSER GOLDEN BERRY
CO BRANCH PURI MENGANTI INDAH
CO BRANCH BIBIS KIDUL
MOTORIZE BIBIS
CO BRANCH JERUK GANG 3
LBS. BANJAR MELATI
P. WIYUNG
(RAYON KARANG PILANG)
RAYA LAKARSANTRI
RAYA JERUK
LBS. LAKARSANTRI
CO BRANCH TAMAN WISATA REGENCY
LBS. DEPOT BUNGA
RAYA RANDEGANSARI
MOTORIZE INDOMART
RAYA WISMA LIDAH KULON
P. KEDURUS
RAYON KARPIL
LBS. ASPOL BANGKINGAN
MOTORIZE ASPOL BANGKINGAN
DESA GADUNG
MOTORIZE GADUNG BAWAH
POSISI MANUAL
LBS. DEPAN GI
MOTORIZE GADUNG ATAS
GI KARANG PILANG
TRAFO I & II (50 MVA)
CELL SIEMENS
P. JERUK ---> TRAFO I
P. BOBOH ---> TRAFO I
P. CAHAYA BARU ---> TRAFO I
P. RANDEGANSARI ---> TRAFO II
DESA RANDEGANSARI
LBS. RANDUPUKAH
DESA GUWO
PMCB GUWO
DESA KESAMBEN WETAN
CO BRANCH KESAMBEN WETAN
MOTORIZE PETIKEN
DESA TENARU
RAYA TENARU
AVS TMS LUAR
MOTORIZE TMS LUAR
MOTORIZE TMS DALAM
MOTORIZE SUMPUT BAWAH
MOTORIZE MAKAM MBAH TRUBUS
MOTORIZE KELURAHAN SUMPUT
MOTORIZE MULTI MANU ATAS
MOTORIZE GUWO ATAS
MOTORIZE GUWO BAWAH
LBS. MULTI MANU BAWAH
PGS. AUTO KEL. SUMPUT
MOTORIZE PERTIGAAN SUMPUT
P. AN NUR VS P. GUWO
GI KRIAN (SUMPUT)
TRAFO I & II (60 MVA)
CELL GOLDSTAR
LBS. GALANGAN
P. GUWO
MOTORIZE PELITA
MOTORIZE FENDI MUNGIL
MOTORIZE EVA
MOTORIZE EVERWIN
MOTORIZE SEGORO MULYO
MOTORIZE SDN 2 (DEPAN KANTOR POS)
LBS. KOPEL EVITEX
P. CANGKIR
RAYON KARPIL
PGS. AUTO DEPAN GI
GI DRIYOREJO
TRAFO III & IV (50 MVA)
P. EVERTEX ---> TRAFO III
P. SEGORO MULYO ---> TRAFO IV
P. WING SURYA ---> TRAFO IV
GI KASIH JATIM
TRAFO I & II(60 MVA)
POWER CELL SIEMENS
P. BRINGKANG ---> TRAFO II
P. DOMAS ---> TRAFO I
P. BANJAR ANYAR ---> TRAFO II
P. KESAMBEN ---> TRAFO II
P. TMS ---> TRAFO I
P. AN NUR ---> TRAFO I
P. SUMPUT ASRI
-TRAFO I-
P. GUWO
-TRAFO II-
MOTORIZE MAKAM SUMPUT ASRI
MOTORIZE TIPLAS
MOTORIZE MULTI PACK
MOTORIZE KOPEL PEGADAIAN
MOTORIZE KORAMIL ATAS
RAYON KARPIL
RING P. SUMPUT ASRI VS P. WING SURYA
cc. atas P. SEGORO MULYO
RAYA DRIYOREJO
cc. atas
PENYULANG RAYON KRIAN
MOTORIZE HARGO DUMADI
PMCB BANJAR PERTAPAN
MOTORIZE MAKAM DRIYOREJO
MOTORIZE KOPEL POLSEK
MOTORIZE BANK JATIM
RAYON KARPIL
PMCB PT. EMBROTEX JAYA
RAYON TAMAN

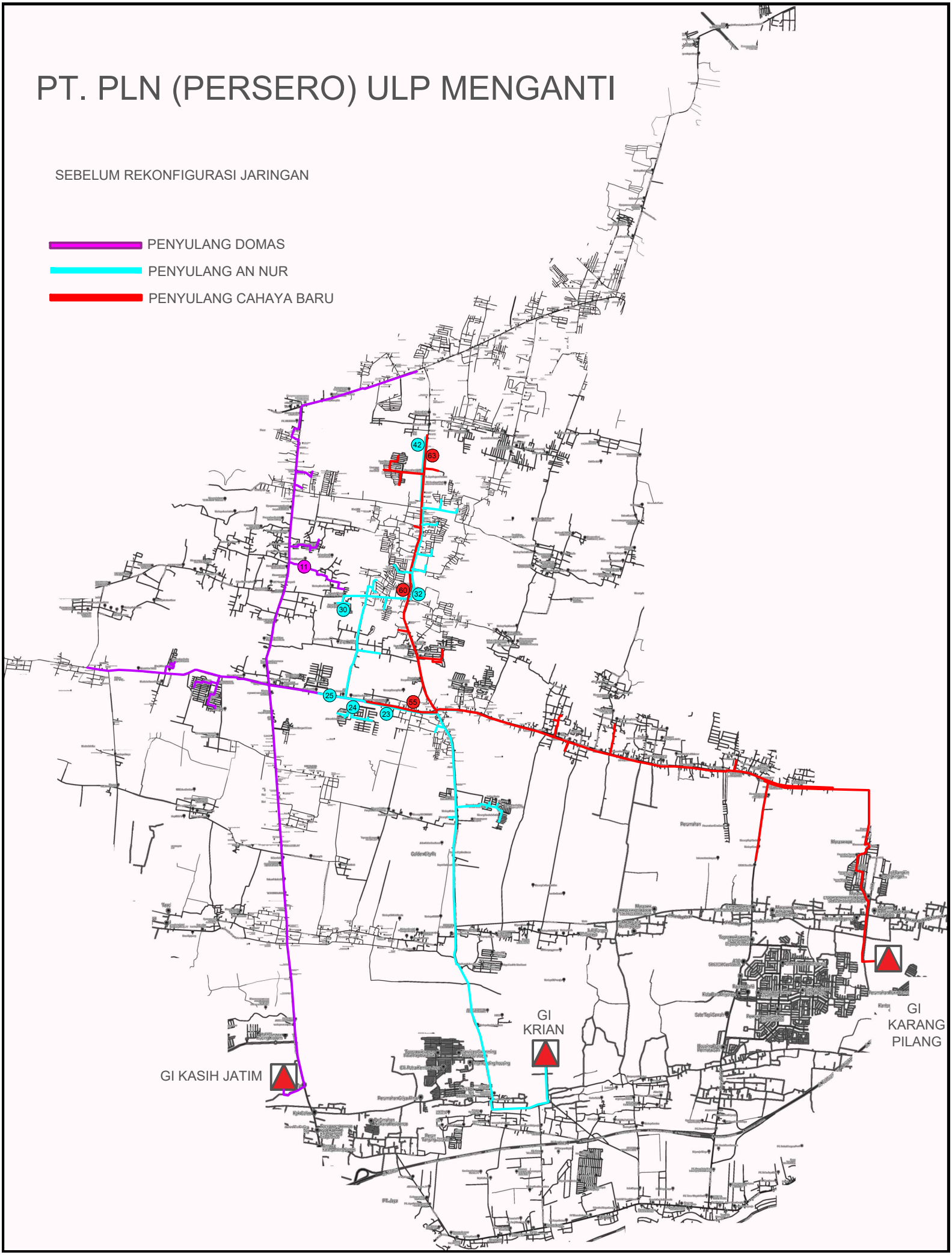
PT. PLN (PERSERO) ULP MENGANTI

SEBELUM REKONFIGURASI JARINGAN

PENYULANG DOMAS

PENYULANG AN NUR

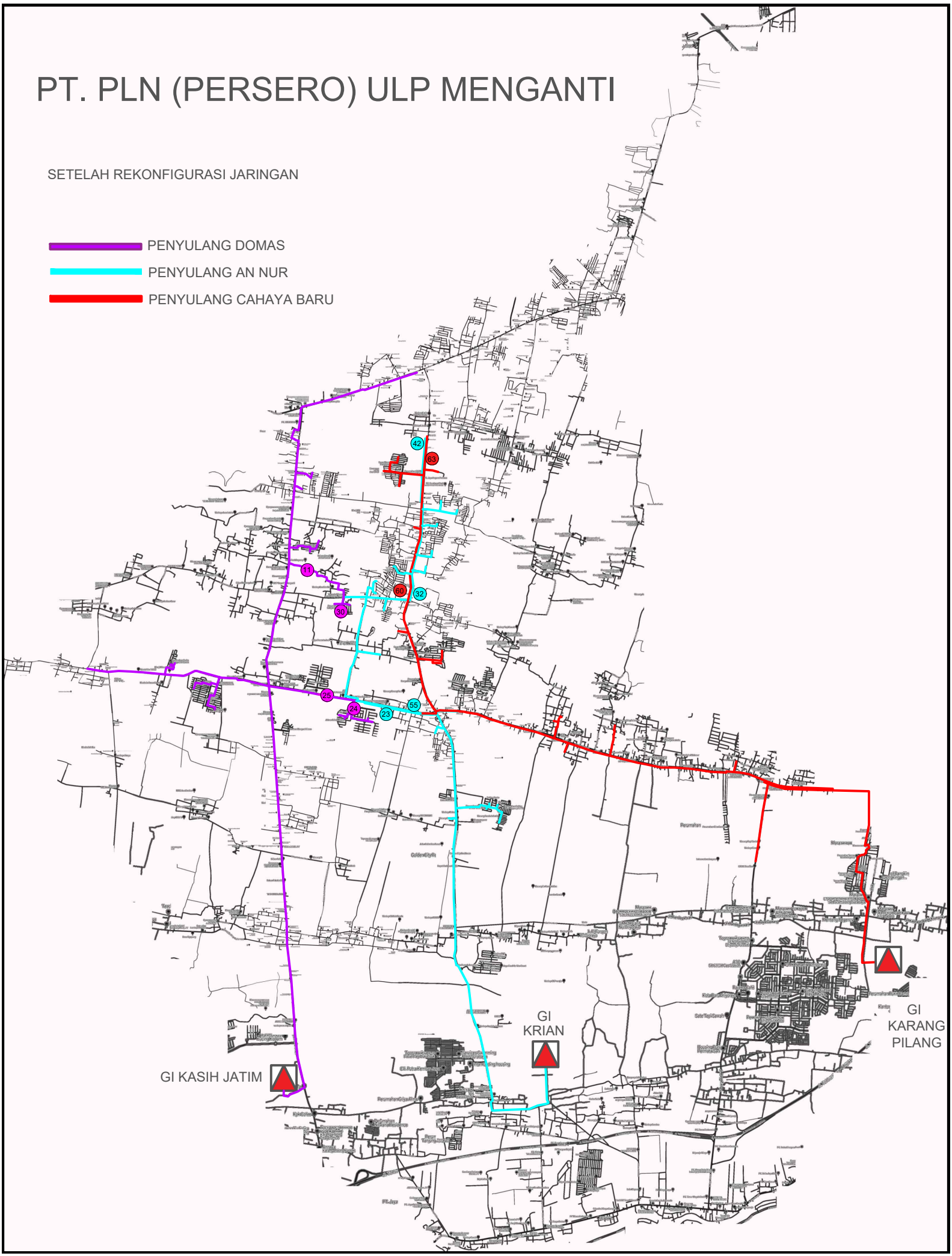
PENYULANG CAHAYA BARU



PT. PLN (PERSERO) ULP MENGANTI

SETELAH REKONFIGURASI JARINGAN

PENYULANG DOMAS

PENYULANG AN NUR

PENYULANG CAHAYA BARU