TUGAS AKHIR – EE 184801

REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER PT. PLN (PERSERO) ULP GIRI MENGGUNAKAN *BINARY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK MENGURANGI RUGI – RUGI DAYA JARINGAN DISTRIBUSI

Vincentius Yuan Dwi Purnomo
NRP 07111640000142

Dosen Pembimbing
Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

TUGAS AKHIR – EE 184801

REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER PT. PLN (PERSERO) ULP GIRI MENGGUNAKAN BINARY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION UNTUK MENGURANGI RUGI – RUGI DAYA JARINGAN DISTRIBUSI

Vincentius Yuan Dwi Purnomo
NRP. 07111640000142

Dosen Pembimbing
Dr. Rony Seto Wibowo, S.T, M.T.
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT – EE 184801

PRIMARY DISTRIBUTION NETWORK RECONFIGURATION OF PT. PLN (PERSERO) ULP GIRI USING BINARY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION TO REDUCE DISTRIBUTION NETWORK LOSS

Vincentius Yuan Dwi Purnomo
NRP 07111640000142

Supervisor(s)
Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR

Dengan ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Primer PT. PLN (Persero) ULP Giri Menggunakan *Binary Particle Swarm Optimization* Untuk Mengurangi Rugi – Rugi Daya Jaringan Distribusi**" adalah hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan 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, Juni 2020

Vincentius Yuan Dwi Purnomo
NRP. 07111640000142

Halaman ini sengaja dikosongkan

REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER PT. PLN (PERSERO) ULP GIRI MENGGUNAKAN *BINARY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK MENGURANGI RUGI – RUGI DAYA JARINGAN DISTRIBUSI

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro

Pada

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

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.
NIP. 197411292000121001

SURABAYA,

JUNI 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER PT. PLN (PERSERO) ULP GIRI MENGGUNAKAN *BINARY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK MENGURANGI RUGI – RUGI DAYA JARINGAN DISTRIBUSI

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro

Pada

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

Menyetujui:

Dosen Pembimbing II

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

SURABAYA,

JUNI 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER PT. PLN (PERSERO) ULP GIRI MENGGUNAKAN *BINARY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK MENGURANGI RUGI - RUGI DAYA JARINGAN DISTRIBUSI

Vincentius Yuan Dwi Purnomo
07111640000142

Pembimbing I: Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.
Pembimbing II: Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

ABSTRAK

Kebutuhan akan tenaga listrik semakin meningkat seiring dengan perkembangan ekonomi dan jumlah penduduk di Indonesia. Sebagai perusahaan penyedia tenaga listrik di Indonesia, PT. PLN (Persero) senantiasa berusaha meningkatkan keandalan sistem kelistrikan yang ada, termasuk meminimalisir rugi - rugi daya yang terjadi. Salah satu tindakan yang dilakukan adalah dengan melakukan rekonfigurasi jaringan. Rekonfigurasi jaringan merupakan salah satu cara mengoptimalkan aliran energi dengan mengatur ulang buka tutup dari *tie switch* yang terpasang pada setiap penyulang dengan tujuan untuk mengurangi rugi - rugi daya jaringan distribusi. Pada penelitian tugas akhir ini, dilakukan rekonfigurasi jaringan distribusi primer pada penyulang milik PT. PLN (Persero) ULP Giri dengan menggunakan penyulang Kebomas, Gubernur Suryo, dan Bunder untuk dilakukan rekonfigurasi. Metode yang digunakan adalah *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) untuk mendapatkan konfigurasi jaringan paling optimal dengan rugi - rugi daya minimal. Hasilnya, pembebanan saat Luar Waktu Beban Puncak (LWBP), nilai rugi - rugi daya aktif dan daya reaktif sebelum dilakukan rekonfigurasi adalah sebesar 73,068 KW dan 104,580 KVAR dan saat Waktu Beban Puncak (WBP) sebesar 81,621 kW dan 118,399 kVAR. Setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan, nilai rugi - rugi daya aktif dan reaktif pada saat LWBP dan WBP mengalami penurunan. Pada saat LWBP, rugi - rugi daya aktif dan daya reaktif menjadi 53,099 kW dan 73,422 kVAR.serta saat WBP menjadi 61,558 kW dan 87,509 kVAR.

Kata Kunci: rugi - rugi daya, rekonfigurasi jaringan, *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO)

Halaman ini sengaja dikosongkan

PRIMARY DISTRIBUTION NETWORK RECONFIGURATION of PT. PLN (PERSERO) ULP GIRI USING BINARY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION TO REDUCE DISTRIBUTION NETWORK POWER LOSS

Vincentius Yuan Dwi Purnomo
07111640000142

Pembimbing I: Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.
Pembimbing II: Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

ABSTRACT

The need for electricity is increasing in line with economic development and population in Indonesia. As a power supply company in Indonesia, PT. PLN (Persero) is always trying to improve the reliability of the existing electrical system, including minimizing power losses that occur. One of the actions taken is to do network reconfiguration. Network reconfiguration is one way to optimize energy flow by resetting the opening and closing of the tie switches installed on each feeder in order to reduce the distribution network power losses. In this final project research, reconfiguration of the primary distribution network at feeders owned by PT. PLN (Persero) ULP Giri by using Kebomas feeder, Governor Suryo, and Bunder for reconfiguration. The method used is Binary Particle Swarm Optimization (BPSO) to get the most optimal network configuration with minimal power losses. As a result, the load when the Peak Load Time (LWBP), the value of active power losses, and reactive power before reconfiguration is 73,068 kW and 104,580 kVAR and when the Peak Load Time (WBP) is 81,621 kW and 118,399 kVAR. After network reconfiguration, the value of active and reactive power losses when the LWBP and WBP decrease. At the time of LWBP, active and reactive power losses were 53,099 kW and 73,422 kVAR, and at WBP were 61,558 kW and 87,509 kVAR.

Keywords: power losses, network reconfiguration, Binary Particle Swarm Optimization (BPSO)

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa karena atas bantuan, limpahan berkat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan buku penelitian ini dengan judul "Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Primer PT. PLN (Persero) ULP Giri Menggunakan *Binary Particle Swarm Optimization* untuk Mengurangi Rugi - Rugi Daya Jaringan Distribusi". Buku ini penulis persembahkan khususnya untuk keluarga dan umumnya untuk bahan referensi penelitian selanjutnya.

Selama pengerjaan penelitian ini, banyak pihak-pihak yang membantu penulis baik berupa doa, bimbingan dan jasa dalam menyelesaikan penelitian ini. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi – tingginya kepada semua pihak yang membantu dan membimbing dalam proses pengerjaan penelitian ini:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Paulus Bayu Cahyono Nugroho dan Ibu Anna Juliani, dua saudara tercinta Karoline Yoan Tetranola dan Jose Yuan Chandra Nugraha sebagai motivasi utama yang senantiasa memberi doa, semangat dan bantuan moral maupun materiil sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.
2. Keluarga besar yang telah senantiasa memberikan dukungan dan doa sehingga penelitian ini dapat terselesesaikan tepat waktu.
3. Bapak Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Sjamsjul Anam, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan, arahan serta motivasi selama pengerjaan buku penelitian ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
4. Pak Anang Sugianto, Pak Heri Porwanto, Pak Azhari, Mas Yogi, Mas Qulub, Pak Yayan, Mas Arung, Mas Udin, serta keluarga besar PT. PLN (Persero) UP3 Gresik dan ULP Giri yang telah banyak memberikan dukungan dan bantuan selama program PMMB dan dalam proses pengambilan data penelitian.
5. Keluarga e56 Puker *Squad* yang menemani dalam suka dan duka dan saling mendoakan.

6. Angkatan e56 yang telah mewarnai suka dan duka selama di kampus perjuangan.
7. Teman - teman magang PMMB PLN Group seperti Tomy, Amir, Fian, Nazila, Victor, Samid, Astrid, Glenn, Fudin, dan Mar'ie, dan teman - teman PMMB PLN Group lain yang telah mewarnai suka duka saat magang dan membantu dalam pengambilan data.
8. Teman – teman laboratorium B106 (Goib) dan laboratorium simulasi sistem tenaga listrik (PSSL) yang telah memberikan ilmu dan memberikan dukungan.
9. Dan semua pihak yang tak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis mengucapakan terima kasih atas segala doa dan dukungan yang telah diberikan selama ini. Penulis pun memohon maaf atas segala kekurangan pada penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi mahasiswa Teknik Elektro ITS pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya.

Penulis menyadari bahwa penulisan buku penelitian ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan pada penulisan buku-buku penelitian selanjutnya.

Surabaya, Juni 2020

Vincentius Yuan Dwi Purnomo

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR..... vii
ABSTRAK..... xiii
ABSTRACT xv
KATA PENGANTAR xvii
DAFTAR ISI xix
DAFTAR GAMBAR xxi
DAFTAR TABEL..... xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN..... 1
1.1. Latar Belakang..... 1
1.2. Perumusan Masalah 2
1.3. Tujuan 2
1.4. Batasan Masalah 2
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 Tenaga Listrik 7
2.1.1 Sistem Disribusi Primer..... 9
2.1.2 Sistem Distribusi Sekunder 9
2.2. Sistem Jaringan Distribusi Radial..... 9
2.2.1 Sistem Jaringan Distribusi Radial Pohon 10
2.2.2 Sistem Jaringan Distribusi Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah..... 11
2.2.3 Sistem Jaringan Distribusi Radial Tipe Pusat Beban 12
2.2.4 Sistem Distribusi Jaringan Radial Tipe *Phase Area* 12
2.3. Klasifikasi Jenis Beban..... 13
2.3.1 Karakteristik Beban..... 14
2.4. Rekonfigurasi Jaringan Distribusi 16

2.5. Analisis Aliran Daya Sistem Distribusi 17
2.5.1 Metode *Forward - Backward Sweep* 17
2.6. Rugi Daya pada Sistem Distribusi 21
2.7. Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) .. 22
2.7.1 Konsep Dasar *Particle Swarm Optimization* (PSO) 23
2.8. *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) 25
BAB 3 PEMODELAN SISTEM 27
3.1. *Single Line Diagram* PT. PLN (Persero) ULP Giri Gresik 28
3.2. Sistem Distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) ULP Giri Gresik 29
3.2.1 Data generator bus 29
3.2.2 Data bus beban (*load bus*) 30
3.2.3 Data cabang 30
3.2.4 Data penyulang 31
3.3. Pemodelan Simulasi Sistem 41
3.3.1 Pemodelan Sistem Bus pada Simulasi 41
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS DATA 47
4.1. Hasil Simulasi Sebelum Rekonfigurasi 47
4.2. Hasil Simulasi Setelah Rekonfigurasi 53
4.3. Analisis Hasil Rekonfigurasi 61
BAB 5 PENUTUP 67
5.1. Kesimpulan 67
5.2. Saran 67
DAFTAR PUSTAKA 69
LAMPIRAN 1 71
LAMPIRAN 2 73
BIODATA PENULIS 75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Proses Penyaluran Tenaga Listrik 8
Gambar 2.2. Sistem Jaringan Distribusi Radial Sederhana 10
Gambar 2.3. Sistem Jaringan Distribusi Radial Pohon 11
Gambar 2.4. Sistem Jaringan Distribusi Radial dengan Tie dan Switch Pemisah 11
Gambar 2.5. Sistem Jaringan Distribusi Radial Tipe Pusat Beban..... 12
Gambar 2.6. Sistem Jaringan Distribusi Radial Tipe Phasa Area 13
Gambar 2.7. Karakteristik Beban Harian 15
Gambar 2.8. Contoh Single Line Diagram Jaringan Distribusi Radial . 18
Gambar 2.9. Flowchart Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) 24
Gambar 3.1. Flowchart Penelitian..... 27
Gambar 3.2. Single Line Diagram Penyulang Kebomas..... 32
Gambar 3.3. Data Beban Penyulang Kebomas saat Siang dan Malam . 33
Gambar 3.4. Single Line Diagram Penyulang Gubernur Suryo 35
Gambar 3.5. Data Beban Penyulang Gubernur Suryo saat Siang dan Malam 36
Gambar 3.6. Single Line Diagram Penyulang Bunder 38
Gambar 3.7. Data Beban Penyulang Bunder saat Siang dan Malam..... 39
Gambar 3.8. Pemodelan Terpusat dari Beban Tersebar (a) Beban Tersebar (b) Beban Terpusat 42
Gambar 3.9. Pemodelan Sistem Jaringan Distribusi menjadi Sistem Bus (a) Sistem Jaringan Distribusi Kondisi Nyata (b) Sistem Distibusi Bus 42
Gambar 3.10. Single Line Diagram 56 Bus 43
Gambar 4.1. Single Line Diagram Setelah Rekonfigurasi 54
Gambar 4.2. Grafik Rugi - Rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi saat LWBP..... 63
Gambar 4.3. Grafik Rugi - Rugi Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi saat LWBP..... 63
Gambar 4.4. Grafik Rugi - Rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi saat WBP 64
Gambar 4.5. Grafik Rugi - Rugi Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi saat WBP 64

Gambar 4.6. Grafik Tegangan Setelah Rekonfigurasi saat LWBP 66
Gambar 4.7. Grafik Tegangan Setelah Rekonfigurasi saat WBP 66

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Data Generator Bus 29
Tabel 3.2. Data Kabel yang Digunakan pada Jaringan Distribusi 30
Tabel 3.3. Data Impedansi Saluran Penyulang Kebomas 33
Tabel 3.4. Data Pengukuran Beban Penyulang Kebomas Tahun 2019 . 34
Tabel 3.5. Data Impedansi Saluran Penyulang Gubernur Suryo 36
Tabel 3.6. Data Pengukuran Beban Penyulang Gubernur Suryo Tahun 2019..... 37
Tabel 3.7. Data Impedansi Saluran Penyulang Bunder 39
Tabel 3.8. Data Pengukuran Beban Penyulang Bunder Tahun 2019..... 40
Tabel 3.9. Loops dari Sistem 54 Bus..... 44
Tabel 4.1. Data Tegangan Sebelum Rekonfigurasi pada Penyulang Kebomas..... 48
Tabel 4.2. Data Rugi - Rugi Daya Sebelum Rekonfigurasi pada Penyulang Kebomas..... 48
Tabel 4.3. Data Rugi - Rugi Daya Sebelum Rekonfigurasi pada Penyulang Kebomas (lanjutan) 49
Tabel 4.4. Data Tegangan Sebelum Rekonfigurasi pada Penyulang Gubernur Suryo..... 49
Tabel 4.5. Data Rugi - Rugi Daya Sebelum Rekonfigurasi pada Penyulang Gubernur Suryo 50
Tabel 4.6. Data Tegangan Sebelum Rekonfigurasi pada Penyulang Bunder..... 51
Tabel 4.7. Data Rugi - Rugi Daya Sebelum Rekonfigurasi pada Penyulang Bunder 52
Tabel 4.8. Total Rugi - Rugi Daya Sebelum Rekonfugurasi 53
Tabel 4.9. Data Tegangan Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Kebomas..... 55
Tabel 4.10. Data Rugi - Rugi Daya Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Kebomas..... 55
Tabel 4.11. Data Rugi - Rugi Daya Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Kebomas (lanjutan) 56
Tabel 4.12. Data Tegangan Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Gubernur Suryo..... 56
Tabel 4.13. Data Rugi - Rugi Daya Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Gubernur Suryo 57

Tabel 4.14. Data Tegangan Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Bunder 58
Tabel 4.15. Data Rugi - Rugi Daya Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Bunder 59
Tabel 4.16. Total Rugi - Rugi Daya Sesudah Rekonfugurasi..... 61
Tabel 4.17. Hasil Simulasi Rekonfigurasi Jaringan Menggunakan BPSO 61
Tabel 4.18. Hasil Simulasi Rekonfigurasi Jaringan Menggunakan BPSO (lanjutan)..... 62

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan akan tenaga listrik semakin meningkat seiring dengan perkembangan ekonomi dan jumlah penduduk di Indonesia. Secara umum, baik buruknya sistem penyaluran dan distribusi tenaga listrik terutama adalah ditinjau dari kualitas daya yang diterima oleh pelanggan. Kualitas daya yang baik, antara lain meliputi kapasitas daya yang memenuhi dan tegangan yang selalu dijaga konstan.

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik dari sistem transmisi menuju ke beban secara langsung (konsumen). Sistem distribusi memiliki nilai tegangan sebesar 20 kV sehingga masuk dalam kategori Jaringan Tegangan Menengah (JTM). Pada pusat - pusat beban dilayani oleh gardu distribusi. Gardu distribusi merupakan sebuah trafo penurun tegangan dari tegangan 20 kV ke tegangan 380/220 V. Gardu - gardu distribusi ini tersebar sepanjang saluran distribusi, tergantung dari jumlah dan kapasitas beban yang dilayani. Daerah-daerah yang mempunyai kepadatan beban tinggi dan tersebar akan mengakibatkan jumlah gardu sepanjang saluran distribusi menjadi banyak.[1]

PT. PLN (Persero) sebagai perusahaan penyedia daya listrik yang melayani hampir seluruh sistem kelistrikan di Indonesia sudah sewajarnya terus meningkatkan kualitas dan mutu pelayanan daya listrik ke pelanggan serta menjaga efisiensi penyaluran daya listrik. Sektor distribusi merupakan sektor yang paling dekat dengan pelanggan. Sistem jaringan distribusi dapat dikatakan sebagai ujung tombak pelayanan kelistrikan.

Setiap penyulang pada sistem distribusi memiliki karakteristik yang berbeda bergantung dari beban yang dipikulnya. Ada penyulang yang menyuplai beban rumah tangga, industri, pusat bisnis, dan lain - lain. Hal ini berakibat beban puncak (*Load Peak*) pada trafo Gardu Induk pada setiap penyulang atau *section* penyulang terjadi pada waktu yang berbeda. Untuk itu, diperlukan suatu tindakan yakni rekonfigurasi jaringan distribusi sehingga memungkinkan untuk menyalurkan beban dari penyulang dengan beban penuh ke penyulang yang memiliki beban sedikit. Kegiatan manuver ini sangat efektif bukan hanya untuk mengatasi masalah kelebihan beban pada penyulang namun juga dapat

memperbaiki kualitas tegangan sepanjang penyulang dan mengurangi rugi daya pada jaringan distribusi.

1.2. Perumusan Masalah

PT. PLN (Persero) ULP Giri memiliki jaringan distribusi primer banyak dan kompleks yang disuplai oleh beberapa Gardu Induk. Hal ini memungkinkan untuk timbulnya rugi - rugi daya. Untuk itu, diperlukan rekonfigurasi jaringan serta analisis jaringan distribusi untuk mengurangi rugi daya yang terjadi. Rekonfigurasi jaringan dilakukan dengan meninjau jaringan distribusi primer, memilih penyulang yang memungkinkan untuk dilakukan rekonfigurasi menggunakan BPSO dan melakukan pemodelan sistem bus untuk simulasi BPSO. Dari hasil simulasi dilakukan analisis hasil optimasi dengan mendapatkan rugi daya yang paling kecil serta membandingkan rugi daya aktif yang terjadi sebelum maupun setelah dilakukannya rekonfigurasi.

1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut

10. Melakukan pengamatan jaringan distribusi primer PT. PLN (Persero) ULP Giri
11. Menentukan penyulang yang akan dilakukan rekonfigurasi menggunakan metode *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO)
12. Memodelkan sistem jaringan distribusi menjadi sistem bus untuk proses simulasi
13. Menganalisis bentuk rekonfigurasi jaringan baru pada sistem jaringan distribusi primer PT. PLN (Persero) ULP Giri
14. Membandingkan dan menganalisis hasil simulasi program sebelum dan sesudah dilakukan rekonfigurasi jaringan distribusi primer PT. PLN (Persero) ULP Giri
15. Memperoleh rugi daya seminimal mungkin dari rekonfigurasi jaringan
16. Memberikan rekomendasi penempatan letak *tie switches* yang paling efisien pada sistem jaringan distribusi

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini menggunakan sistem jaringan distribusi penyulang pada sistem distribusi primer bertegangan 20 kV PT. PLN (Persero) ULP Giri, Gresik yaitu penyulang Kebomas, penyulang Gubernur Suryo, dan penyulang Bunder.
2. Penyulang yang digunakan telah disederhanakan menjadi sistem 54 *bus* dengan 56 *branch*.
3. *Software* yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah MATLAB R2017a.
4. Fungsi Objektif yang digunakan dalam proses optimasi adalah meminimalkan rugi - rugi daya pada sistem jaringan distribusi primer bertegangan 20 kV.
5. Sistem jaringan distribusi yang digunakan adalah sistem jaringan distribusi radial.
6. Dalam tugas akhir ini, analisa aliran daya tidak dibahas secara mendetail.
7. Tidak mempertimbangkan harmonisa dan koordinasi proteksi pada sistem.

1.5. Metodologi

Metodologi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan membaca buku-buku, jurnal, dan *paper* pendukung yang berkaitan dengan rekonfigurasi jaringan dengan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO), khususnya *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO). Selain itu mempelajari literatur yang berkaitan dengan perangkat lunak MATLAB serta *manual book* dari *MATPOWER*.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data penyulang yang meliputi *single line diagram* penyulang, data beban, data trafo dan data saluran jaringan distribusi. *Single line diagram* penyulang terdiri dari data letak tiap trafo dan beban penyulang. Data beban terdiri dari data daya aktif dan daya reaktif pada setiap bus. Data trafo terdiri dari data pembebanan trafo, nomor gardu serta letak trafo. Data saluran terdiri dari data resistansi dan reaktansi kabel serta panjang saluran. Data – data tersebut kemudian akan digunakan dalam perhitungan untuk

memperoleh parameter – parameter seperti tegangan, arus, rugi daya serta parameter lainnya.

3. Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan dengan memodelkan data – data yang diperoleh ke dalam program untuk mendapatkan rugi daya yang minimal pada jaringan distribusi. Pemodelan dimaksudkan untuk mengetahui aliran daya dari sistem distribusi dan memperoleh kombinasi *tie switches* serta konfigurasi jaringan dengan rugi - rugi daya minimal. Pemodelan untuk penentuan kombinasi *tie switches* dilakukan dengan menggunakan metode *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO).

4. Simulasi Data

Simulasi dilakukan pada sistem jaringan distribusi radial. Simulasi dilakukan dengan melakukan pemodelan penyulang menjadi sistem 54 bus dengan 56 *branch* pada *software* MATLAB R2017a dengan menggunakan metode *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO).

5. Analisis Data

Setelah dilakukan simulasi data pada MATLAB. Hasil simulasi kemudian dianalisis perbedaan sebelum dan setelah rekonfigurasi jaringan distribusi berkaitan dengan rugi daya pada saluran dan peletakan *tie switches* pada saluran.

6. Kesimpulan

Penarikan kesimpulan didasarkan pada hasil analisis data yang diperoleh dari simulasi, perhitungan rugi daya sebelum dan sesudah dilakukan analisis jaringan serta terkait dengan perubahan kombinasi *tie switches* yang terpasang.

7. Penyusunan Laporan

Hasil penelitian yang dilakukan kemudian disusun dalam bentuk laporan tugas akhir. Laporan tugas akhir berisi teori penunjang, metode penelitian, dan kesimpulan yang menggambarkan hasil dari pembahasan.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini terbagi atas lima bagian dan masing-masing bab terurai sebagai berikut:

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisi penjelasan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi penelitian ini.

BAB 2 Kajian Pustaka dan Dasar Teori

Bab ini berisi teori penunjang yang membahas tentang sistem distribusi radial, aliran daya, rekonfigurasi jaringan, metode *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO), mengurasi rugi - rugi daya pada sistem jaringan distribusi.

BAB 3 Pemodelan Sistem

Bab ini membahas tentang data dan pemodelan jaringan yang akan digunakan.

BAB 4 Hasil Simulasi dan Analisis Data

Bab ini membahas tentang hasil simulasi rekonfigurasi jaringan distribusi radial yang menghasilkan konfigurasi jaringan dengan rugi - rugi daya minimal.

BAB 5 Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dari analisis yang dilakukan pada tugas akhir dan saran yang berkaitan dengan tugas akhir.

1.7. Relevansi

Penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

1. Dapat dijadikan acuan dalam perencanaan sistem jaringan distribusi yang akan dilakukan rekonfigurasi untuk meminimalkan rugi - rugi daya jaringan distribusi.
2. Dapat dilakukan acuan untuk menentukan letak *tie – switches* dalam rekonfigurasi jaringan distribusi.
3. Mendapatkan hasil rugi daya aktif paling minimal dari metode *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO).
4. Dapat memberikan kontribusi untuk meningkatkan efisiensi jaringan distribusi primer pada PT. PLN (Persero) ULP Giri Gresik.
5. Menjadi referensi bagi mahasiswa yang hendak mengambil masalah serupa untuk penelitian.
6. Menjadi referensi penelitian untuk mengembangkan metode optimasi yang lebih handal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

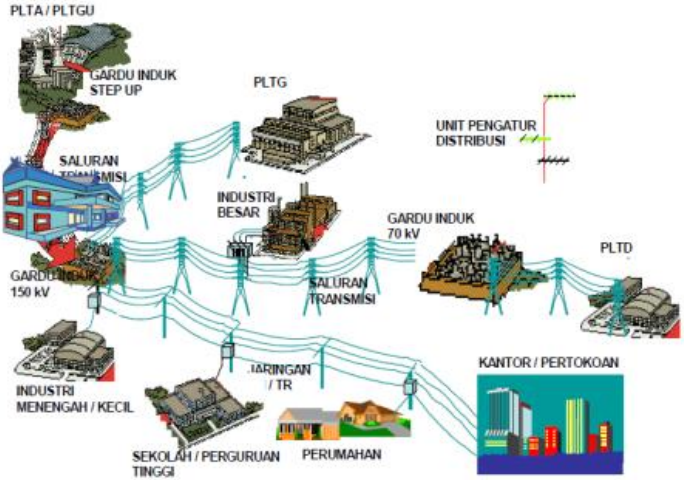
2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringandistribusi. Adapun sistem tenaga listrik divisualisasikan seperti pada **Kesalahan! Bukan swa-referensi b ookmark yang valid.**. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikan tegangannya oleh Gardu Induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir (I^2.R). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada Gardu Induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV,UHV,EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahalnya harga perlengkapanperlengkapannya, selain menjadi tidak

cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo-trafo step-down. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda.



Gambar 2.1. Proses Penyaluran Tenaga Listrik

Pada umumnya, sistem distribusi tenaga listrik berdasarkan nilai tegangannya dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Sistem distribusi primer
2. Sistem distribusi sekunder

Sistem distribusi primer biasa disebut dengan istilah Jaringan Tegangan Menengah (JTM) menyalurkan daya listrik dari Gardu Induk ke pusat – pusat beban (primer trafo distribusi). Pada sistem distribusi sekunder tegangan yang digunakan merupakan tegangan menengah yaitu 6 kV sampai 20 kV. Sedangkan sistem distribusi sekunder atau yang biasa disebut Jaringan Tegangan Rendah (JTR) menyalurkan daya listrik dari sisi sekunder trafo distribusi menuju beban (pelanggan listrik).

2.1.1 Sistem Disribusi Primer

Sistem distribusi primer menyalurkan daya listrik dari Gardu Induk (GI) menuju ke pusat – pusat beban (primer trafo distribusi). Sistem ini dapat berupa saluran udara, kabel udara maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan dan kondisi dari lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan di suplai daya listrik sampai ke pusat beban. Terdapat bermacam – macam bentuk jaringan distribusi primer antara lain sistem distribusi radial, sistem distribusi loop, sistem distribusi spindle dan sistem distribusi mesh.

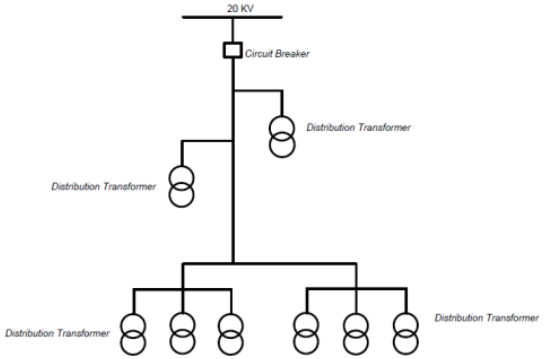
2.1.2 Sistem Distribusi Sekunder

Sistem distribusi sekunder menyalurkan daya listrik dari trafo distribusi menuju pelanggan - pelanggan (beban). Sistem ini Terletak mulai dari sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban.

Dalam penelitian tugas akhir ini, peneliti menggunakan sistem distribusi tipe radial, sesuai dengan model sistem jaringan distribusi yang digunakan PT. PLN (Persero) ULP Giri, Gresik.

2.2. Sistem Jaringan Distribusi Radial

Sistem jaringan distribusi radial merupakan bentuk sistem jaringan yang paling banyak digunakan dan paling sederhana. Jaringan distribusi tipe ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang – cabang ke titik – titik beban yang dilayani sehingga dinamakan radial. Bentuk yang sederhana dan biaya investasi yang relatif murah menjadi kelebihan dari sistem jaringan ini. Konfigurasi sistem jaringan distribusi radial diperlihatkan pada Gambar 2.2.

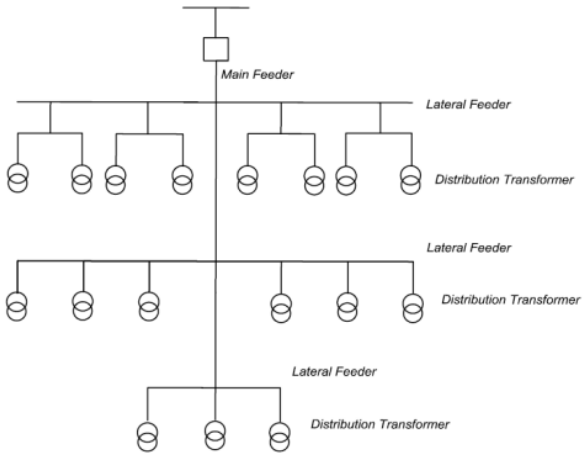


Gambar 2.2. Sistem Jaringan Distribusi Radial Sederhana

Arus beban yang mengalir pada sepanjang saluran memiliki nilai yang tidak sama besar dikarenakan suplai daya berasal dari satu titik sumber dan terdapat percabangan–percabangan. Luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ukurannya tidak harus sama dikarenakan kerapatan arus beban pada setiap titik sepanjang saluran tidak sama besar. Sehingga saluran yang memiliki jarak jauh dari sumber menanggung arus beban kecil sehingga penampangnya relatif kecil, sedangkan saluran yang dekat dengan sumber akan menanggung arus beban besar sehingga ukuran penampangnya relatif besar.

2.2.1 Sistem Jaringan Distribusi Radial Pohon

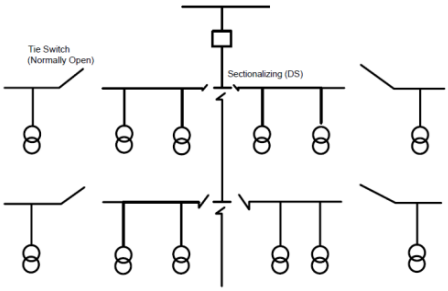
Sistem jaringan distribusi radial pohon merupakan bentuk yang paling sederhana dari sistem jaringan radial. Saluran utama (*main feeder*) ditarik dari suatu Gardu Induk sesuai dengan kebutuhan, kemudian dicabangkan melalui saluran cabang, selanjutnya dicabangkan lagi melalui saluran anak cabang. Ukuran dari masing -masing saluran tergantung pada kerapatan arus yang ditanggung. Dari gambar 2.3 dapat dilihat bahwa saluran utama merupakan saluran yang dialiri arus terbesar, kemudian arus ini berkurang (mengecil) pada setiap cabang bergantung pada besar beban. Konfigurasi sistem jaringan distribusi radial pohon diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Sistem Jaringan Distribusi Radial Pohon

2.2.2 Sistem Jaringan Distribusi Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

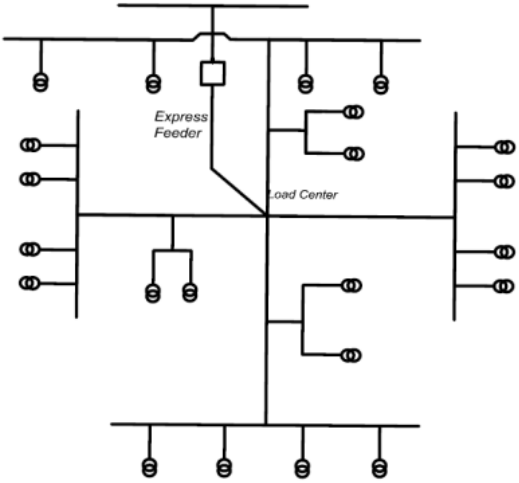
Sistem jaringan distribusi radial dengan tie dan switch pemisah merupakan pengembangan dari sistem jaringan radial pohon, pengembangan ini memiliki tujuan untuk meningkatkan keandalan sistem dimana apabila terjadi gangguan maka penyulang yang terganggu akan dilokalisir, area yang semula dilayani penyulang tersebut pelayanannya dialihkan pada penyulang yang sehat atau tidak terganggu. Konfigurasi sistem jaringan distribusi radial dengan *Tie* dan *Switch* pemisah diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Sistem Jaringan Distribusi Radial dengan Tie dan Switch Pemisah

2.2.3 Sistem Jaringan Distribusi Radial Tipe Pusat Beban

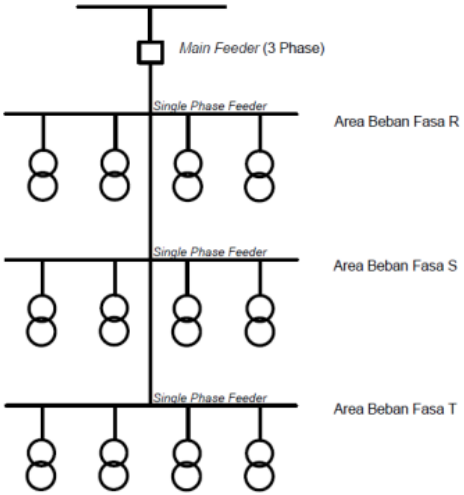
Sistem jaringan distribusi radial tipe pusat beban memiliki bentuk rekonfigurasi yaitu mensuplai daya dengan menggunakan penyulang utama ke pusat beban, kemudian dari titik pusat beban dicabangkan lagi secara radial. Bentuk sistem jaringan radial tipe pusat beban dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Sistem Jaringan Distribusi Radial Tipe Pusat Beban

2.2.4 Sistem Distribusi Jaringan Radial Tipe *Phase Area*

Sistem jaringan distribusi radial dengan tipe *phase area* memliki karakteristik masing – masing fasa dari jaringan memiliki tugas melayani daerah beban yang berlainan. Bantuk ini akan dapat menimbulkan akibat kondisi sistem 3 fasa yang tidak seimbang apabila digunakan pada daerah beban baru dan belum sesuai pembagian bebannya. Oleh karena itu, bentuk ini hanya sesuai untuk daerah beban yang stabil dan pembagian maupun penambahan bebannya dapat diatur merata dan simetris pada setiap fasanya. Bentuk sistem jaringan radial tipe pusat beban dapat dilihat pada Gambar 2.6 [2]



Gambar 2.6. Sistem Jaringan Distribusi Radial Tipe Phasa Area

2.3. Klasifikasi Jenis Beban

Berdasarkan jenis konsumen energi listrik secara garis besar, ragam beban dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori. Berikut adalah penjelasannya.

1. Beban rumah tangga

Pada umumnya beban rumah tangga berupa lampu untuk penerangan, alat rumah tangga, seperti kipas angin, pemanas air, lemari es, penyejuk udara, mixer, oven, motor pompa air dan sebagainya. Beban rumah tangga biasanya memuncak pada malam hari.

2. Beban komersial

Pada umumnya beban komersial terdiri atas penerangan untuk reklame, kipas angin, penyejuk udara dan alat - alat listrik lainnya yang diperlukan untuk restoran. Beban hotel juga diklasifikasikan sebagai beban komersial (bisnis) begitu juga perkantoran. Beban ini secara drastis naik di siang hari untuk beban perkantoran dan pertokoan dan menurun di waktu sore.

3. Beban industri

Pada jenis beban ini dibedakan dalam skala kecil dan skala besar. Untuk skala kecil banyak beroperasi di siang hari sedangkan industri besar sekarang ini banyak yang beroperasi sampai 24 jam.

4. Beban lain - lain

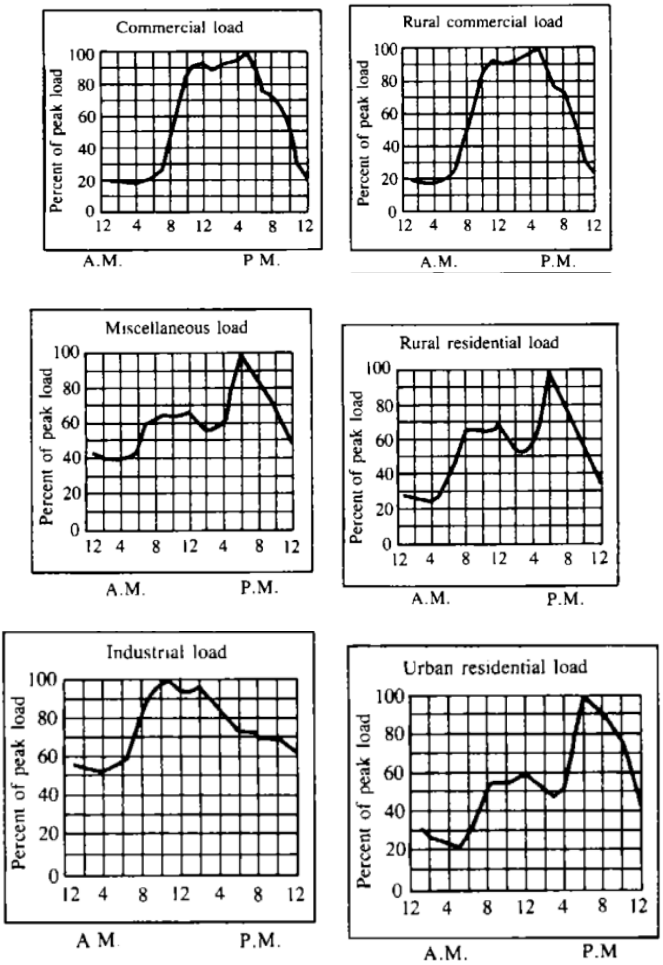
Pada umumnya, beban ini adalah beban fasilitas umum yang terdiri dari penerangan jalan (PJU), kantor polisi, pusat pemerintahan, rumah sakit dan lain - lain. Untuk pembebanannya lebih dominan pada siang hari dan malam hari.

Pengklasifikasian ini sangat penting. Tujuannya adalah apabila kita melakukan analisa karakteristik beban untuk suatu sistem yang sangat besar. Perbedaan yang paling prinsip dari empat jenis beban diatas, selain dari daya yang digunakan dan juga waktu pembebanannya. Pemakaian daya pada beban rumah tangga akan lebih dominan pada pagi dan malam hari, sedangkan pada beban komersil akan lebih dominan pada siang dan sore hari. Pemakaian daya pada industri akan lebih merata. Hal ini karena banyak industri yang bekerja siang malam. Maka dilihat dari sini, jelas pemakaian daya pada industri akan lebih menguntungkan karena kurva bebannya akan cenderung lebih merata. Sedangkan pada beban fasilitas umum lebih dominan pada siang dan malam hari.

Pada beberapa daerah operasi tenaga listrik memberikan ciri tersendiri, misalnya daerah wisata, pelanggan bisnis mempengaruhi penjualan kWh walaupun jumlah pelanggan bisnis jauh lebih kecil dibanding dengan pelanggan rumah tangga.[3]

2.3.1 Karakteristik Beban

Pengukuran tiap jam selama 24 jam pada berbagai jenis beban akan mendapatkan bentuk kurva (*load curve*) yang berbeda-beda sesuai jenis beban. Masing - masing kurva beban memiliki bentuk yang khas seperti pada Gambar 2.7 berikut. Kurva beban tersebut menunjukan variasi pembebanan selama 24 jam.[4]



Gambar 2.7. Karakteristik Beban Harian

Dari Gambar 2.7 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Beban perumahan baik di perkotaan maupun di pedesaan yang ditujukkan grafik mengalami beban puncak pada pukul 18.00 sampai pukul 22.00 .

2. Beban industri yang ditunjukkan grafik mengalami waktu puncak pada siang hari ketika jam kerja yaitu pukul 08.00 sampai pukul 16.00. Sedangakan industri yang beroperasi siang dan malam akan memiliki kurva yang seimbang antara siang dan malam.
3. Beban komersial yang ditunjukkan grafik mulai naik pukul 09.00 sampai pukul 18.00.
4. Beban lain - lain yang ditunjukkan grafik memiliki karakteristik hampir sama dengan beban perumahan, yakni mengalami beban puncak pada pukul 18.00 sampai pukul 22.00.[5]

2.4. Rekonfigurasi Jaringan Distribusi

Sistem distribusi disuplai dari Gardu Induk yang terbagi menjadi beberapa penyulang/penyulang menuju ke pelanggan listrik. Tipe penyulang yang digunakan adalah radial dimana antara penyulang yang satu dengan yang lain dapat dihubungkan dengan mengoperasikan *tie switch. Tie switch* dengan posisi terbuka pada kondisi normal ini sangat berperan untuk proses rekonfigurasi jaringan sehingga rugi daya dapat berkurang. Jika suatu penyulang mengalami gangguan, daerah yang padam sementara dapat disuplai kembali secara cepat dengan membuat konfigurasi jaringan baru dengan mengoperasikan beberapa *tie switch.* Dalam jaringan distribusi tenaga listrik, mengubah status *tie switch* dari *normally open* (NO) ke *normally closed* (NC) atau sebaliknya merupakan perubahan struktur topologi dari jaringan distribusi.

Rekonfigurasi jaringan distribusi adalah kegiatan mengatur ulang konfigurasi jaringan dengan cara membuka dan menutup *switch* pada jaringan distribusi. Rekonfigurasi jaringan dapat mengurangi rugi jaringan serta meningkatkan keandalan sistem distribusi.

Konfigurasi jaringan dilakukan dengan alasan utama sebagai berikut:

1. Dapat memberikan layanan kepada sebanyak mungkin konsumen bahkan dalam kondisi pemadaman yang direncanakan untuk tujuan pemeliharaan.
2. Menjaga sistem agar tidak memuat elemen jaringan secara berlebihan dengan menyeimbangkan beban.
3. Rugi - rugi daya jaringan distribusi berkurang. [6]

2.5. Analisis Aliran Daya Sistem Distribusi

Analisis aliran daya pada sistem distribusi menghasilkan beberapa parameter seperti nilai arus, tegangan, dan daya di setiap *bus.* Analisis aliran daya mampu menghitung aliran beban untuk normal dan kondisi operasi darurat. [7] . Beberapa metode analisis daya yang umum digunakan adalah *Gauss – Seidel, Newton Raphson, Fast Decoupled* dan *Forward - Backward Sweep*. Pada penelitian ini menggunakan analisis aliran daya *Forward - Backward Sweep*.

2.5.1 Metode *Forward - Backward Sweep*

Metode *Forward - Backward Sweep* merupakan salah satu metode dalam analisis aliran daya yang perhitungannya terdiri daru dua bagian, yakni *forward sweep* dan *backward sweep.*

1. Pada *backward sweep,* perhitungan dimulai dari titik ujung terjauh dari jaringan, arus beban pada titik beban. Pada iterasi pertama, tegangan dari semua titik diasumsikan sama dengan tegangan pada sumber utama. Jika ada beberapa sumber pada jaringan, arus injeksi kompensasi pada sumber tersebut bernilai nol pada iterasi pertama. Disisi lain, tegangan pada masing - masing titik dan arus injeksi kompensasi dihitung pada iterasi sebelumnya. Ketika tegangan pada masing - masing titik dan arus injeksi kompensasi sudah diketahui, arus beban dapat dicari dengan persamaan berikut.

   $$I_{ldi} = \left[\frac{Pi+jQi}{Vi}\right]^* \quad (2.1)$$

   dengan,
   I_{ldi} = Arus beban pada titik i
   P_i = Kebutuhan daya aktif pada titik i
   Q_i = Kebutuhan daya reaktif pada titik i
   V_i = Tegangan pada titik i
2. Pada *forward sweep*, perhitungan dimulai dari titik sumber utama dimana nilai tegangannya diketahui, impedansi dan arus yang mengalir pada masing - masing saluran sudah diketahui. Semua tegangan titik diperbarui mengabaikan sumber lainnya apabila ada. Perhitungannya adalah sebagai berikut. [8]

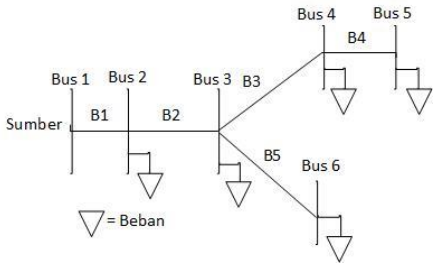
   $$V_i = V_{vi} - Z_i I_{Li} \quad (2.2)$$
   $$i = I, \ldots, N \quad (2.3)$$

   Dimana:

V_i = Tegangan pada titik i
V_{vi} = Tegangan pada atas dari titik i
Z_i = Impedansi saluran i
I_{Li} = Arus yang mengalir pada saluran i

3. Metode *Network Topology*

Sebelum mengimplementasikan metode *Forward - Backward Sweep*, maka diperlukan modifikasi perhitungan untuk memudahkan dalam membentuk persamaan dan proses iterasi. Salah satunya adalah dengan membentuk matriks BIBC (*Bus Injection to Branch Current*). Matriks BIBC (*Bus Injection to Branch Current*) merupakan matriks hubungan antara arus dan saluran pada sistem distribusi. Adapun contoh *single line diagram* jaringan distribusi listrik divisualisasikan seperti Gambar 2.8



Gambar 2.8. Contoh Single Line Diagram Jaringan Distribusi Radial

Dari gambar diatas, didapatkan persamaan untuk membentuk matriks BIBC. Persamaan matriks BIBC ini dibuat dengan menggunakan hukum *Kirchoff* untuk arus (*Kirchoff Current Law*). Arus cabang I terhadap bus/saluran B. Maka persamaan yang didapat adalah seperti berikut :

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad 2.4$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad 2.5$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad 2.6$$

$$B_4 = I_5 \quad 2.7$$

$$B_5 = I_6 \quad 2.8$$

Setelah didapatkan persamaan diatas kemudian dibentuk matrik BIBC adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I2 \\ I3 \\ I4 \\ I5 \\ I6 \end{bmatrix} \qquad (2.9)$$

Pada matriks diatas, terdapat angka 1 dan 0. Angka 1 menyatakan adanya hubungan antara arus dan saluran pada sistem distribusi dan angka 0 menyatakan tidak adanya hubungan antara keduanya.

Matriks BIBC diatas dapat di sederhanakan menjadi sebagai berikut :

$$[B] = [\boldsymbol{BIBC}][I] \qquad (2.10)$$

Kemudian didapatkan persamaan untuk menghitung *drop* tegangan pada setiap bus adalah sebagai berikut :

$$V_2 = V_1 - B_1 . Z_{12} \qquad (2.11)$$

$$V_3 = V_1 - B_1 . Z_{12} - B_2 . Z_{23} \qquad (2.12)$$

$$V_4 = V_1 - B_1 . Z_{12} - B_2 . Z_{23} - B_3 . Z_{34} \qquad (2.13)$$

$$V_5 = V_1 - B_1 . Z_{12} - B_2 . Z_{23} - B_3 . Z_{34} - B_4 . Z_{45} \qquad (2.14)$$

$$V_6 = V_1 - B_1 . Z_{12} - B_2 . Z_{23} - B_5 . Z_{36} \qquad (2.15)$$

Dari persamaan diatas dapat dibentuk matrik BCBV yang menyatakan bahwa ada hubungan antara tegangan bus dan arus saluran. Bentuk matrik BCBV sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \qquad (2.16)$$

Matrik BCBV diatas dapat di sederhanakan menjadi berikut :

$$[\Delta V] = [\boldsymbol{BCBV}][B] \qquad (2.17)$$

Kemudian didapatkan persamaan untuk matrik ΔV dengan mensubstitusikan persamaa BIBC dengan persamaan BCBV. Persamaan yang didapat adalah sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [\boldsymbol{BCBV}][\boldsymbol{BIBC}][I]\ [\Delta V] = [\boldsymbol{DLF}][I] \qquad (2.18)$$

Dengan didapatkan matrik BIBC, BCBV dan ΔV, maka dapat menghitung nilai tegangan pada setiap bus. Persamaan untuk menghitung nilai tegangan pada setiap bus adalah sebagai berikut :

$$[\mathrm{Vi}] = [\mathrm{V1}] - [\Delta \mathrm{V}] \qquad (2.19)$$

a. Metode *K - Matrik*

Metode *K-matrik* merupakan metode yang dapat digunakan untuk memodifikasi perhitungan sehingga memudahkan untuk membentuk persamaan yang diperlukan dalam pengimplementasian metode *Forward – Backward Sweep* untuk menganalisa aliran daya pada sistem distribusi radial. Pada penelitian tugas akhir ini, metode *K-matrik* digunakan untuk membuat matrik BIBC. Sama dengan matrik BIBC, metode *K-matrik* ini membentuk matrik dari saluran distribusi radial yang menunjukkan arah arus dari satu bus ke bus yang lain. Perbedaannya adalah pada *K-Matrik* memiliki komponen yang nilainya berlawanan dengan setiap komponen matriks BIBC. Tetapi bentuk dari *K-matrik* terdapat persamaan bentuk dan komposisi dari matrik BIBC.

Pada gambar *single line diagram* diatas, didapat *K-matrik* sebagai berikut.

$$\begin{array}{c} \\ B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} \mathrm{Bus}_2 & \mathrm{Bus}_3 & \mathrm{Bus}_4 & \mathrm{Bus}_5 & \mathrm{Bus}_6 \end{array} \\ \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \end{array} \qquad (2.20)$$

Dari metode *Network Topologi* sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa persamaan untuk menghitung *drop* tegangan adalah sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I2 \\ I3 \\ I4 \\ I5 \\ I6 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Hubungan antara *K-matrik* dan BIBC adalah sebagai berikut.

$$[BIBC] = -[K\text{−}matrik] \quad (2.22)$$

Untuk membuat matrik BCBV adalah dengan melakukan *transpose* matrik BIBC atau *K-matrik* kemudian dikalikan dengan matrik impedansi saluran. Berikut adalah persamaannya.

BCBV = -[K-matrik]'.*[ImpedansiSaluran]

$$\text{BCBV} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Untuk menghitung *drop* tegangan pada setiap saluran dengan menggunakan metode K-matrik adalah sebagai berikut

[ΔV] = -[K-matrik]'.*[ImpedansiSaluran]* -[K-matrik] * [I] (2.24)

2.6. Rugi Daya pada Sistem Distribusi

Sistem jaringan distribusi merupakan sistem jaringan listrik yang langsung terhubung dengan beban. Hal ini berakibat sistem distribusi sangat sensitif apabila terjadi penambahan beban. Akibat dari penambahan beban, arus yang mengalir pada sistem menjadi bertambah besar, sehingga mengakibatkan rugi - rugi daya yang besar. Oleh karena itu, suatu tindakan diperlukan untuk mengurangi rugi - rugi daya jaringan distribusi. Salah satu cara yang digunakan adalah rekonfigurasi jaringan distribusi.

Rekonfigurasi jaringan distribusi adalah suatu cara untuk mengurangi rugi - rugi daya pada jaringan distribusi Cara untuk mengurangi rugi - rugi daya adalah dengan mengatur ulang konfigurasi

jaringan dengan membuka dan menutup switch yang terdapat pada jaringan distribusi sehingga arus yang mengalir pada jaring distribusi dapat diatur.

Pada penelitian tugas akhir ini, fungsi objektif dalam penelitian ini adalah untuk meminimalkan rugi jaringan.

$$Minimize\ F = Minimal\ (Ploss) \quad 2.25$$

$$Ploss = {I_p}^2 R \quad 2.26$$

$$Qloss = {I_p}^2 X \quad 2.27$$

$$V_{min} < |V_p| < V_{max} \quad 2.28$$

$$I_p \leq I_{p,max} \quad 2.29$$

Dimana

$Ploss$ adalah rugi - rugi daya aktif dari sistem

$Qloss$ adalah rugi – rugi daya reaktif dari sistem

$|V_p|$ adalah besarnya tegangan dari bus p

V_{min} dan V_{max} adalah batas tegangan minimal dan maksimal

Nilai V_{min} = 0,9 p.u dan V_{max} = 1,0 p.u

Rugi - rugi daya jaringan distribusi secara keseluruhan dapat ditentukan dengan cara menjumlahkan nilai rugi - rugi daya dari semua cabang seperti pada persamaan berikut.

$$Ploss_{Total} = \sum_{k=1}^{n} i^2 R \quad 2.30$$

$$Qloss_{Total} = \sum_{k=1}^{n} i^2 X \quad 2.31$$

Dimana n adalah jumlah cabang pada suatu penyulang.[9]

2.7. Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) adalah teknik optimasi berbasis populasi yang dikembangkan oleh James Kennedy dan Russ Eberhart pada tahun 1995. Teknik ini terinspirasi oleh tingkah laku

sosial pada kawanan burung yang terbang berduyun - duyun (*bird flocking*) atau gerombolan ikan yang berenang berkelompok (*fish schooling*). Kawanan burung bangau yang sangat banyak dapat terbang membentuk formasi tertentu tanpa bertabrakan satu sama lain. Gerombolan ikan yang berjumlah ribuan dapat bergerak sangat cepat tanpa tabrakan meskipun jarak antar ikan sangat dekat. Kecerdasan seperti inilah yang diadopsi oleh kedua ilmuwan tersebut untuk membangun suatu teknik optimasi yang disebut *Particle Swarm Optimization* (PSO). Kata "*particle*" karena pada dasarnya banyak makhluk hidup yang memiliki kecerdasan seperti burung dan ikan, misalkan belalang, lebah, dan sebagainya.

2.7.1 Konsep Dasar *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Particle Swarm Optimization merupakan algoritma optimisasi yang menyimulasikan kebiasaan dari burung berkelompok atau ikan berkerumun dan bagaimana cara mereka menemukan tempat tinggal sumber makanan atau habitat yang sesuai. Algoritma PSO mencari secara paralel menggunakan sekelompok individu.

Dalam teknik PSO dasar, diumpamakan ruang pencarian adalah dimensi – d.

Prosedur algoritma PSO dijelaskan sebagai berikut :

1. Inisialisasi populasi partikel yang terdistribusi *uniform* pada suatu bidang pencarian.
2. Evaluasi tiap-tiap posisi dari partikel terhadap fungsi objektif.
3. Jika posisi partikel saat ini lebih baik daripada posisi *best* sebelumnya, maka *update* posisi *best* (*Pbest* atau *Lbest*)
4. Tentukan *best* partikel menurut *best* posisi dari semua partikel tersebut (*Gbest*)
5. Perbaharui *velocity* dari tiap partikel menurut persamaan :

$$v_i(t+1) = v_i(t) + c_1 rand\left(p_p - x_i(t)\right) + c_2 rand(p_g - x_i(t)) \qquad 2.32$$

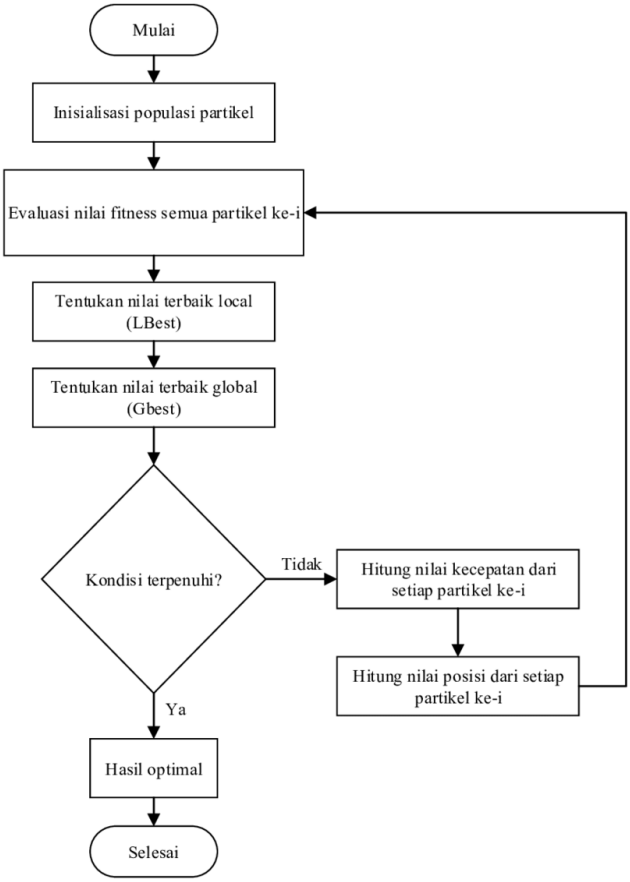
6. Pindahkan partikel pada posisi barunya menurut persamaan :

$$x_i(t+1) = x_i\,(t+1) + v_i(t+1) \qquad 2.33$$

7. Ulangi algoritma pada langkah kedua sampai kriteria yang ingin dicapai terpenuhi.

Setiap partikel memiliki nilai *fitness* yang dievaluasi menggunakan fungsi *fitness* untuk dioptimasi. Setiap partikel juga memiliki vektor *velocity* yang berupa kecepatan dan arah "terbang".

Partikel “terbang” di dalam ruang masalah mengikuti partikel - partikel yang optimum saat ini. Secara sederhana, langkah - langkah diatas dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Flowchart Algoritma Particle Swarm Optimization (*PSO*)

Setiap partikel memiliki nilai *fitness* yang dievaluasi menggunakan fungsi *fitness* untuk dioptimasi. Setiap partikel juga memiliki vektor *velocity* yang berupa kecepatan dan arah “terbang”. Partikel “terbang” di dalam ruang masalah mengikuti partikel - partikel yang optimum saat ini.[10]

2.8. *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO)

Pada PSO standar dirancang untuk mengatasi masalah optimasi fungsi kontinu. Hal ini tidak untuk mengatasi masalah optimasi fungsi diskrit. Oleh karena itu, Kennedy dan Eberhart mengusulkan versi modifikasi dari PSO yang disebut *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) yang dapat digunakan untuk memcahkan masalah optimasi fungsi diskrit.

Algoritma BPSO didesain untuk menyelesaikan masalah optimisasi secara kombinasi yang diskrit, dimana partikel mengambil nilai vektor biner dengan panjang n dan kecepatan yang didefinisikan sebagai probabilitas dari bit xn untuk mencapai nilai 1. BPSO membalikkan rumus untuk kecepatan bila kecepatan dibatasi pada interval [0,1] dengan membatasi fungsi transformasi dan dengan menggunakan fungsi sigmoid. Persamaan dari kecepatan seperti persamaan berikut.

$$V_{ij}(t) = sig\big((t)\big) = \frac{1}{1 + e^{-v_{ij}(t)}} \qquad 2.34$$

V_{ij} digunakan untuk memperbarui vektor kecepatan partikel. Posisi baru partikel diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$x_{ij}(t+1) = \begin{cases} 1 \;\; if \;\; r_{ij} < \; sig; (v_{ij}(t+1)) \\ 0 \;\; otherwise \end{cases} \qquad 2.35$$

Dimana r_{ij} adalah angka acak dalam batas [0,1]. [11]

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3
PEMODELAN SISTEM

Pada bab 3 akan dibahas mengenai langkah – langkah penelitian yang dibuat dalam diagram alir seperti pada Gambar 3.1.

Gambar 3.1. Flowchart Penelitian

3.1. *Single Line Diagram* PT. PLN (Persero) ULP Giri Gresik

Berdasarkan gambar lampiran 1 *single line digram* PT. PLN (Persero) ULP Giri Gresik disuplai oleh Gardu Induk yaitu:

1. Gardu Induk Petrokimia
2. Gardu Induk Alta Prima
3. Gardu Induk Segoromadu
4. Gardu Induk Cerme
5. Gardu Induk Manyar

Terdapat 37 penyulang pada PT. PLN (Persero) ULP Giri Gresik, yaitu:

1. Penyulang Industri
2. Penyulang Aspal
3. Penyulang Tri Darma
4. Penyulang KIG (Kawasan Industri Gresik)
5. Penyulang Eterindo
6. Penyulang OXO 1 & 2
7. Penyulang Meduran
8. Penyulang Gubsur (Gubernur Suryo)
9. Penyulang Puspetindo
10. Penyulang Kebomas
11. Penyulang Perumahan
12. Penyulang Berkat Bersama
13. Penyulang Sukorejo
14. Penyulang Wenang Sakti
15. Penyulang Indobaja 1 & 2
16. Penyulang Sentana 1 & 2
17. Penyulang Sentana 4 & 3
18. Penyulang Gramitama 1 2 3 4
19. Penyulang Pangsud
20. Penyulang Sentolang
21. Penyulang Prambangan
22. Penyulang Sekarkurung
23. Penyulang Bengawan
24. Penyulang Inti Sentosa
25. Penyulang Betoyo
26. Penyulang AWM
27. Penyulang Shell

28. Penyulang Sukomulyo
29. Penyulang Mengare
30. Penyulang Ujung Pangkah
31. Penyulang Maspion
32. Penyulang BEST
33. Penyulang Duduk Sampeyan
34. Penyulang Suci
35. Penyulang Bunder
36. Penyulang Ibnu Sina
37. Penyulang Icon Mall

3.2. Sistem Distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) ULP Giri Gresik

Pada penelitian Tugas Akhir ini menggunakan tiga penyulang pada sistem distribusi 20 KV PT. PLN (Persero) ULP Giri Gresik yaitu Penyulang Gubernur Suryo, penyulang Kebomas, dan Penyulang Bunder. Penyulang Kebomas dan Gubernur Suryo disuplai oleh Gardu Induk Petrokimia sedangkan penyulang Bunder disuplai oleh Gardu Induk Cerme. Ketiga penyulang tersebut dipilih karena memiliki jarak yang dekat untuk dapat dipasang *tie switch* dan saling terinterkoneksi satu dengan lain. Pemodelan yang dilakukan adalah untuk Gardu Induk dimodelkan sebagai *Generator Bus.* Sedangkan untuk Gardu Distribusi dimodelkan sebagai *Load Bus*.

Pada penelitian tugas akhir ini dibutuhkan data – data penunjang berupa data Gardu Induk (*bus generator*), data bus, dan saluran pada setiap penyulang.

3.2.1 Data generator bus

Pada penelitian ini, *generator bus* yang digunakan adalah Gardu Induk Petrokimia dan Gardu Induk Cerme. Data yang diperlukan adalah tegangan sekunder dari trafo GI Petrokimia dan Gardu Induk Cerme serta nilai *MVA base*. Nilai ini digunakan untuk menentukan nilai impedansi jaringan yang harus dikonversikan dalam satuan p.u. Berikut adalah data Gardu Induk Petrokimia dan Gardu Induk Cerme.

Tabel 3.1. Data Generator Bus

Gardu Induk	No. Bus	Tegangan (p.u)	MVA Base
Petrokimia	1	1,00000	50
Cerme	2	1,00000	50

3.2.2 Data bus beban (*load bus*)

Pada penelitian akan dilakukan penelitian peletakkan *tie switch* jaringan distribusi primer dalam dua keadaan, yakni keadaan Waktu Beban Puncak (WBP) tertinggi dan WBP rata - rata. Hal ini bertujuan agar dapat diketahui peletakan *tie switches* paling optimal pada dua keadaan tersebut.

3.2.3 Data cabang

Pada penelitian ini jaringan distribusi primer PT. PLN (Persero) ULP Giri menggunakan beberapa jenis kabel, yakni kabel A3C, A3CS, XLPE, dan MVTIC. Berikut adalah nilai impedansi dari setiap jenis kabel yang digunakan.

Tabel 3.2. Data Kabel yang Digunakan pada Jaringan Distribusi

No.	Nama Kabel	Ukuran Kabel (mm^2)	Impedansi	
			R (Ohm/km)	X (Ohm/km)
1.	A3C	110	0,1966	0,26
2.	A3C	150	0,2162	0,3305
3.	A3CS	150	0,1961	0,3305
4.	XLPE	150	0,159	0,105
5.	MVTIC	150	0,206	0,014

Untuk dapat dimasukkan dalam program simulasi, maka data cabang dari berbagai jenis kabel diatas harus diubah dalam bentuk satuan *per unit* (p.u). Berikut adalah cara mengubah impedansi cabang menjadi satuan p.u.

$$Z_{saluran}(\Omega) = Z_{Kabel\ yang\ digunakan} \text{ x } panjang\ saluran \quad (3.1)$$

$$Z_{base} = \frac{(KV_{base})^2}{MVA_{base}}$$

$$Z_{saluran}\ (p.u.) = \frac{Z_{saluran}(\Omega)}{Z_{base}\ (\Omega)}$$

Diketahui nilai KV_{base} jaringan distribusi primer adalah 20 KV dan MVA_{base} yang digunakan adalah sebesar 50 MVA. Maka, mencari nilai Z_{base} adalah sebagai berikut.

$$Z_{base} = \frac{(20)^2}{50}$$

$= 8\ \Omega$

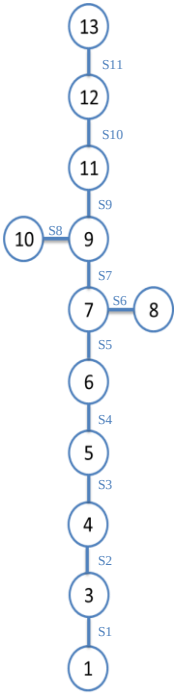
Dengan memperoleh nilai impedansi, maka dapat diuraikan nilai resistansi dan reaktansi pada tiap cabang saluran distribusi. Tiap cabang yang menghubungkan antar *bus* akan menjadi area pencarian BPSO dimana dalam metode BPSO cabang – cabang ini akan menjadi *tie switches*.

3.2.4 Data penyulang

Pada penelitian ini, data penyulang yang dibutuhkan adalah panjang penyulang, nilai impedansi saluran antar *bus*, pengukuran beban penyulang selama sebulan terakhir, dan nilai setiap beban baik itu LWBP maupun WBP.

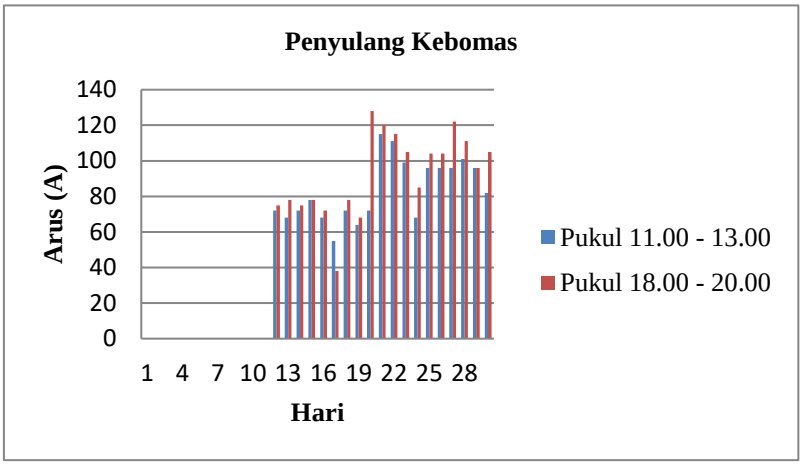
a) Penyulang Kebomas

Penyulang Kebomas merupakan jaringan distribusi bertegangan 20 KV yang disuplai oleh Gardu Induk Petrokimia. Penyulang ini terletak di kecamatan Gresik dan sebagian kecil kecamatan Kebomas serta memiliki panjang jaringan sebesar 7,42 KMS. Gambar 3.2. *Single Line Diagram* Penyulang Kebomas.



Gambar 3.2. Single Line Diagram Penyulang Kebomas

Penyulang ini menyuplai beban - beban bisnis dan rumah tangga. Gambar 3.3 menunjukkan data pembebanan penyulang Kebomas saat siang dan malam hari pada bulan November tahun 2019.



Gambar 3.3. Data Beban Penyulang Kebomas saat Siang dan Malam
(Sumber : Data PT. PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Jawa Timur)

Penyulang Kebomas memiliki 11 cabang (*branch*) yang terhubung dari GI hingga ujung jaringan. Pada Tabel 3.3 menyajikan nilai impedansi saluran pada penyulang Kebomas.

Tabel 3.3. Data Impedansi Saluran Penyulang Kebomas

No Cabang	Dari	Ke	Impedansi		Impedansi	
			R (Ohm)	X (Ohm)	R (pu)	X (pu)
1	1	3	0,482	0,681	0,06025	0,08513
2	3	4	0,0598	0,1	0,00748	0,0125
3	4	5	0,12	0,172	0,015	0,0215
4	5	6	0,084	0,142	0,0105	0,01775
5	6	7	0,039	0,065	0,00488	0,00813
6	7	8	0,04	0,068	0,005	0,0085
7	7	9	0,178	0,3	0,02225	0,0375
8	9	10	0,108	0,182	0,0135	0,02275
9	9	11	0,082	0,138	0,01025	0,01725
10	11	12	0,045	0,075	0,00563	0,00938
11	12	13	0,072	0,095	0,009	0,01188

Penyulang Kebomas memiliki 11 *Load Bus* yang terdiri dari beban rumah tangga dan beban bisnis seperti pertokoan dan perkantoran.

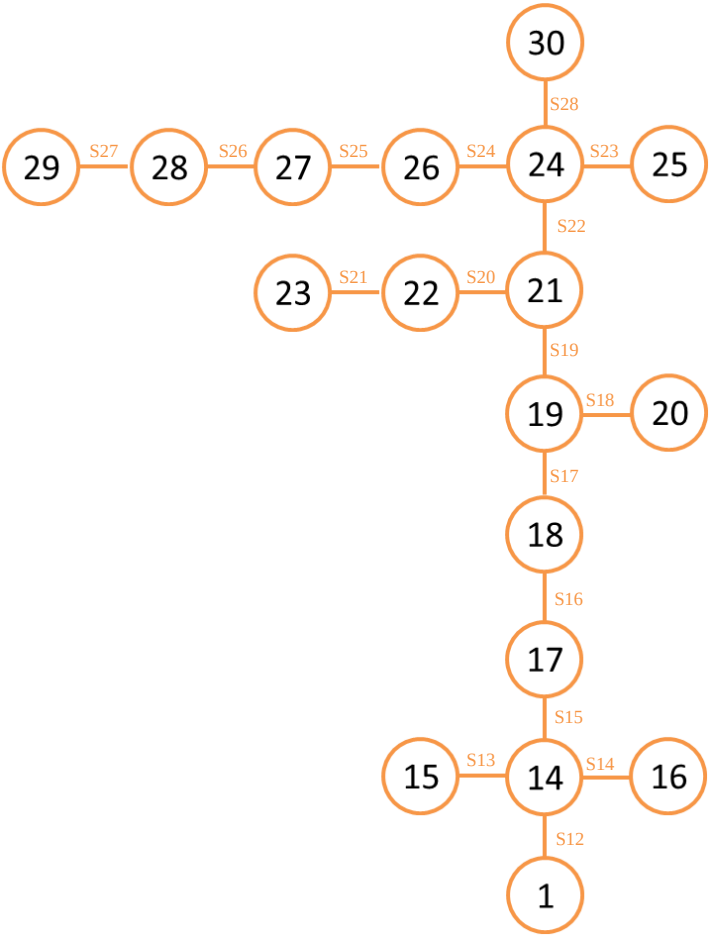
Tabel 3.4 menunjukkan data pengukuran beban penyulang Kebomas pada saat LWBP dan WBP

Tabel 3.4. Data Pengukuran Beban Penyulang Kebomas Tahun 2019

No. Bus	LWBP		WBP	
	P (KW)	Q (KVAR)	P (KW)	Q (KVAR
3	423,47	262,44	405,09	250,43
4	34	21,07	76.5	47.41
5	205,49	127,35	193,38	119.84
6	220,75	136,81	259,29	160,7
7	119	73,75	123,25	76,38
8	65,28	40,46	73,44	45,51
9	449,23	278,41	426,11	264,09
10	44,8	43,64	95,69	72,78
11	316,03	195,87	155,3	127,24
12	97,75	60,58	16,15	10,01
13	107,95	114,4	217,6	134,86

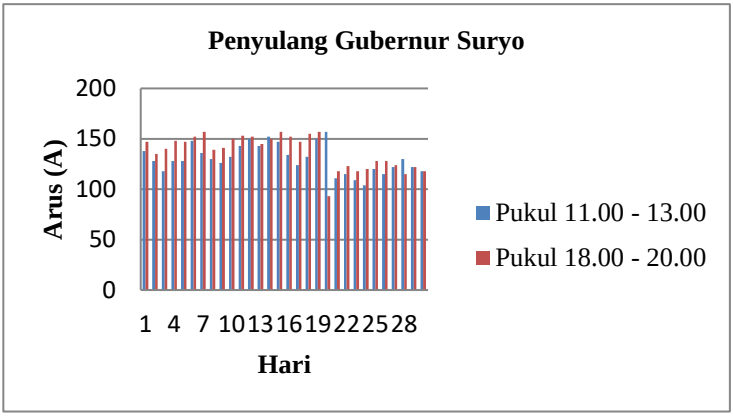
b) Penyulang Gubernur Suryo

Penyulang Gubernur Suryo merupakan jaringan distribusi bertegangan 20 KV yang disuplai oleh Gardu Induk Petrokimia. Penyulang ini terletak di kecamatan Gresik dan memiliki panjang jaringan sebesar 12,43 KMS. S*ingle line diagram* dari penyulang Gubernur Suryo dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Single Line Diagram Penyulang Gubernur Suryo

Penyulang ini menyuplai beban - beban bisnis dan rumah tangga. Pada Gambar 3.5 menunjukkan data pembebanan penyulang Gubernur Suryo saat siang dan malam hari pada bulan November tahun 2019.



Gambar 3.5. Data Beban Penyulang Gubernur Suryo saat Siang dan Malam

(Sumber : Data PT. PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Jawa Timur)

Penyulang Gubernur Suryo memiliki 17 cabang (*branch*) yang terhubung dari GI hingga ujung jaringan. Pada Tabel 3.5. Data Impedansi Saluran Penyulang Gubernur Suryo.

Tabel 3.5. Data Impedansi Saluran Penyulang Gubernur Suryo

No Cabang	Dari	Ke	Impedansi		Impedansi	
			R (Ohm)	X (Ohm)	R (pu)	X (pu)
12	1	14	0,126	0,117	0,01575	0,014625
13	14	15	0,202	0,309	0,02525	0,038625
14	14	16	0,063	0,096	0,007875	0,012
15	14	17	0,178	0,228	0,02225	0,0285
16	17	18	0,123	0,189	0,015375	0,023625
17	18	19	0,078	0,119	0,00975	0,014875
18	19	20	0,139	0,175	0,017375	0,021875
19	19	21	0,057	0,087	0,007125	0,010875
20	21	22	0,049	0,076	0,006125	0,0095
21	22	23	0,406	0,499	0,05075	0,062375
22	21	24	0,159	0,26	0,019875	0,0325
23	24	25	0,062	0,065	0,00775	0,008125
24	24	26	0,101	0,17	0,012625	0,02125
25	26	27	0,118	0,198	0,01475	0,02475

Tabel 3.5. Data Impedans Saluran Penyulang Gubernur Suryo (lanjutan)

No Cabang	Dari	Ke	Impedansi		Impedansi	
			R (Ohm)	X (Ohm)	R (pu)	X (pu)
26	27	28	0,131	0,221	0,016375	0,027625
27	28	29	0,787	1,327	0,098375	0,165875
28	24	30	0,084	0,142	0,0105	0,01775

Penyulang Gubernur Suryo memiliki 17 *Load Bus* yang terdiri dari beban rumah tangga dan beban bisnis seperti pertokoan dan perkantoran. Pada Tabel 3.6 menunjukkan data pengukuran beban penyulang Gubernur Suryo pada saat LWBP dan WBP.

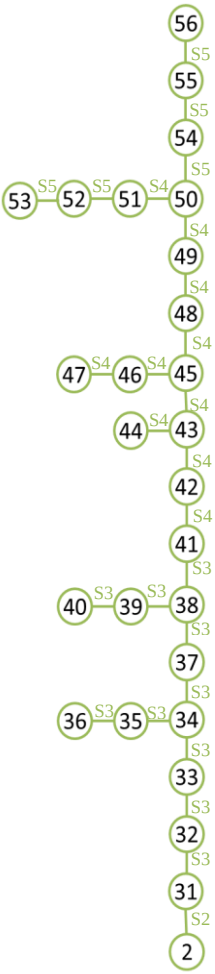
Tabel 3.6. Data Pengukuran Beban Penyulang Gubernur Suryo Tahun 2019

No. Bus	LWBP		WBP	
	P (KW)	Q (KVAR)	P (KW)	Q (KVAR
14	29,75	18,44	32,3	20,02
15	28,9	17,91	30,6	18,96
16	307,02	190,28	337,28	209,03
17	81,61	35,62	159	85,85
18	275,54	170,76	293,69	182,02
19	107,44	66,58	91,12	56,47
20	298,69	185,11	253,73	157,25
21	122,4	75,86	124,1	76,91
22	607,155	376,28	331,84	205,65
23	383,14	237,45	211,87	131,29
24	162,99	101,02	84,37	52,28
25	24,86	15,41	27,89	17,28
26	125,63	81,31	54,66	92,4
27	60,29	40,82	54,85	33,99
28	241,46	151,51	109,14	67,64
29	425,51	263,71	110,93	68,74
30	4,76	2,94	6,8	4,21

c) Penyulang Bunder

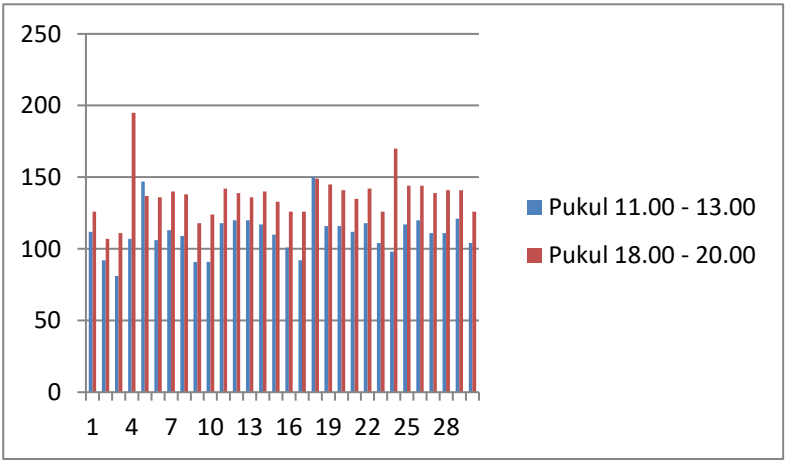
Penyulang Bunder merupakan jaringan distribusi bertegangan 20 KV yang disuplai oleh Gardu Induk Cerme. Penyulang ini terletak di kecamatan Cerme dan Kebomas dan memiliki panjang jaringan sebesar

17,94 KMS. *Single line diagram* dari penyulang Bunder dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Single Line Diagram Penyulang Bunder

Penyulang ini menyuplai beban - beban bisnis dan rumah tangga. Pada Gambar 3.7 adalah data beban penyulang Bunder pada saat siang dan malam hari pada bulan November tahun 2019.



Gambar 3.7. Data Beban Penyulang Bunder saat Siang dan Malam
(Sumber : Data PT. PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Jawa Timur)

Penyulang Bunder memiliki 26 cabang (*branch*) yang terhubung dari GI hingga ujung jaringan. Pada Tabel 3.7 berikut adalah nilai impedansi saluran penyulang Bunder.

Tabel 3.7. Data Impedansi Saluran Penyulang Bunder

No Cabang	Dari	Ke	Impedansi		Impedansi	
			R (Ohm)	X (Ohm)	R (pu)	X (pu)
29	2	31	0.448	0.739	0.056	0.09238
30	31	32	0.196	0.33	0.0245	0.04125
31	32	33	0.131	0.13	0.01638	0.01625
32	33	34	0.183	0.202	0.02288	0.02525
33	34	35	0.064	0.056	0.008	0.007
34	35	36	0.078	0.12	0.00975	0.015
35	34	37	0.049	0.032	0.00613	0.004
36	37	38	0.11	0.15	0.01375	0.01875
37	38	39	0.212	0.358	0.0265	0.04475
38	39	40	0.094	0.158	0.01175	0.01975

Tabel 3.7. Data Impedansi Saluran Penyulang Bunder (lanjutan)

No Cabang	Dari	Ke	Impedansi		Impedansi	
			R (Ohm)	X (Ohm)	R (pu)	X (pu)
39	38	41	0.091	0.14	0.01138	0.0175
40	41	42	0.067	0.089	0.00838	0.01113
41	42	43	0.11	0.186	0.01375	0.02325
42	43	44	0.34	0.449	0.0425	0.05613
43	43	45	0.018	0.03	0.00225	0.00375
44	45	46	0.199	0.334	0.02488	0.04175
45	46	47	0.062	0.105	0.00775	0.01313
46	45	48	0.052	0.172	0.0065	0.0215
47	48	49	.08	0.122	0.01	0.01525
48	49	50	0.105	0.161	0.01313	0.02013
49	50	51	0.064	0.084	0.008	0.0105
50	51	52	0.188	0.249	0.0235	0.03113
51	52	53	0.188	0.248	0.0235	0.031
52	50	54	0.093	0.143	0.01163	0.01788
53	54	55	0.111	0.147	0.01388	0.01838
54	55	56	0.076	0.108	0.0095	0.0135

Penyulang Bunder memiliki 26 *Load Bus* yang terdiri dari beban rumah tangga dan beban bisnis seperti pertokoan dan perkantoran. Pada Tabel 3.8 berikut adalah data pengukuran beban penyulang Bunder pada saat LWBP dan WBP.

Tabel 3.8. Data Pengukuran Beban Penyulang Bunder Tahun 2019

No. Bus	LWBP		WBP	
	P (KW)	Q (KVAR)	P (KW)	Q (KVAR)
31	32,65	20,23	28,56	17,7
32	17	10.54	17.85	11.06
33	12.24	7.59	16.32	10.11
34	121.55	75.32	243.27	150.75
35	42.67	26.45	140.59	87.12
36	38.08	23.6	80.24	49.72
37	57,1	9	71,3	5,9
38	120,03	64,64	116,37	76,11
39	71,74	44,46	179,69	111,36
40	193,29	119,8	78,54	48,67

Tabel 3.8 Data Pengukuran Beban Penyulang Bunder Tahun 2019 (lanjutan)

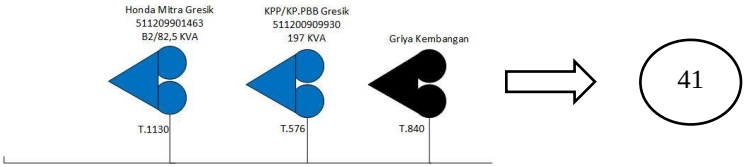
No. Bus	LWBP		WBP	
	P (KW)	Q (KVAR)	P (KW)	Q (KVAR)
41	140,25	86,42	158,1	97,97
42	12,16	7,53	57,63	35,71
43	74,8	46,35	88,4	54,78
44	42,16	26,13	43,52	26,97
45	36,55	22,65	41,65	25,81
46	188,15	117,83	253,72	157,08
47	61,2	37,93	66,64	41,3
48	347,3	112,48	432,7	147,15
49	164,31	101,82	200,89	124
50	202,93	125,77	205,7	127,49
51	56,78	35,18	62,05	38,45
52	220,67	136,74	232,9	144,34
53	270,94	167,91	292,7	181,41
54	276,17	171,29	323,91	201,01
55	132,09	81,85	173,91	107,77
56	175,27	108,61	196,18	121,59

3.3. Pemodelan Simulasi Sistem

Simulasi sistem jaringan distribusi menggunakan metode *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) diaplikasikan pada jaringan distribusi primer bertegangan 20 kV PT. PLN (Persero) ULP Giri, penyulang Kebomas, Gubernur Suryo dan Bunder. Ketiga penyulang ini memiliki beban tersebar dan kompleks. Sehingga untuk disimulasikan dengan metode BPSO perlu ditentukan jumlah dimensi sebagai ruang pencarian. Maka dari itu, perlu dilakukan pemodelan bus beban terpusat dari beban tersebar dalam sistem. Dari pemodelan bus terdiri dari 54 bus dengan 56 cabang.

3.3.1 Pemodelan Sistem Bus pada Simulasi

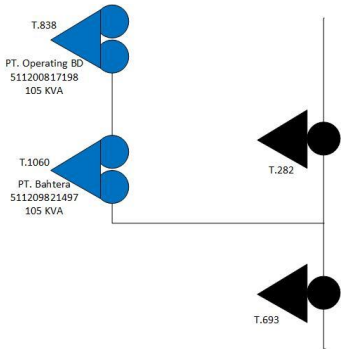
Pemodelan beban terpusat dari beban tersebar diterapkan dalam penelitian ini untuk memodelkan sistem bus yang akan disimulasikan menggunakan metode BPSO. Pengelompokan beban – beban tersebar menjadi satu beban terpusat ditinjau dari letak antar gardu pada topografi asli jaringan. Berikut pemodelan yang dilakukan.



(a) (b)

Gambar 3.8. Pemodelan Terpusat dari Beban Tersebar (a) Beban Tersebar (b) Beban Terpusat

Dari Gambar 3.8 dapat dijelaskan bahwa dalam 1 bus dapat terdiri beberapa gardu trafo distribusi. Pengelompokan beberapa gardu ini dilakukan pada gardu – gardu yang terdapat pada area tidak lebih dari 200 meter.

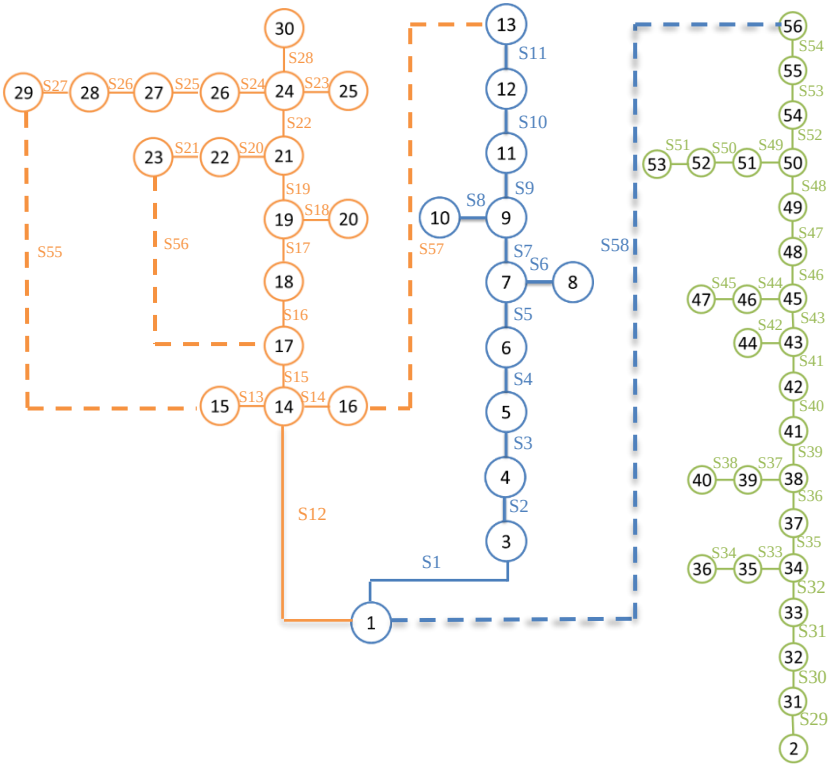


(a)

(b)

Gambar 3.9. Pemodelan Sistem Jaringan Distribusi menjadi Sistem Bus (a) Sistem Jaringan Distribusi Kondisi Nyata (b) Sistem Distibusi Bus

Pada gambar 3.9 (a) jaringan distibusi pada kondisi nyata akan disederhanakan menjadi 3.9 (b) yaitu dalam bentuk sistem distribusi bus. Dalam kondisi nyata, jalur jaringan sistem distribusi mengikuti jalur jalan raya atau berdasarkan topologi daerah setempat. Namun, dalam simulasi sistem jalur diilustrasikan dalam bentuk lurus dan bercabang pada titik – titik tertentu. Dari pemodelan beban tersebar menjadi beban terpusat termasuk dalam satu bus. Kemudian jarak antar beban pusat dalam sistem distribusi dimodelkan sebagai *switch* dimana dalam proses simulasi menjadi area pencarian untuk mendapatkan rugi daya paling minimal. *Switch* – *switch* yang menghubungkan antar bus ini akan menjadi letak posisi yang dicari dalam peletakan kombinasi *tie switches* paling optimal.



Gambar 3.10. Single Line Diagram 56 Bus

Untuk menyelesaikan rekonfigurasi jaringan distribusi, maka harus dilakukan beberapa hal, seperti menetukan jumlah *loop* pada jaringan, mengidentifikasi ruang pencarian di setiap *loop*, dan menentukan solusi optimal dari ruang pencarian dengan menggunakan algoritma BPSO. Berikut adalah penjelasannya.

1. Menentukan jumlah *loop*

Jaringan distribusi didesain sebagai rangkaian *multiloop* namun sistem beroperasi dalam *open loop* untuk memastikan bahwa jaringan dalam bentuk konfigurasi pohon radial. Untuk menentukan jumlah *loop* dari rekonfigurasi jaringan distribusi, semua *switch* harus tertutup untuk memberikan nomor pada *loop*.

Pada sistem jaringan distribusi yang digunakan dalam penelitian ini terdapat empat *loop* pencarian. Dari *loop* yang di tampilkan pada Gambar 3.10 dapat diidentifikasikan area pencarian.

2. Mengidentifikasi ruang pencarian di setiap *loop*

Setelah ditentukan *loop* pada jaringan distribusi yang digunakan pada penelitian ini, langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi ruang pencarian di setiap *loop*.

Tabel 3.9. Loops dari Sistem 54 Bus

Loop	Cabang
I	S_{13}, S_{14}, S_{22}, S_{24}, S_{25}, S_{26}, S_{27}, S_{55}
II	S_{16}, S_{17}, S_{19}, S_{20}, S_{21}, S_{56}
III	S_2, S_3, S_4, S_5, S_7 S_9, S_{10}, S_{11}, S_{14}, S_{57}
IV	S_1, S_{29}, S_{30}, S_{31}, S_{32}, S_{35}, S_{36}, S_{39}, S_{40}, S_{41}, S_{43}, S_{46}, S_{47}, S_{48}, S_{52}, S_{53}, S_{54}, S_{58}

Semua kemungkinan *switch* yang ditutup dan yang dibuka dikelompokkan menjadi empat kelompok. Kombinasi *switch* dikelompokkan seperti pada tabel diatas. Masing – masing *loop* dipilih salah satu *switch* sehingga ada empat buah switch yang dalam keadaan *Off*. Kombinasi switch terdiri dari empat buah switch yang dalam

keadaan *Off*. Oleh karena itu, saluran yang tidak termasuk dalam *loop* manapun tidak akan ditampilkan dalam ruang pencarian dan dalam sistem pengujian optimasi algoritma.

3. Menemukan solusi optimal dari ruang pencarian menggunakan BPSO

Setelah menentukan jumlah *loop* dan menemukan ruang pencarian untuk setiap *loop*, algoritma BPSO akan digunakan untuk memilih solusi optimal dari ruang pencarian untuk setiap *loop*. BPSO akan mengidentifikasikan ruang pencarian dengan mempertimbangkan rugi - rugi daya pada jaringan distribusi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4
SIMULASI DAN ANALISIS DATA

Pada bab 4 ini akan dibahas mengenai hasil simulasi dari penelitian tugas akhir ini. Simulasi dilakukan dengan nilai beban tertinggi dan rata – rata pada Waktu Beban Puncak (WBP) siang dan malam. Simulasi yang dilakukan adalah analisis aliran daya sebelum dilakukan rekonfigurasi jaringan dengan menggunakan metode *Forward - Backward Sweep*. Kemudian didapat nilai rugi - rugi daya jaringan distribusi dalam bentuk rugi - rugi daya aktif dan daya reaktif. Setelah itu, dilakukan optimasi penempatan *tie switch* pada jaringan distribusi agar didapat peletakan yang optimal sehinggan rugi - rugi daya jaringan distribusi dapat berkurang. Metode optimasi ini menggunakan *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) .

Pada penelitian tugas akhir ini, total pemodelan jumlah bus ketiga penyulang ini sebanyak 56 bus dengan rincian sebagai berikut : Gardu Induk yang dilambangkan sebagai *generator bus* sebanyak 2 bus serta *load bus* seperti penyulang Kebomas, penyulang Gubernur Suryo, dan penyulang Bunder. Penyulang Kebomas memiliki 11 bus, penyulang Gubernur Suryo memiliki 17 bus, dan penyulang Bunder memiliki 26 bus. Adapun data cabang berupa nilai resistansi, reakstansi serta data beban berupa daya aktif dan daya reaktif terdapat pada bab sebelumnya akan digunakan dalam perhitungan aliran daya. Analisis aliran daya yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini menggunakan metode *Forward - Backward Sweep* yang tidak dibahas secara mendetail pada penelitian ini. Metode analisis yang digunakan sudah dalam bentuk pemrograman yang dapat dijalankan menggunakan *Matlab*. Parameter yang diperhatikan dari hasil simulasi adalah total nilai rugi daya aktif dan daya reaktif serta nilai tegangan minimal pada tiap bus masing – masing penyulang. Kondisi telah mencapai optimal ketika rugi daya aktif total adalah nilai rugi daya yang paling minimal.

4.1. Hasil Simulasi Sebelum Rekonfigurasi

Sebelum dilakukan rekonfigurasi jaringan, dilakukan analisis aliran daya untuk setiap penyulang. Analisis aliran daya yang dilakukan menggunakan metode *Forward - Backward Sweep*. Tujuannya untuk mengetahui nilai rugi - rugi daya jaringan distribusi dan nilai tegangan untuk setiap penyulang. Berikut adalah hasil simulasi aliran daya untuk setiap penyulang.

Tabel 4.1. Data Tegangan Sebelum Rekonfigurasi pada Penyulang Kebomas

Bus	LWBP	WBP
	Tegangan (pu)	Tegangan (pu)
1	1,00000	1,00000
3	0,99514	0,99428
4	0,99462	0,99364
5	0,99366	0,99269
6	0,99302	0,99204
7	0,99277	0,99180
8	0,99276	0,99179
9	0,99179	0,99086
10	0,99176	0,99080
11	0,99155	0,99066
12	0,99150	0,99058
13	0,99145	0,99051

Berdasarkan Tabel 4.1 diatas, tegangan minimal saat nilai rata - rata WBP berada pada bus 13 yaitu sebesar 0,99145 p.u. atau 19,829 kV dimana bus – bus ini terletak pada ujung penyulang Kebomas. Tidak jauh berbeda ketika nilai WBP tertinggi tegangan pada bus 13 memiliki nilai tegangan sangat minimal yaitu 0,99051 p.u. atau 19,81 kV.

Tabel 4.2. Data Rugi - Rugi Daya Sebelum Rekonfigurasi pada Penyulang Kebomas

Cabang	Dari Bus	Ke Bus	LWBP		WBP	
			P (KW)	Q (KVAR)	P (KW)	Q (KVAR)
1	1	3	7,549	10,666	7,187	10,154
2	3	4	0,599	1,003	0,576	0,964
3	4	5	1,155	1,656	1,053	1,509
4	5	6	0,620	1,049	0,568	0,960
5	6	7	0,207	0,345	0,174	0,291
6	7	8	0,00060	0,00102	0,00076	0,0013
7	7	9	0,684	1,153	0,543	0,915
8	9	10	0,00107	0,0018	0,0039	0,0067
9	9	11	0,0854	0,144	0,047	0,079

Tabel 4.3. Data Rugi - Rugi Daya Sebelum Rekonfigurasi pada Penyulang Kebomas (lanjutan)

10	11	12	0,00835	0,0014	0,0086	0,014
11	12	13	0,0045	0,00598	0,012	0,016
Total Rugi - Rugi Daya			10,917	16,040	10,173	14,909

Berdasarkan Tabel 4.2, diketahui nilai rugi - rugi daya paling besar terletak pada cabang 1, dimana pada saat LWBP, rugi - rugi daya aktif sebesar 7,549 kW dan 10,665 kVAR. Sedangkan pada saat WBP, rugi - rugi daya aktif terbesar bernilai 11,517 kW dan 16,275 kVAR.

Tabel 4.4. Data Tegangan Sebelum Rekonfigurasi pada Penyulang Gubernur Suryo

Bus	LWBP	WBP
	Tegangan (pu)	Tegangan (pu)
1	1,00000	1,00000
14	0,99836	0,99883
15	0,99833	0,99880
16	0,99826	0,99873
17	0,99601	0,99727
18	0,99428	0,99619
19	0,99330	0,99561
20	0,99311	0,99545
21	0,99269	0,99529
22	0,99245	0,99515
23	0,99176	0,99477
24	0,99184	0,99489
25	0,99183	0,99488
26	0,99139	0,99469
27	0,99095	0,99452
28	0,99050	0,99438
29	0,98876	0,99393
30	0,99184	0,99488

Berdasarkan Tabel 4.4 diatas, nilai tegangan minimal saat nilai rata – rata WBP terdapat pada bus 29 yaitu sebesar 0,98876 p.u atau

19,775 KV. Saat WBP tertinggi, nilai tegangan minimal terdapat pada bus 29 yaitu sebesar 0,99393 p.u atau 19,879 kV.

Tabel 4.5. Data Rugi - Rugi Daya Sebelum Rekonfigurasi pada Penyulang Gubernur Suryo

Cabang	Dari Bus	Ke Bus	LWBP		WBP	
			P (KW)	Q (KVAR)	P (KW)	Q (KVAR)
12	1	14	4,773	4,432	2,396	2,225
13	14	15	0,00059	0,0009	0,00066	0,0010
14	14	16	0,0206	0,031	0,0249	0,0379
15	14	17	5,332	6,831	2,327	2,981
16	17	18	3,499	5,377	1,364	2,096
17	18	19	1,810	2,762	0,603	0,921
18	19	20	0,04351	0,0548	0,031	0,0393
19	19	21	0,9384	1,4323	0,261	0,398
20	21	22	0,169	0,262	0,0506	0,0785
21	22	23	0,209	0,258	0,0637	0,0783
22	21	24	0,618	1,011	0,126	0,2067
23	24	25	0,00013	0,00014	0,00017	0,00018
24	24	26	0262	0,441	0,0454	0,0764
25	26	27	0,222	0,372	0,0312	0,0524
26	27	28	0,206	0,348	0,0222	0,0375
27	28	29	0,504	0,850	0,0339	57,19
28	24	30	0,00001	0,00001	0,00001	0,00002
Total Rugi -Rugi Daya			18,610	24,464	7,382	9,286

Berdasarkan tabel Tabel 4.5 diatas, diketahui nilai rugi - rugi daya paling besar terletak pada cabang 15, dimana pada saat LWBP, rugi - rugi daya aktif sebesar 5,332 kW dan 6,830 kVAR. Sedangkan pada saat WBP, rugi - rugi daya aktif terbesar bernilai 2,327 KW dan 2,980 KVAR.

Tabel 4.6. Data Tegangan Sebelum Rekonfigurasi pada Penyulang Bunder

Bus	LWBP	WBP
	Tegangan (pu)	Tegangan (pu)
2	1,00000	1,00000
31	0,99306	0,99144
32	0,99002	0,98769
33	0,98842	0,98571
34	0,98609	0,98283
35	0,98607	0,98278
36	0,98606	0,98275
37	0,98561	0,98227
38	0,98421	0,98065
39	0,98391	0,98036
40	0,98382	0,98032
41	0,98315	0,97940
42	0,98247	0,97859
43	0,98122	0,97713
44	0,98116	0,97706
45	0,98103	0,97691
46	0,98077	0,97658
47	0,98075	0,97655
48	0,98033	0,97610
49	0,97973	0,97542
50	0,97903	0,97464
51	0,97887	0,97447
52	0,97844	0,97401
53	0,97820	0,97375
54	0,97876	0,97432
55	0,97860	0,97413
56	0,97854	0,97406

Berdasarkan Tabel 4.6 diatas, tegangan minimal saat nilai LWBP terdapat pada bus 56 yaitu sebesar 0,97854 p.u atau sebesar 19,57 KV. Saat WBP, nilai tegangan minimal terdapat pada bus 56 yaitu sebesar 19,48 KV.

Tabel 4.7. Data Rugi - Rugi Daya Sebelum Rekonfigurasi pada Penyulang Bunder

Cabang	Dari Bus	Ke Bus	LWBP		WBP	
			P (KW)	Q (KVAR)	P (KW)	Q (KVAR)
29	2	31	14,967	24,689	22,653	37,368
30	31	32	6,410	10,793	9,762	16,436
31	32	33	4,237	4,204	6,463	6,413
32	33	34	5,871	6,480	8,949	9,878
33	34	35	0,0015	0,0013	0,0112	0,0098
34	35	36	0,0004	0,0006	0,0018	0,0028
35	34	37	1,367	0,893	1,832	1,196
36	37	38	2,970	4,050	3,974	5,420
37	38	39	0,053	0,0899	0,0509	0,086
38	39	40	0,012	0,0211	0,0021	0,0035
39	38	41	1,823	2,805	2,554	3,929
40	41	42	1,188	1,578	1,673	2,222
41	42	43	1,929	3,263	2,628	4,443
42	43	44	0,0022	0,0029	0,0023	0,003
43	43	45	0,283	0,472	0,387	0,645
44	45	46	0,0447	0,075	0,0741	0,124
45	46	47	0,00084	0,0014	0,001	0,0017
46	45	48	0,609	2,016	0,810	2,681
47	48	49	0,649	0,990	0,831	1,267
48	49	50	0,676	1,036	0,847	1,299
49	50	51	0,069	0,091	0,081	0,106
50	51	52	0,164	0,217	0,189	0,251
51	52	53	0,0499	0,0658	0,059	0,0775
52	50	54	0,114	0,176	0,163	0,251
53	54	55	0,0379	0,0502	0,0554	0,0734
54	55	56	0,0084	0,012	0,0107	0,0152
Total Rugi - Rugi Daya			43,541	64,076	64,066	94,204

Berdasarkan Tabel 4.7 diatas, diketahui nilai rugi - rugi daya paling besar terletak pada cabang 29, dimana pada saat LWBP, rugi - rugi daya sebesar 14,966 kW dan 24,688 kVAR. Sedangkan pada saat WBP, rugi - rugi daya aktif terbesar bernilai 22,653 kW dan 37,367 kVAR.

Tabel 4.8. Total Rugi - Rugi Daya Sebelum Rekonfugurasi

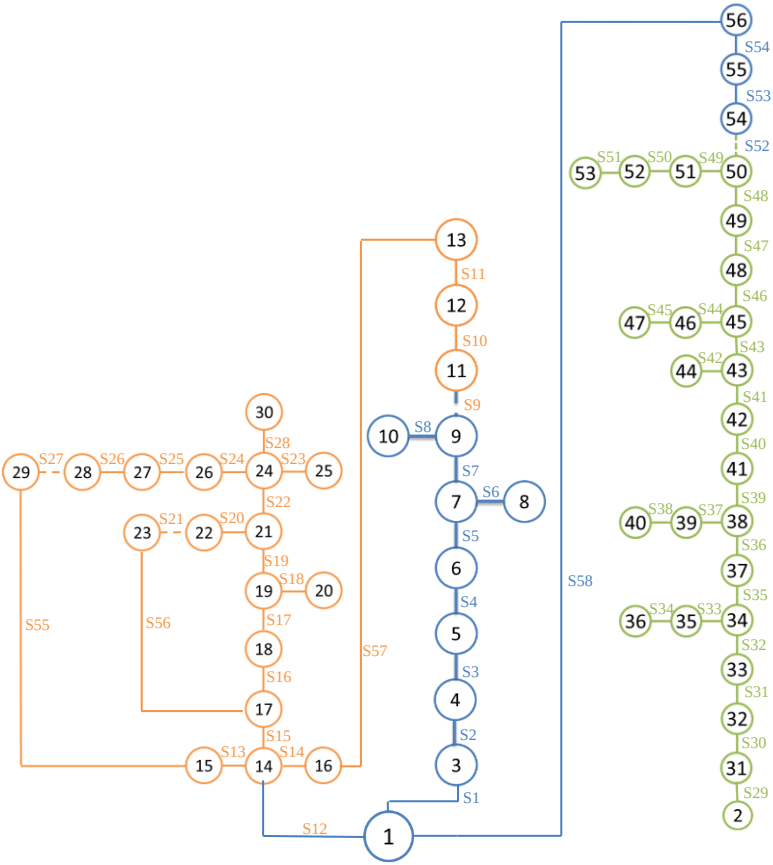
No.	Penyulang	LWBP		WBP	
		P (KW)	Q (KVAR)	P (KW)	Q (KVAR)
1.	Kebomas	10,917	16,040	10,173	14,909
2.	Gubernur Suryo	18,610	24,464	7,382	9,286
3.	Bunder	43,541	64,076	64,066	94,204
Total Rugi Daya		73,068	104,580	81,621	118,399

Hasil simulasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 diatas merupakan hasil simulasi sistem yang diperoleh dari perhitungan analisis aliran daya pada ketiga penyulang sebelum dilakukan rekonfigurasi menggunakan metode *Forward - Backward Sweep*. Total rugi daya pada sistem diperoleh dari penjumlahan rugi daya total ketiga penyulang. Dari hasil simulasi diatas, dapat diketahui total nilai rugi daya aktif sebelum dilakukan rekonfigurasi jaringan distribusi dimana rugi - rugi daya yang lebih besar yakni pada saat WBP yakni sebesar 81,621 KW untuk daya aktif dan 118,399 KVAR untuk daya reaktifnya. Sedangkan pada saat LWBP diketahui nilai rugi - rugi dayanya adalah sebesar 73,068 KW untuk daya aktif dan 104,580 KVAR untuk daya reaktifnya.

4.2. Hasil Simulasi Setelah Rekonfigurasi

Proses rekonfigurasi dilakukan dengan menggunakan metode *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Metode BPSO digunakan untuk proses optimasi yaitu menentukan letak kombinasi *tie switches* yang terpasang pada tiap – tiap

penyulang yang menghasilkan rugi daya total yang paling minimal. Setelah dilakukan simulasi menggunakan *Matlab* dengan metode BPSO, didapatkan bentuk *single line diagram* baru yang merupakan hasil rekonfigurasi jaringan seperti pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1. Single Line Diagram Setelah Rekonfigurasi

Pada gambar diatas, dapat diketahui bahwa ada perbuahan letak *tie switch* dari ketiga penyulang. Saat sebelum dilakukan rekonfigurasi, *tie switch* dari ketiga penyulang tersebut adalah s55, s56, s57, dan s58.

Setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan, maka *tie switch* ketiga penyulang berganti menjadi s9, s21, s27, dan s52. Kombinasi dari *tie switch* yang baru dipilih karena dapat mengurangi rugi - rugi daya jaringan distribusi yang lebih besar daripada kombinasi *tie switch* yang lain. Berikut adalah hasil perhitungan rugi - rugi daya dan tegangan dari setiap penyulang setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan.

Tabel 4.9. Data Tegangan Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Kebomas

Bus	LWBP	WBP
	Tegangan (pu)	Tegangan (pu)
1	1,00000	1,00000
3	0,99509	0,99463
4	0,99474	0,99425
5	0,99410	0,99357
6	0,99371	0,99315
7	0,99357	0,99300
8	0,99355	0,99299
9	0,99310	0,99251
10	0,99307	0,99245
56	0,99398	0,99331
55	0,99383	0,99313
54	0,99369	0,99297

Berdasarkan Tabel 4.9, diketahui bahwa penyulang Kebomas menyuplai beban sebanyak 12 *bus* dengan pengurangan 3 beban karena di*manuver* dengan penyulang Gubernur Suryo dan penambahan 3 beban dari penyulang Bunder. Nilai tegangan minimal terletak pada bus 10 senilai 0,99307 p.u. atau 19,8614 kV pada saat LWBP dan 0,99245 p.u atau 19,849 kV pada saat WBP.

Tabel 4.10. Data Rugi - Rugi Daya Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Kebomas

Cabang	Dari Bus	Ke Bus	LWBP		WBP	
			P (KW)	Q (KVAR)	P (KW)	Q (KVAR)
1	1	3	7,824	11,054	9,356	13,219
2	3	4	0,275	0,460	0,330	0,552

Tabel 4.11. Data Rugi - Rugi Daya Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Kebomas (lanjutan)

3	4	5	0,520	0,745	0,5837	0,837
4	5	6	0,242	0,409	0,285	0,483
5	6	7	0,0643	0,107	0,072	0,120
6	7	8	0,0006	0,0010	0,00076	0,0013
7	7	9	0,157	0,264	0,174	0,294
8	9	10	0,00107	0,0018	0,0039	0,0067
58	1	56	2,620	3,661	3,460	4,8473
54	56	55	0,0444	0,0631	0,0661	0,094
53	55	54	0,0297	0,0393	0,0409	0,0542
Total Rugi - Rugi Daya			11,778	16,807	14,373	20,507

Berdasarkan Tabel 4.10, diketahui nilai rugi - rugi daya paling besar terletak pada cabang 1, dimana pada saat LWBP, rugi - rugi daya aktif sebesar 7,824 kW dan 11,054 kVAR. Sedangkan pada saat WBP, rugi - rugi daya aktif terbesar bernilai 9,356 kW dan 13,218 kVAR

Tabel 4.12. Data Tegangan Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Gubernur Suryo

Bus	LWBP	WBP
	Tegangan (pu)	Tegangan (pu)
1	1,00000	1,00000
14	0,99809	0,99863
15	0,99764	0,99849
16	0,99782	0,99840
17	0,99609	0,99716
18	0,99486	0,99627
19	0,99418	0,99582
20	0,99400	0,99566
21	0,99380	0,99558
22	0,99366	0,99550
23	0,99581	0,99701
24	0,99330	0,99527
25	0,99329	0,99526
26	0,99307	0,99513

Tabel 4.10 Data Tegangan Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Gubernur Suryo (lanjutan)

Bus	LWBP	WBP
	Tegangan (pu)	Tegangan (pu)
27	0,99289	0,99504
28	0,99272	0,99496
29	0,99749	0,99845
30	0,99330	0,99527
13	0,99779	0,99818
12	0,99765	0,99812
11	0,99758	0,99808

Berdasarkan Tabel 4.12, diketahui bahwa penyulang Gubernur Suryo menyuplai beban sebanyak 21 *bus* dengan penambahan 3 beban dari penyulang Kebomas. Nilai tegangan minimal terletak pada bus 28 senilai 0,99272 p.u. atau 19,8544 kV pada saat LWBP dan 0,99496 p.u atau 19,8992 kV pada saat WBP.

Tabel 4.13. Data Rugi - Rugi Daya Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Gubernur Suryo

Cabang	Dari Bus	Ke Bus	LWBP		WBP	
			P (KW)	Q (KVAR)	P (KW)	Q (KVAR)
12	1	14	6,448	5,987	3,290	3,055
13	14	15	0,145	0,222	0,014	0,0215
14	14	16	0,158	0,242	0,120	0,183
15	14	17	3,874	4,962	2,066	2,646
16	17	18	1,7851	2,743	0,914	1,404
17	18	19	0,847	1,292	0,370	0,564
18	19	20	0,0434	0,055	0,0312	0,039
19	19	21	0,366	0,559	0,134	0,205
20	21	22	0,0633	0,098	0,0188	0,0292
21	17	23	0,0768	0,107	0,0234	0,0327
22	21	24	0,217	0,355	0,0746	0,122
23	24	25	0,00013	0,00014	0,00017	0,00018
24	24	26	0,066	0,111	0,0218	0,0367
25	26	27	0,0383	0,0643	0,0111	0,0186

Tabel 4.11 Data Rugi - Rugi Daya Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Gubernur Suryo (lanjutan)

Cabang	Dari Bus	Ke Bus	LWBP		WBP	
			P (KW)	Q (KVAR)	P (KW)	Q (KVAR)
26	27	28	0,027	0,0456	0,0054	0,0092
27	15	29	0,0447	0,0756	0,0030	0,0051
28	24	30	0,00001	0,00001	0,00001	0,00002
57	16	13	0,107	0,181	0,0588	0,099
11	13	12	0,043	0,0566	0,0087	0,00115
10	12	11	0,016	0,0261	0,0045	0,0076
Total Rugi - Rugi Daya			14,366	17,182	7,170	8,491

Berdasarkan Tabel 4.13, diketahui nilai rugi - rugi daya paling besar terletak pada cabang 12, dimana pada saat LWBP, rugi - rugi daya aktif sebesar 6,447 kW dan 5,987 kVAR. Sedangkan pada saat WBP, rugi - rugi daya aktif terbesar bernilai 3,290 kW dan 3,055 kVAR.

Tabel 4.14. Data Tegangan Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Bunder

Bus	LWBP	WBP
	Tegangan (pu)	Tegangan (pu)
2	1,00000	1,00000
31	0,99444	0,99310
32	0,99202	0,99008
33	0,99073	0,98849
34	0,98888	0,98617
35	0,98886	0,98612
36	0,98884	0,98609
37	0,98849	0,98573
38	0,98740	0,98448
39	0,98711	0,98420
40	0,98702	0,98416
41	0,98662	0,98355
42	0,98612	0,98297
43	0,98521	0,98192

Tabel 4.12 Data Tegangan Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Bunder (lanjutan)

Bus	LWBP	WBP
	Tegangan (pu)	Tegangan (pu)
44	0,98515	0,98185
45	0,98508	0,98176
46	0,98482	0,98143
47	0,98480	0,98141
48	0,98461	0,98124
49	0,98425	0,98084
50	0,98386	0,98043
51	0,98370	0,98026
52	0,98327	0,97980
53	0,98303	0,97954

Berdasarkan Tabel 4.14, diketahui bahwa penyulang Bunder menyuplai beban sebanyak 24 *bus* dengan pengurangan 3 beban karena di*manuver* menuju penyulang Kebomas. Nilai tegangan minimal terletak pada bus 53 senilai 0,98303 p.u. atau 19,6606 kV pada saat LWBP dan 0,97954 p.u atau 19,5908 kV pada saat WBP.

Tabel 4.15. Data Rugi - Rugi Daya Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Bunder

Cabang	Dari Bus	Ke Bus	LWBP		WBP	
			P (KW)	Q (KVAR)	P (KW)	Q (KVAR)
29	2	31	9,698	15997,05	14,857	24,508
30	31	32	4,132	6,957	6,380	1,074
31	32	33	2,724	2,703	4,214	4,182
32	33	34	3,766	4,158	5,823	6,428
33	34	35	0,0015	0,0013	0,0111	0,0097
34	35	36	0,0004	0,0006	0,0018	0,0027
35	34	37	0,846	0,553	1,113	0,727
36	37	38	1,822	2,485	2,391	3,260
37	38	39	0,053	0,0893	0,0505	0,085
38	39	40	0,0125	0,021	0,0021	0,0035

Tabel 4.13 Data Rugi - Rugi Daya Setelah Rekonfigurasi pada Penyulang Bunder (lanjutan)

Cabang	Dari Bus	Ke Bus	LWBP		WBP	
			P (KW)	Q (KVAR)	P (KW)	Q (KVAR)
39	38	41	1,023	1,574	1,421	2,186
40	41	42	0,639	0,849	0,894	1,188
41	42	43	1,034	1,748	1,381	2,336
42	43	44	0,0021	0,0028	0,0023	0,0030
43	43	45	0,146	0,243	0,195	0,326
44	45	46	0,0443	0,0744	0,0733	0,123
45	46	47	0,0008	0,0014	0,00099	0,0017
46	45	48	0,276	0,914	0,354	1,171
47	48	49	0,240	0,366	0,284	0,434
48	49	50	0,212	0,325	0,238	0,365
49	50	51	0,069	0,090	0,080	0,104
50	51	52	0,163	0,215	0,187	0,248
51	52	53	0,049	0,065	0,058	0,0766
Total Rugi - Rugi Daya			26,955	39,433	40,015	58,511

Berdasarkan Tabel 4.15, diketahui nilai rugi - rugi daya paling besar terletak pada cabang 29, dimana pada saat LWBP, rugi - rugi daya aktif sebesar 9,697 kW dan 15,997 kVAR. Sedangkan pada saat WBP, rugi - rugi daya aktif terbesar bernilai 14,857 kW dan 24,507 kVAR.

Tabel 4.16. Total Rugi - Rugi Daya Sesudah Rekonfugurasi

No.	Penyulang	LWBP		WBP	
		P (KW)	Q (KVAR)	P (KW)	Q (KVAR)
1.	Kebomas	11,778	16,807	14,373	20,507
2.	Gubernur Suryo	14,366	17,182	7,170	8,491
3.	Bunder	26,955	39,433	40,015	58,511
Total Rugi Daya		53,099	73,422	61,558	87,509

4.3. Analisis Hasil Rekonfigurasi

Hasil dari rekonfigurasi jaringan distribusi ini menggunakan metode *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO). Berikut adalah hasil dan penjelasannya.

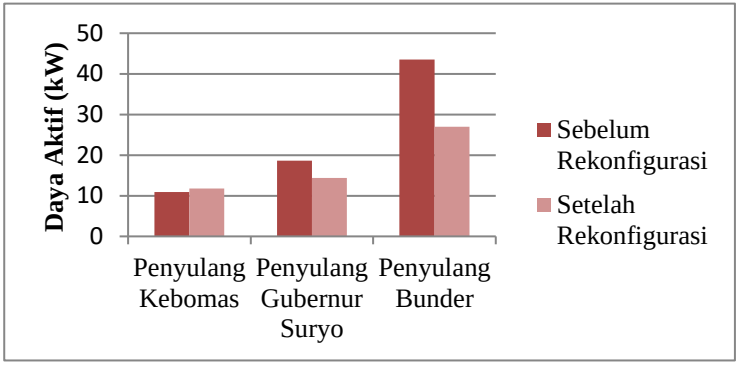
Tabel 4.17. Hasil Simulasi Rekonfigurasi Jaringan Menggunakan BPSO

	LWBP		WBP	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
Tie switches	s55 s56 s57 s58	s9 s21 s27 s52	s55 s56 s57 s58	s9 s21 s27 s52
Rugi - rugi daya aktif	73,068	53,099	81,621	61,558
Rugi - rugi daya reaktif	104,580	73,422	118,399	87,509
Pengurangan rugi - rugi daya aktif	-	27,33%	-	24,58%

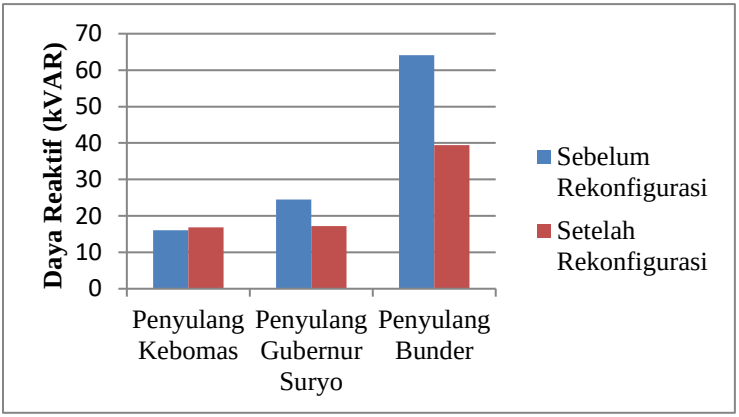
Tabel 4.18. Hasil Simulasi Rekonfigurasi Jaringan Menggunakan BPSO (lanjutan)

Pengurangan rugi - rugi daya reaktif	-	29,79%	-	26,09%
Nilai Tegangan Minimal	0,97854	0,98303	0,97406	0,97954

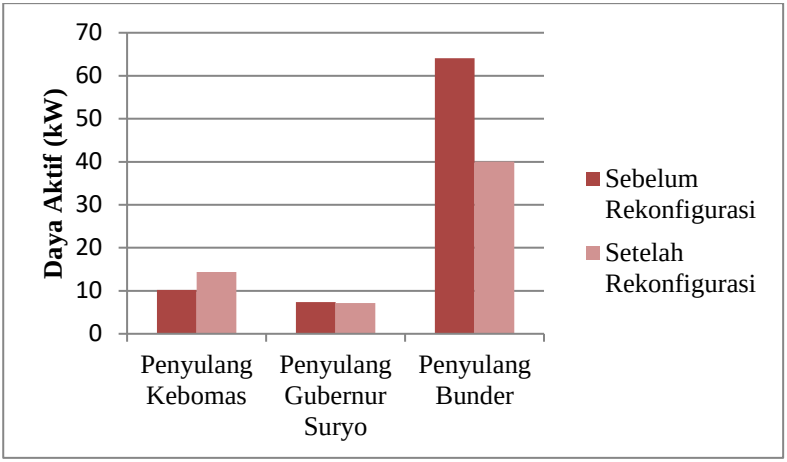
Berdasarkan Tabel 4.17, dapat diketahui bahwa terjadi penurunan nilai rugi daya total baik pada saat LWBP maupun WBP. Peletakan *tie switches* paling optimal saat pembebanan LWBP maupun WBP terdapat pada tempat yang sama yaitu s9, s21, s27, dan s52 dimana *switch – switch* tersebut berubah menjadi *normally open*. Pada simulasi di setiap cabang dianalogikan sebagai *switch* yang dapat dibuka dan ditutup. Dimana proses membuka dan menutup *switch* ini sebagai langkah untuk mencari konfigurasi paling optimal dalam sistem. Konfigurasi paling optimal didapatkan ketika rugi daya total sistem paling minimal.



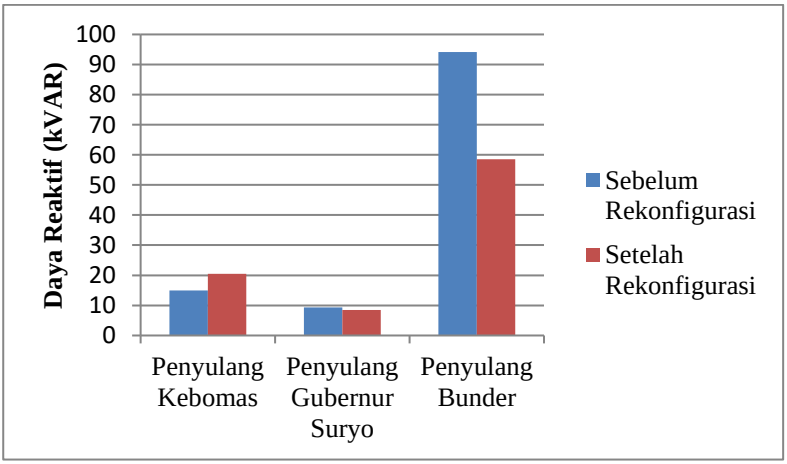
Gambar 4.2. Grafik Rugi - Rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi saat LWBP



Gambar 4.3. Grafik Rugi - Rugi Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi saat LWBP



Gambar 4.4. Grafik Rugi - Rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi saat WBP



Gambar 4.5. Grafik Rugi - Rugi Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi saat WBP

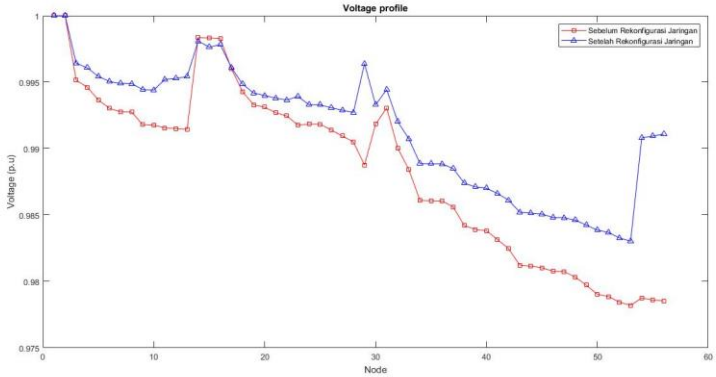
Setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan dengan dua kondisi yakni LWBP dan WBP, maka didapat rugi - rugi daya jaringan distribusi menurun. Pada saat LWBP, rugi - rugi daya jaringan distribusi menurun sebesar 19,96942 KW atau turun sebesar 27,33% untuk daya aktif dan 31,15705 KVAR atau turun sebesar 29,79% untuk daya reaktifnya. Sementara pada saat WBP, rugi - rugi daya jaringan distribusi menurun sebesar 20,06356 KW atau turun sebesar 24,58% untuk daya aktif dan 30,89092 KVAR atau turun sebesar 26,09% untuk daya reaktifnya.

Pada loop I, beban pada bus 29 yang semula tersambung dengan bus 28, dilakukan manuver sehingga tersambung dengan bus 15. Begitu juga pada loop II, beban pada bus 23 yang semula tersambung dengan bus 22, dimanuver sehingga tersambung dengan bus 17. Kedua loop ini terletak pada penyulang Gubernur Suryo. Hal ini dilakukan karena bus 29 dan bus 22 lebih dekat dengan bus 1 yang mana merupakan generator bus. Jadi, hal ini sesuai dengan teori dimana $P_{loss} = I^2R$. Hal ini menunjukkan semakin jauh jarak titik sumber dengan titik beban, maka semakin besar resistansinya, sehingga rugi - rugi daya menjadi semakin besar, begitu pula sebaliknya.

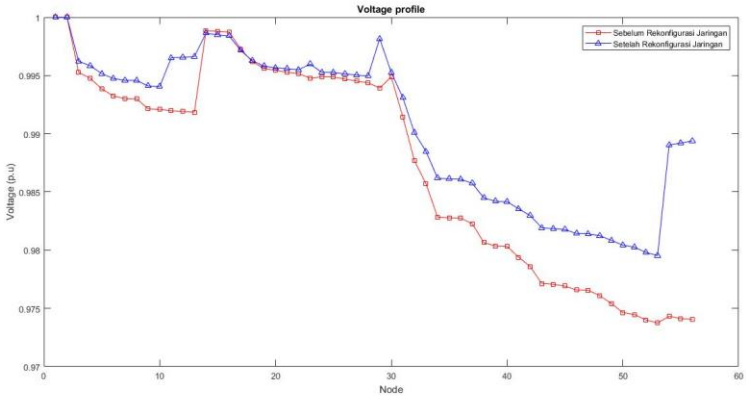
Pada loop III, beban pada bus 13, bus 12, dan bus 11 yang semula tersambung dengan penyulang Kebomas, dilakukan manuver sehingga ketiga bus beban tersebut tersambung dengan bus 16 pada penyulang Gubernur Suryo. Hal ini dilakukan karena bus 13, bus 12, dan bus 11 lebih dekat dengan sumber dari penyulang Gubernur Suryo daripada sumber dari penyulang Kebomas. Jadi, rugi - rugi daya yang terjadi dapat lebih kecil.

Pada loop IV, beban pada bus 56, bus 55, dan bus 54 yang semula tersambung dengan penyulang Bunder, dilakukan manuver sehingga ketiga bus beban tersebut tersambung langsung dengan bus 1 dimana bus 1 merupakan generator bus. Hal ini dilakukan karena bus 56, bus 55, dan bus 54 lebih dekat dengan sumber dari penyulang Kebomas daripada sumber dari penyulang Bunder. Jadi, rugi - rugi daya yang terjadi dapat lebih kecil.

Rekonfigurasi jaringan juga dapat mengubah nilai profil tegangan di setiap *bus* seperti tertera pada gambar berikut.



Gambar 4.6. Grafik Tegangan Setelah Rekonfigurasi saat LWBP



Gambar 4.7. Grafik Tegangan Setelah Rekonfigurasi saat WBP

Pada gambar diatas, bus 1 dan bus 2 tidak mengalami perubahan nilai tegangan karena kedua bus ini merupakan Gardu Induk. Gardu Induk disimulasikan sebagai *generator bus.* Pada bus beban terjadi perubahan nilai tegangan. Mayoritas nilai tegangan mengalami peningkatan dari sebelum dilakukan rekonfigurasi. Hal ini karena pada rekonfigurasi jaringan, dilakukan pengaturan ulang letak *tie switch* jaringan distribusi sehingga didapat konfigurasi yang optimal.

BAB 5
PENUTUP

Pada bab ini diuraikan kesimpulan dan saran dari serangkaian kegiatan penelitian yang telah dilakukan.

5.1. Kesimpulan

Sesuai dengan hasil simulasi sistem yang telah dilakukan dan juga hasil analisis data mengenai rekonfigurasi jaringan distribusi primer menggunakan *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) untuk mengurangi rugi - rugi daya jaringan distribusi, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada hasil simulasi, besarnya pembebanan berpengaruh terhadap nilai besarnya nilai rugi - rugi daya. Pada saat nilai WBP memiliki rugi - rugi daya lebih tinggi yaitu 81,62158 kW untuk daya aktif dan 118,39954 kVAR untuk daya reaktifnya. Sedangkan pada waktu LWBP, didapat nilai rugi - rugi daya sebesar 73,06819 kW untuk daya aktif dan 104,57942 untuk daya reaktif.
2. Penyulang Bunder memiliki tegangan paling minimal dari sistem sebelum rekonfigurasi dikarenakan memiliki panjang penyulang yang paling panjang sebesar 17,94 KMS.
3. Setelah rekonfigurasi jaringan, terjadi peningkatan kualitas tegangan minimal saat nilai LWBP dari 0,97854 p.u. menjadi 0,98303 p.u. serta saat WBP dari 0,97406 p.u. menjadi 0,97954 p.u.
4. Pembebanan yang berbeda pada penyulang akan tetap menghasilkan letak *tie swithces* yang sama. Saat nilai rata – rata LWBP dan WBP, letak *tie switches* pada s9, s21, s27, dan s52.
5. Setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan dengan BPSO dapat mengurangi rugi - rugi daya sebesar 27,79% untuk daya aktif dan 29,79% untuk daya reaktif saat LWBP serta 24,58% untuk daya aktif dan 26,09% untuk daya reaktif saat WBP.

5.2. Saran

Pada penelitian ini, didapat pula saran untuk pengembangan penelitian yang selanjutnya, yaitu sebagai berikut.

1. Menghitung nilai aset yang dibutuhkan dalam rekonfigurasi jaringan yang disarankan.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan melalui penggabungan antara rekonfigurasi jaring distribusi dan *Distributed Generation* (DG) dengan mempertimbangkan variasi beban.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Ginarsa, I Made dan Nrartha, I Made Ari, “Pemodelan Matematis Beban Tersebar Sebagai Beban Terpusat pada Sistem Distribusi 20 kV untuk Studi Aliran Daya”, Prosiding Tugas Akhir Teknik Elektro - Universitas Mataram, September, 2008.

[2] Suhadi, dkk., “Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1”, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta,Bab. 2, 2008.

[3] Samaulah, Hazairin, “Teknik Instalasi Tenaga Listrik”, Universitas Sriwijaya, Palembang, Bab. 2, 2002.

[4] Gonen, Turan, “Electric Power Distribution System Engineering”, McGraw - Hill Inc, California, 1986.

[5] Sabiq, Saifi, "Estimasi Kerugian Energi Jaringan Distribusi Radial Pada Penyulang NR 7 20 KV Kota Medan Menggunakan Loss Factor", Prosiding Tugas Akhir Teknik Elektro - ITS, Juli, 2017.

[6] Simamora, Yoakim, " Optimasi Rekonfigurasi Jaringan pada Kondisi Beban yang Berubah Terhadap Waktu Menggunakan Algoritma Binary Particle Swarm Optimization", Prosiding Tesis Teknik Elektro - ITS, Januari, 2017.

[7] Sunisith, S. dan Meena, K., “Backward/Forward Sweep Based Distribution Load Flow Method”, International Electrical Engineering Journal (IEEJ), Vol. 5, No.9, pp. 1539-1544, 2014

[8] Santoso, Dian Budhi, "Algoritma Aliran Daya dengan Metode Backward/Forward Sweep pada Sistem Distribusi Radial", Prosiding Tugas Akhir Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi - UGM, Juli, 2017.

[9] Myint, Su Mon, “Network Reconfiguration for Loss Reduction and Voltage Profile Improvement of 110-Bus Radial Distribution System

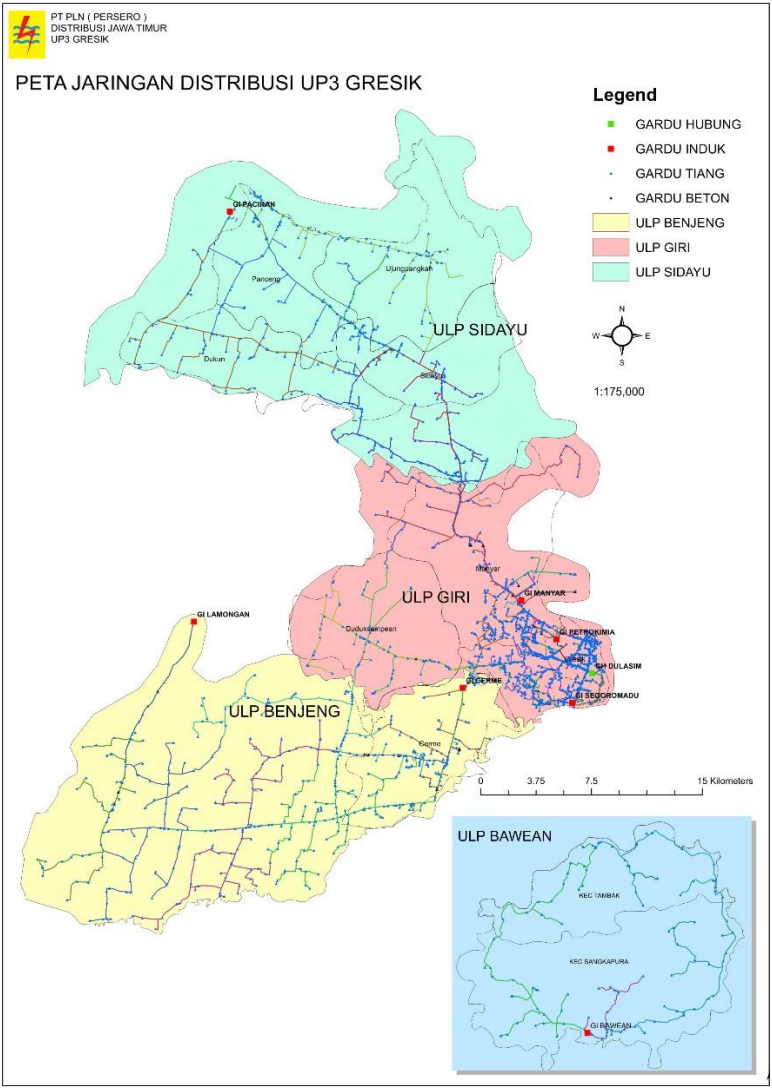
Using Exhaustive Search Techniques", International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Vol. 5, No. 4, pp. 788~797, 2015.

[10] Suyanto, " Algoritma Optimasi", Graha Ilmu, Yogyakarta,Bab. 8, 2010.

[11] Basyarach, Niken Adriaty, "Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Radial untuk Minimasi Rugi Daya Menggunakan Binary Particle Swarm Optimization (BPSO)", Prosiding Tugas Akhir Teknik Elektro-ITS, Januari, 2016.

LAMPIRAN 1

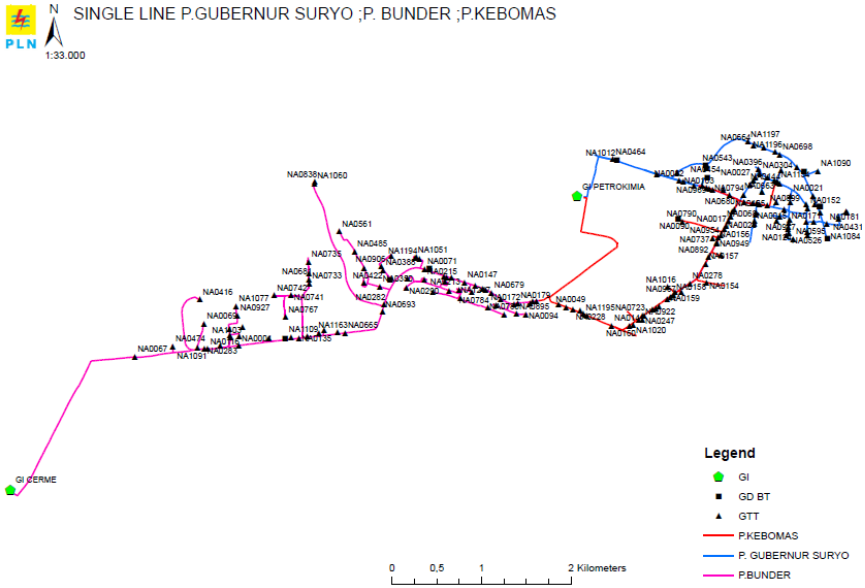
Peta Jaringan Distribusi Primer di Kabupaten Gresik



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 2

Single Line Diagram Penyulang Kebomas, Penyulang Gubernur Suryo, dan Penyulang Bunder



Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS

Penulis buku penelitian berjudul **"Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Primer PT. PLN (Persero) ULP Giri Menggunakan *Binary Particle Swarm Optimization* untuk Mengurangi Rugi - Rugi Daya Jaringan Distribusi"** ini bernama lengkap Vincentius Yuan Dwi Purnomo dengan nama panggilan Kevin. Penulis lahir di Gresik, 22 Januari 1998 dan hidup besar di Gresik. Penulis memulai jenjang Pendidikan di SDN 2 Sidokumpul Gresik pada tahun 2004 - 2010, SMPN 1 Gresik pada tahun 2010 - 2013, SMAN 1 Manyar pada tahun 2013 - 2016. Kemudian penulis melanjutkan studi perguruan tinggi tingkat sarjana di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Di Teknik Elektro, penulis mendalami bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis memiliki pengalaman organisasi baik di dalam kampus maupun di luar kampus. Di dalam kampus, penulis mengikuti organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Elektro (FTE) ITS periode 2018 - 2019. Diluar kampus, penulis mengikuti organisasi Orang Muda Katolik Gereja Santa Perawan Maria Gresik dalam bidang Misdinar Gereja Katolik Santa Perawan Maria Gresik dan Paduan Suara Orang Muda Katolik. Penulis juga mengikuti Program Magang Mahasiswa Bersertifikat (PMMB) di PT. PLN (Persero) selama enam bulan. Penulis dapat dihubungi melalui surel : vincentyuan22@gmail.com.