



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER
PADA PT. PLN (PERSERO) ULP PLOSO
MENGUNAKAN *SELECTIVE PARTICLE SWARM
OPTIMIZATION* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI
JARINGAN DISTRIBUSI**

Nina Restu Arianti
NRP 07111540000055

Dosen Pembimbing
Ir. Sjamsjul Anam, MT.
Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.

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



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

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

Nina Restu Arianti
NRP 07111540000055

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

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



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - EE 184801

**PRIMER DISTRIBUTION NETWORK RECONFIGURATION
OF PT. PLN (PERSERO) PLOSO DISTRICT BY USING
SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION FOR
INCREASE THE EFFICIENCY OF DISTRIBUTION
NETWORK**

Nina Restu Arianti
NRP 07111540000055

Supervisors

Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.

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

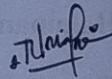
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER PADA PT. PLN (PERSERO) ULP PLOSO MENGGUNAKAN *SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI JARINGAN DISTRIBUSI**” adalah benar – benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

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

Surabaya, Juli 2019



NINA RESTU ARIANTI

0711154000055



--Halaman ini sengaja dikosongkan--

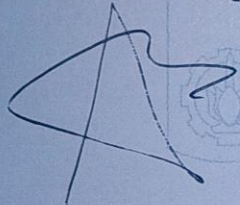
KONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER PADA PT. PLN (PERSERO) ULP PLOSO MENGGUNAKAN *SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI JARINGAN DISTRIBUSI

TUGAS AKHIR

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

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dosen Pembimbing II




Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

NIP. 196307251990031002

Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.

NIP. 198109052005011002





--Halaman ini sengaja dikosongkan--

REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER PADA PT. PLN (PERSERO) ULP PLOSO MENGUNAKAN *SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI JARINGAN DISTRIBUSI

Nina Restu Arianti
0711154000055

Pembimbing I: Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
Pembimbing II: Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.

ABSTRAK

Sistem distribusi memiliki peranan penting dalam menyalurkan energi listrik ke konsumen. PT. PLN (Persero) terus berusaha meningkatkan keandalan sistem kelistrikan yang ada, serta menjaga efisiensi penyaluran daya listrik. Maka dari itu, rekonfigurasi sistem jaringan distribusi perlu dilakukan selaras dengan perkembangan permintaan layanan listrik yang ada. Rekonfigurasi sistem jaringan distribusi bertujuan untuk meningkatkan efisiensi jaringan distribusi, dimana diharapkan nilai kerugian daya minimal. Rekonfigurasi jaringan distribusi dilakukan dengan mengatur ulang konfigurasi jaringan dengan pengontrolan buka tutup dari *switch-switch* yang terpasang pada tiap penyulang.

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan rekonfigurasi sistem jaringan distribusi 20 kV ULP Ploso Surabaya pada penyulang Tapaksiring, Kalijudan dan Babatan. Rekonfigurasi jaringan menggunakan metode *Selective Particle Swarm Optimization* (SPSO) untuk mendapatkan konfigurasi jaringan paling optimal dengan rugi daya minimal. Saat dilakukan pembebanan dengan nilai rata – rata Waktu Beban Puncak (WBP), pada kondisi awal sebelum rekonfigurasi sistem jaringan distribusi memiliki nilai tegangan minimal 0,944 p.u. dengan rugi daya aktif 254,26 kW. Setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan didapatkan peningkatan kualitas tegangan menjadi 0,968 p.u. dan rugi daya aktif berkurang sebesar 18,92% menjadi 206,13 kW.

Kata Kunci: rekonfigurasi jaringan, *Selective Particle Swarm Optimization* (SPSO), rugi daya, efisiensi



--Halaman ini sengaja dikosongkan--

PRIMER DISTRIBUTION NETWORK RECONFIGURATION OF PT. PLN (PERSERO) PLOS0 DISTRICT BY USING SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION FOR INCREASE THE EFFICIENCY OF DISTRIBUTION NETWORK

Nina Restu Arianti
07111540000055

Pembimbing I: Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
Pembimbing II: Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.

ABSTRACT

Distribution systems have an important role in linking electrical energy to consumers. PT. PLN (Persero) continues to try to improve the reliability of the existing electrical system, and maintain the efficiency of electricity distribution. Therefore, the reconfiguration of the distribution network system needs to be done in line with the development of demand for electricity services. Reconfiguration of the distribution network system aims to improve the efficiency of the distribution network, where the expected value of power losses is minimal. Distribution network reconfiguration is done by rearranging network configuration by opening and closing the switches installed on each feeder.

In this final project, a reconfiguration of the 20 kV ULP Plos0 Surabaya distribution network system was carried out on Tapaksiring, Kalijudan and Babatan. Network reconfiguration uses the Selective Particle Swarm Optimization (SPSO) method to get the most optimal network configuration with minimal power loss. When loading with the average value of peak load demand in the initial conditions before the reconfiguration the distribution network system has a minimum voltage value of 0.944 p.u. with active power loss 254.26 kW. After reconfiguration of the network, the voltage quality was increased to 0.968 p.u. and the active power loss was reduced by 18.92% to 206.13 kW.

Keywords: network reconfiguration, selective particle swarm optimization (SPSO), power loss, efficiency.



--Halaman ini sengaja dikosongkan--

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur tiada terkira penulis panjatkan kepada Allah, Tuhan yang Mahatinggi dan Maha Suci. Atas bantuan, limpahan berkah, rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan buku penelitian ini dengan judul **“Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Primer pada PT. PLN (Persero) ULP Ploso Menggunakan *Selective Particle Swarm Optimization* untuk Meningkatkan Efisiensi Jaringan Distribusi”**. Buku ini penulis persembahkan khususnya untuk keluarga dan umumnya untuk bahan referensi penelitian selanjutnya.

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.

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, Ibu Endang Setiyo Rini dan Bapak Kasiyanto, dua saudara tercinta Ryan Bagus Saputra dan Nadia Tria Amanda sebagai motivasi utama yang senantiasa memberi doa, semangat dan bantuan moral maupun materil sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan tepat waktu.
2. Keluarga besar yang telah senantiasa memberikan dukungan dan doa sehingga penelitian ini dapat terselesaikan tepat waktu.
3. Bapak Ir. Sjamsjul Anam, M.T. dan Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan, arahan serta motivasi selama pengerjaan buku penelitian ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
4. Ibu Maria GI Gunawan dan Bapak Irsyam Asri Putra selaku Manager PT. PLN (Persero) UP3 Surabaya dan Manajer ULP Ploso selaku *mentor* dan *co-mentor* selama program PMMB yang telah banyak memberikan ilmu dan bantuan selama magang serta dalam pengambilan data penelitian.

5. Pak Agus Guntoro, Pak Fauzan, Pak Mukti, Pak Rizky serta keluarga besar PT. PLN (Persero) ULP Ploso yang telah banyak memberikan dukungan dan bantuan selama program PMMB dan dalam proses pengambilan data penelitian.
6. Keluarga Asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik serta keluarga Mutiara 7 yang menemani dalam suka dan duka dan saling mendoakan.
7. Angkatan E55 yang telah mewarnai suka dan duka selama di kampus perjuangan.
8. Ika Ulfa S. dan Rochmatun Annisa sahabat yang selalu senantiasa memberikan semangat, dukungan serta doa.
9. Mbak Adfiana Pramudaswari partner magang PMMB di ULP Ploso serta teman – teman PMMB yang telah mewarnai suka duka saat magang dan membantu dalam pengambilan data.
10. Dan semua pihak yang tak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis mengucapkan 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.

Surabaya, Juli 2019

Nina Restu Arianti

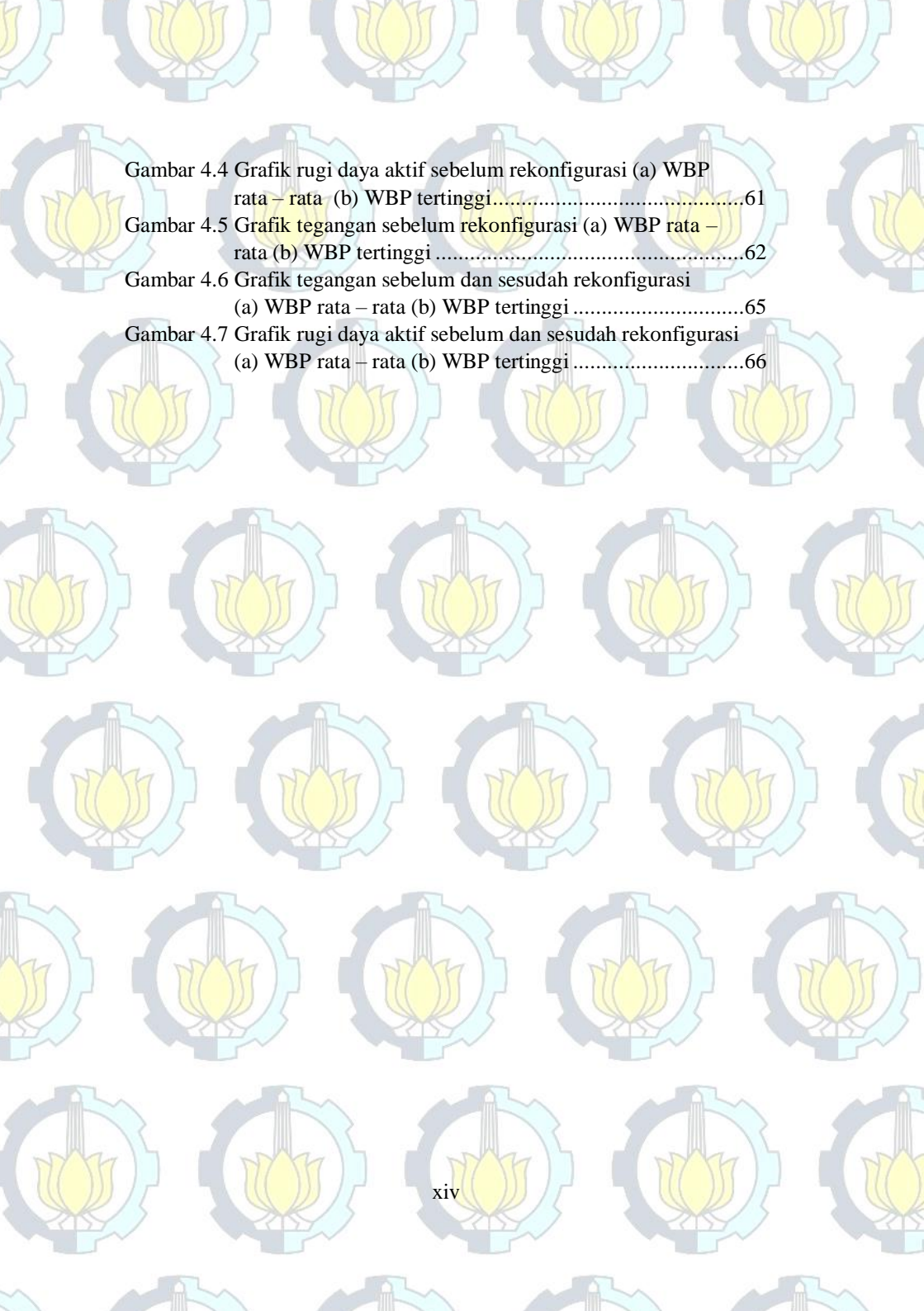
DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	i
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metodologi	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
1.7. Relevansi.....	6
BAB 2 REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI DAN SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (SPSO).....	7
2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik	7
2.1.1 Sistem Disribusi Primer.....	8
2.2 Sistem Jaringan Distribusi Radial	8
2.2.1. Sistem Jaringan Radial Pohon	9
2.2.2 Sistem Jaringan Radial dengan <i>Tie</i> dan <i>Switch</i> Pemisah.....	10
2.2.3 Sistem Jaringan Radial Tipe Pusat Beban	11
2.2.4 Sistem Jaringan Radial Tipe <i>Phase Area</i>	11
2.3 Klasifikasi Jenis Beban.....	12
2.3.1 Karakteristik Beban.....	13
2.4 Rekonfigurasi Jaringan Distribusi.....	14
2.5 Analisis Aliran Daya Sistem Distribusi	15
2.5.1 Metode <i>Newton Raphson</i>	15
2.6 Rugi pada Sistem Distribusi.....	17
2.7 Algoritma <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO)	19
2.8 <i>Selective Particle Swarm Optimization</i> (SPSO)	20
BAB 3 REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI MENGUNAKAN SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (SPSO).....	23

3.1	<i>Single Line Diagram</i> ULP Ploso Surabaya	24
3.2	Sistem Distribusi 20 kV ULP Ploso Surabaya	24
3.2.1	Data Pengukuran Beban Penyulang ULP Ploso Surabaya	26
3.2.2	Penyulang Tapaksiring	29
3.2.3	Penyulang Kalijudan	33
3.2.4	Penyulang Babatan	35
3.3	Pemodelan Simulasi Sistem	38
3.3.1	Pemodelan Matematis Beban Terpusat dari Beban Tersebar	38
3.3.2	Pemodelan sistem bus pada simulasi	39
3.4	Penggunaan SPSO Pada Rekonfigurasi Jaringan Distribusi	41
BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS DATA		45
4.1	Hasil Simulasi Sebelum Rekonfigurasi	45
4.2	Hasil Simulasi Setelah Rekonfigurasi	54
4.3	Analisis Data Hasil Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi	63
4.4	Pendekatan Biaya	67
BAB 5 PENUTUP		68
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran	69
DAFTAR PUSTAKA		71
LAMPIRAN		73
RIWAYAT HIDUP		79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses penyaluran energi listrik ke beban	7
Gambar 2.2	Konfigurasi sistem jaringan distribusi radial sederhana	9
Gambar 2.3	Sistem jaringan radial pohon	10
Gambar 2.4	Sistem jaringan radial dengan <i>tie</i> dan <i>switch</i> pemisah	10
Gambar 2.5	Sistem jaringan radial tipe pusat beban	11
Gambar 2.6	Sistem jaringan radial tipe <i>phasa area</i>	12
Gambar 2.7	Karakteristik beban harian untuk beban perumahan, komersial, dan industri	13
Gambar 2.8	<i>Single line diagram</i> penyulang utama.....	18
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	23
Gambar 3.2	Grafik beban penyulang Tapaksiring.....	28
Gambar 3.3	Grafik beban penyulang Kalijudan	28
Gambar 3.4	Grafik beban penyulang Babatan	29
Gambar 3.5	<i>Single line diagram</i> penyulang Tapaksiring.....	32
Gambar 3.6	<i>Single line diagram</i> penyulang Kalijudan.....	34
Gambar 3.7	<i>Single line diagram</i> penyulang Babatan	37
Gambar 3.8	Implementasi titik pusat beban pada pemodelan	38
Gambar 3.9	Pemodelan terpusat dari beban terpusat (a) beban tersebar (b) beban terpusat	39
Gambar 3.10	Pemodelan sistem jaringan distribusi menjadi sistem bus (a) Sistem jaringan distribusi kondisi nyata (b) Sistem distribusi bus	40
Gambar 3.11	Sistem distribusi 51 bus	41
Gambar 3.12	Penyederhanaan jaringan distribusi	43
Gambar 3.13	Diagram alir SPSO.....	44
Gambar 4.1	Grafik rugi daya aktif sebelum rekonfigurasi (a) WBP rata – rata (b) WBP tertinggi	52
Gambar 4.2	Grafik tegangan sebelum rekonfigurasi (a) WBP rata – rata (b) WBP tertinggi.....	53
Gambar 4.3	Sistem distribusi 51 bus setelah rekonfigurasi	54



Gambar 4.4 Grafik rugi daya aktif sebelum rekonfigurasi (a) WBP rata – rata (b) WBP tertinggi.....	61
Gambar 4.5 Grafik tegangan sebelum rekonfigurasi (a) WBP rata – rata (b) WBP tertinggi	62
Gambar 4.6 Grafik tegangan sebelum dan sesudah rekonfigurasi (a) WBP rata – rata (b) WBP tertinggi	65
Gambar 4.7 Grafik rugi daya aktif sebelum dan sesudah rekonfigurasi (a) WBP rata – rata (b) WBP tertinggi	66

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data bus generator.....	25
Tabel 3.2 Data pengukuran beban bulan Maret 2019	26
Tabel 3.4 Data impedansi saluran penyulang Tapaksiring	29
Tabel 3.5 Data impedansi saluran penyulang Tapaksiring (lanjutan) ...	30
Tabel 3.6 Data beban bus penyulang Tapaksiring.....	30
Tabel 3.7 Data beban bus penyulang Tapaksiring (lanjutan).....	31
Tabel 3.8 Data impedansi saluran penyulang Kalijudan.....	33
Tabel 3.9 Data beban bus penyulang Kalijudan	33
Tabel 3.10 Data beban bus penyulang Kalijudan (lanjutan)	34
Tabel 3.11 Data impedansi saluran penyulang Babatan	35
Tabel 3.12 Data beban bus penyulang Babatan.....	36
Tabel 3.13 <i>Loops</i> dari sistem 51 bus.....	42
Tabel 4.1 Data tegangan sebelum rekonfigurasi penyulang Tapaksiring.....	46
Tabel 4.2 Data rugi daya sebelum rekonfigurasi penyulang Tapaksiring.....	47
Tabel 4.3 Data tegangan sebelum rekonfigurasi penyulang Kalijudan.....	48
Tabel 4.4 Data rugi daya sebelum rekonfigurasi penyulang Kalijudan.....	48
Tabel 4.5 Data rugi daya sebelum rekonfigurasi penyulang Kalijudan (lanjutan).....	49
Tabel 4.6 Data tegangan hasil simulasi sebelum rekonfigurasi penyulang Babatan	49
Tabel 4.7 Data rugi daya hasil simulasi rekonfigurasi penyulang Babatan	50
Tabel 4.8 Total rugi daya sebelum rekonfigurasi	51
Tabel 4.9 Data tegangan setelah rekonfigurasi penyulang Tapaksiring.....	55
Tabel 4.10 Data rugi daya setelah rekonfigurasi penyulang Tapaksiring.....	56
Tabel 4.11 Data tegangan setelah rekonfigurasi penyulang Kalijudan.....	56

Tabel 4.12 Data tegangan setelah rekonfigurasi penyulang Kalijudan (lanjutan)	57
Tabel 4.13 Data rugi daya setelah rekonfigurasi penyulang Kalijudan	57
Tabel 4.14 Data rugi daya setelah rekonfigurasi penyulang Kalijudan (lanjutan)	58
Tabel 4.15 Data tegangan setelah rekonfigurasi penyulang Babatan.....	58
Tabel 4.16 Data tegangan setelah rekonfigurasi penyulang Babatan (lanjutan)	59
Tabel 4.17 Data rugi daya setelah rekonfigurasi penyulang Babatan	59
Tabel 4.18 Data rugi daya setelah rekonfigurasi penyulang Babatan (lanjutan)	60
Tabel 4.19 Total rugi daya setelah rekonfigurasi	60
Tabel 4.20 Hasil simulasi rekonfigurasi jaringan menggunakan SPSO	63

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini pertumbuhan penduduk terjadi setiap tahun. Hal ini mengakibatkan meningkatnya kebutuhan listrik pada masyarakat. Di Indonesia pertumbuhan sistem kelistrikan dapat dikatakan pesat, dikarenakan untuk mengimbangi permintaan terhadap energi listrik yang ada. Listrik dapat digunakan oleh masyarakat luas setelah melewati tiga tahapan alur yaitu pembangkitan tenaga listrik kemudian penyaluran daya listrik pada tegangan tinggi (transmisi) dan yang terakhir melalui penyaluran listrik pada tegangan menengah (distribusi) dimana listrik disalurkan pada masyarakat luas.

Sistem distribusi tenaga listrik mempunyai sebuah konfigurasi topologi jaringan distribusi dimana terdapat *tie switches* dan *sectionalizers* untuk menentukan jenis topologinya. Pada umumnya terdapat dua jenis topologi jaringan yang sering digunakan yaitu topologi radial dan *mesh (loop)*. Jenis sistem topologi mempengaruhi efisiensi penyaluran daya tenaga listrik dari gardu induk ke pelanggan. Maka dari itu, perusahaan listrik selalu berusaha menemukan konfigurasi jaringan distribusi yang dianggap paling efisien, dimana salah satunya adalah dengan meminimalisir adanya kerugian daya nyata pada sistem distribusi tiga fasa mereka. Diperkirakan pada negara-negara berkembang bahwa sistem jaringan distribusi dapat menyebabkan kerugian hingga 5-13% dari total daya listrik yang dibangkitkan [1].

PT. PLN (Persero) merupakan perusahaan listrik negara yang melayani hampir seluruh sistem kelistrikan di Indonesia. Sebagai perusahaan yang melayani kelistrikan di Indonesia, sudah sewajarnya PT. PLN (Persero) terus meningkatkan keandalan sistem kelistrikan yang ada, serta menjaga efisiensi penyaluran daya listrik. Sektor distribusi merupakan bagian yang paling dekat dengan pelanggan listrik. Sistem jaringan distribusi dapat dikatakan ujung tombak pelayanan kelistrikan. Maka dari itu, rekonfigurasi sistem jaringan distribusi perlu dilakukan selaras dengan perkembangan permintaan layanan listrik yang ada. Rekonfigurasi sistem jaringan distribusi bertujuan untuk meningkatkan efisiensi jaringan distribusi, dimana diharapkan nilai kerugian (*losses*) daya kecil. Sehingga tegangan yang sampai pelanggan masih dalam batas yang diizinkan. Berdasarkan SPLN 72:1987 desain

jaringan tegangan menengah (JTM) dapat didesain susut maksimal sebesar 2,3% [2]. Setiap penyulang pada sistem distribusi memiliki karakteristik yang berbeda satu sama lain. Ada yang merupakan penyulang yang menyuplai beban komersial / bisnis, rumah tangga dan industri. Akibatnya beban puncak pada trafo gardu induk pada penyulang tersebut atau *section* penyulang terjadi pada waktu yang berbeda. Rekonfigurasi sistem jaringan distribusi memungkinkan untuk menyalurkan beban dari penyulang dengan beban penuh ke penyulang yang memiliki beban sedikit. Penyaluran beban tersebut sangat efektif bukan hanya untuk mengatasi masalah kelebihan beban pada penyulang namun juga dapat memperbaiki kualitas tegangan sepanjang penyulang dan mengurangi adanya kerugian (*losses*) pada sistem seluruh jaringan listrik [3].

Rekonfigurasi jaringan merupakan sebuah operasi yang sangat penting dan berguna untuk mengurangi rugi-rugi daya pada penyulang dan meningkatkan sistem keamanan. Rekonfigurasi jaringan distribusi sendiri dilakukan dengan mengatur ulang konfigurasi jaringan dengan pengontrolan buka tutup dari *switch-switch* yang terpasang pada tiap penyulang [4]. Dalam tugas akhir ini, permasalahan konfigurasi jaringan distribusi PT. PLN (Persero) ULP Ploso dengan rugi – rugi daya minimal ini akan diselesaikan dengan menggunakan metode *Selective Particle Swarm Optimization* (SPSO) untuk meningkatkan efisiensi jaringan distribusi.

1.2. Perumusan Masalah

PT. PLN (Persero) ULP Ploso Surabaya memiliki jaringan distribusi primer banyak dan kompleks yang disuplai dari beberapa gardu induk sehingga memungkinkan untuk timbulnya rugi - rugi daya. Sehingga diperlukan rekonfigurasi jaringan serta analisis jaringan distribusi untuk mengurangi kerugian daya yang terjadi. Rekonfigurasi jaringan dilakukan dengan meninjau jaringan distribusi primer, memilih penyulang yang memungkinkan untuk dilakukan rekonfigurasi menggunakan metode SPSO dan melakukan pemodelan sistem bus untuk simulasi SPSO. Dari hasil simulasi dilakukan analisis hasil optimasi dengan mendapatkan rugi daya paling minimal. Serta membandingkan rugi daya aktif yang terjadi sebelum dan sesudah rekonfigurasi.

1.3. Tujuan

Penelitian ini memiliki tujuan seperti di bawah ini:

1. Melakukan observasi jaringan sistem distribusi primer PT. PLN (Persero) ULP Ploso.
2. Menentukan penyulang yang akan dilakukan rekonfigurasi menggunakan SPSO.
3. Pemodelan sistem jaringan distribusi menjadi sistem bus untuk proses simulasi.
4. Menganalisis bentuk rekonfigurasi jaringan baru pada sistem jaringan distribusi primer PT. PLN (Persero) ULP Ploso.
5. Membandingkan dan menganalisis hasil simulasi program sebelum dan sesudah dilakukan rekonfigurasi jaringan distribusi PT. PLN (Persero) ULP Ploso.
6. Memperoleh rugi daya aktif paling optimal dari rekonfigurasi jaringan.
7. Memperoleh besar penghematan biaya yang didapatkan setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan distribusi.
8. Memberikan saran 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 plan penyulang pada sistem distribusi 20 kV ULP Ploso yaitu penyulang Tapaksiring, Kalijudan dan Babatan.
2. Penyulang yang digunakan telah disederhanakan menjadi sistem 51 bus dengan 54 *branch*.
3. *Software* yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah MATLAB R2018a.
4. Fungsi Objektif yang digunakan dalam proses optimasi adalah meminimalkan total rugi daya aktif pada sistem distribusi primer 20 kV.
5. Sistem distribusi yang digunakan adalah sistem distribusi radial.
6. Dalam tugas akhir ini, analisa aliran daya tidak dibahas secara mendetail.
7. Tidak mempertimbangkan harmonisa pada sistem.
8. Tidak mempertimbangkan 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*, khususnya *Selective Particle Swarm Optimization* (SPSO). Selain itu mempelajari literatur yang berkaitan dengan perangkat lunak MATLAB serta *manual book* 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 daya rugi minimal. Pemodelan untuk penentuan kombinasi *tie switches* dilakukan dengan menggunakan metode *Selective Particle Swarm Optimization*.

4.Simulasi Data

Simulasi dilakukan pada sistem distribusi radial penyulang Tapaksiring, Kalijudan dan Babatan. Simulasi dilakukan dengan melakukan pemodelan penyulang menjadi sistem 51 bus dengan 54 *branch* pada *software* MATLAB R2018a menggunakan metode *Selective Particle Swarm Optimization* (SPSO).

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 Dasar Teori

Bab ini berisi teori penunjang yang membahas tentang sistem distribusi radial, aliran daya, rekonfigurasi jaringan, metode *selective particle swarm optimization*, reduksi *losses* pada sistem jaringan distribusi.

BAB 3 Rekonfigurasi Jaringan dan Algoritma SPSO

Bab ini membahas tentang perancangan sistem distribusi 20 kV pada 3 penyulang (Tapaksiring, Kalijudan dan Babatan) pada ULP Ploso dan penerapan algoritma *Selective Particle Swarm Optimization* yang digunakan untuk menentukan kombinasi *tie – switches* yang menghasilkan rugi daya minimal.

BAB 4 Analisis Rekonfigurasi Jaringan Distribusi

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

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

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:

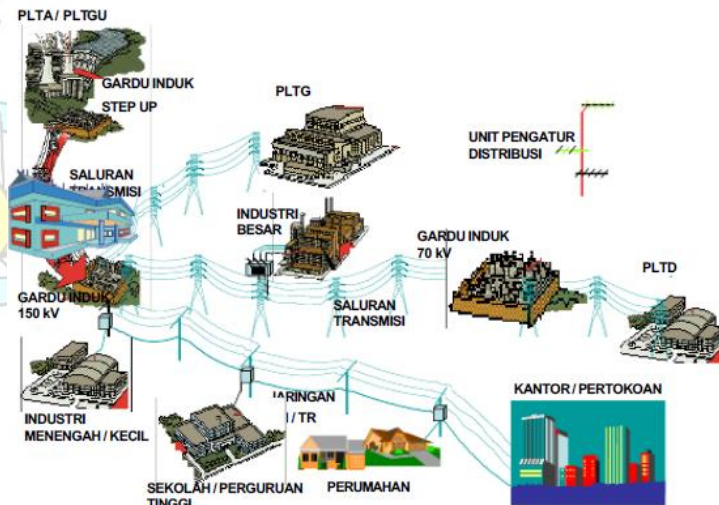
1. Dapat dijadikan acuan dalam perencanaan sistem jaringan distribusi yang akan dilakukan rekonfigurasi untuk meminimalkan rugi daya (*losses*).
2. Dapat dilakukan acuan untuk menentukan letak *tie – switches* dalam rekonfigurasi jaringan distribusi.
3. Mendapatkan hasil rugi daya aktif paling minimal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

BAB 2

REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI DAN *SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (SPSO)

2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi Tenaga Listrik memiliki peranan yang sangat penting dalam menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke beban [5]. Pada umumnya pembangkit terletak jauh dari beban sehingga dibutuhkan penyalur untuk menyalurkan energi listrik sampai di beban. Sehingga energi listrik memerlukan sistem transmisi dan distribusi agar energi listrik dapat tersalurkan ke beban. Sistem transmisi merupakan sistem dimana energi listrik disalurkan dari pembangkit ke beban (gardu induk) dengan tegangan listrik yang tinggi yaitu 70 kV, 150 kV dan 500 kV. Sedangkan sistem distribusi merupakan sistem penyaluran energi dengan tegangan menengah maupun rendah. Berikut merupakan diagram proses penyaluran energi listrik sampai ke beban [6].



Gambar 2.1 Proses penyaluran energi listrik ke beban [6]

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

1. Sistem distribusi primer
2. Sistem distribusi sekunder

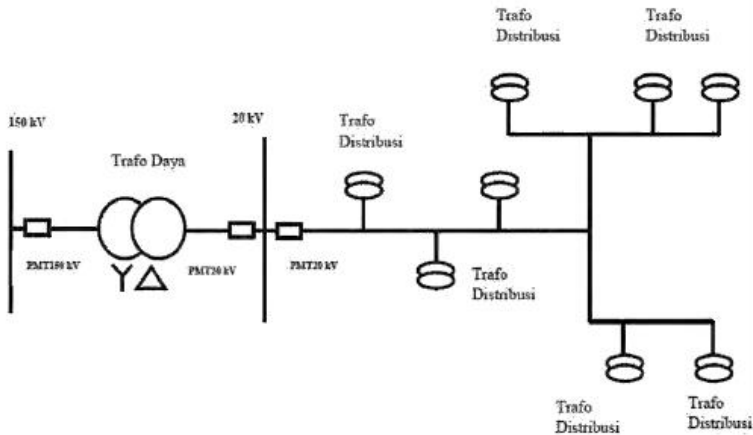
Sistem distribusi primer biasa disebut dengan istilah Jaringan Tegangan Menengah (JTM) menyalurkan daya listrik dari gardu induk ke pusat – pusat beban (primer trafo distribusi). Pada sistem distribusi sekunder tegangan yang digunakan merupakan tegangan menengah yaitu 6 kV sampai 20 kV. Sedangkan sistem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

2.1.1 Sistem Distribusi Primer

Sistem distribusi primer menyalurkan daya listrik dari gardu induk distribusi menuju ke pusat – pusat beban (primer trafo). 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 [6]. Terdapat bermacam – macam bentuk jaringan distribusi primer antara lain sistem distribusi radial, sistem distribusi *loop*, sistem distribusi *spindle* dan sistem distribusi *mesh*. Dalam penelitian tugas akhir ini menggunakan sistem distribusi tipe radial.

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 [6].

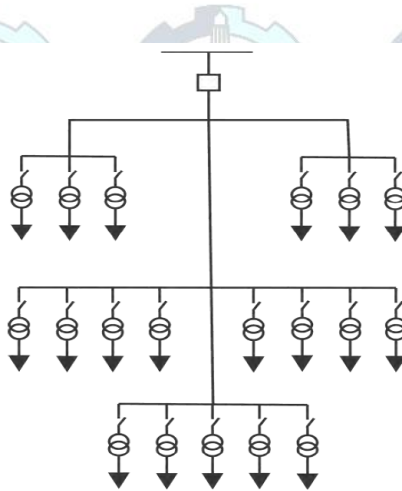


Gambar 2.2 Konfigurasi sistem jaringan distribusi radial sederhana [6]

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 Radial Pohon

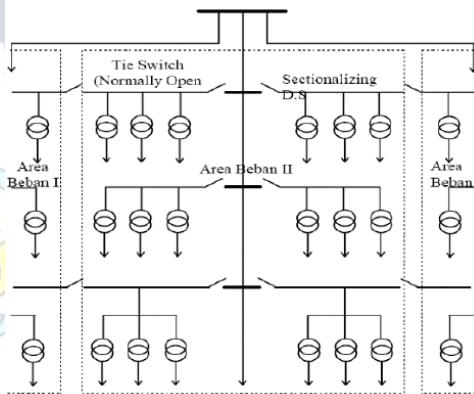
Sistem jaringan radial pohon merupakan bentuk yang paling sederhana dari sistem jaringan radial. Saluran utama (*main feeder*) ditarik dari suatu gardu induk sesuai dengan kebutuhan, kemudian dicabangkan melalui saluran cabang, selanjutnya dicabangkan lagi melalui saluran anak cabang. Ukuran dari masing -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 tiap cabang bergantung pada besar beban [7].



Gambar 2.3 Sistem jaringan radial pohon [6]

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

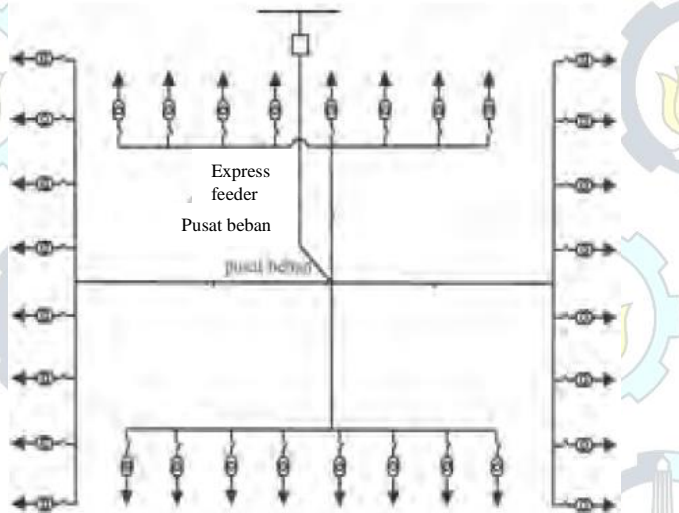
Sistem radial dengan *tie* dan *switch* pemisah merupakan pengembangan dari sistem jaringan radial pohon, pengembangan ini memiliki tujuan untuk meningkatkan keandalan sistem dimana apabila terjadi gangguan maka *feeder* yang terganggu akan dilokalisasi, area yang semula dilayani *feeder* tersebut pelayanannya dialihkan pada *feeder* yang sehat atau tidak terganggu [8].



Gambar 2.4 Sistem jaringan radial dengan *tie* dan *switch* pemisah [6]

2.2.3 Sistem Jaringan Radial Tipe Pusat Beban

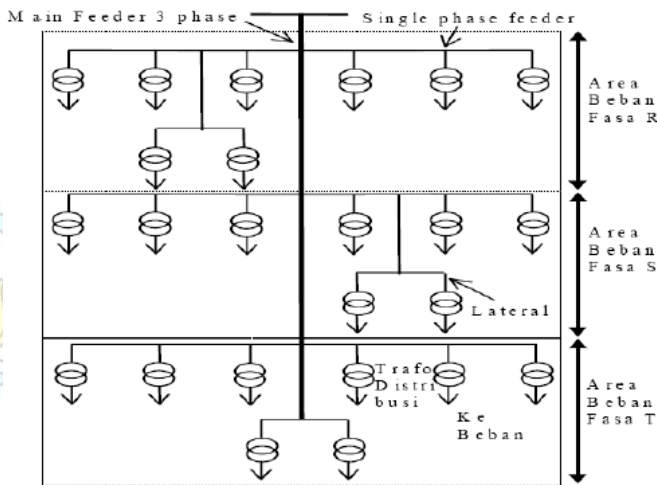
Sistem jaringan radial tipe pusat beban memiliki bentuk rekonfigurasi yaitu mensuplai daya dengan menggunakan penyulang utama (*main feeder*) langsung ke pusat beban, kemudian dari titik pusat beban dicabangkan lagi secara radial. Bentuk sistem jaringan radial tipe pusat beban dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2. 5 Sistem jaringan radial tipe pusat beban [6]

2.2.4 Sistem Jaringan Radial Tipe Phase Area

Jaringan radial dengan *phase area*, masing – masing fasa dari jaringan memiliki tugas melayani daerah beban yang berlainan. Bentuk 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.



Gambar 2. 6 Sistem jaringan radial tipe *phasa area* [6]

2.3 Klasifikasi Jenis Beban

Setiap kebutuhan listrik memiliki tujuan dan maksud yang berbeda - beda dalam penggunaannya. Penggunaan listrik yang berbeda ini dapat menimbulkan kelompok beban beragam yang memiliki karakter tersendiri. Pengelompokan jenis beban berdasarkan kategori tertentu diperlukan untuk mengetahui karakter tiap beban.

Secara umum pengelompokan beban dapat dikategorikan berdasarkan maksud dan tujuannya. Pada PT. PLN (Persero) Unit Distribusi juga menggunakan kategori ini dalam mengelompokkan jenis beban, yang umumnya kategori berdasarkan kelompok tarif pelanggan antara lain untuk beban rumah tangga, komersial, publik dan industri. Penjelasan mengenai pengelompokan beban diantaranya adalah:

1. Rumah Tangga
Beban rumah tangga terdiri atas pemakaian daya listrik untuk keperluan rumah tangga atau perumahan.
2. Komersial
Beban komersial merupakan pemakaian daya listrik untuk keperluan usaha seperti pertokoan, *mall*, tempat hiburan dan lain sebagainya yang mana digunakan untuk menunjang proses usaha.

3. Publik

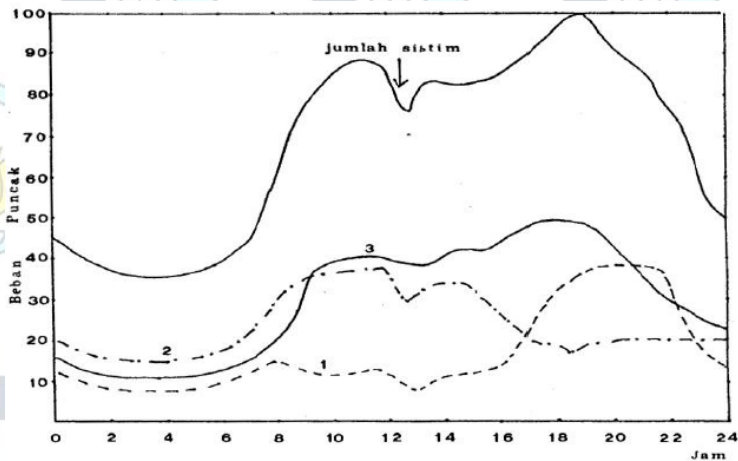
Beban publik merupakan pemakaian daya listrik untuk keperluan fasilitas – fasilitas umum seperti halnya, penerangan jalan umum (PJU), kantor pemerintahan, rumah sakit, kantor pelayanan publik dan lain sebagainya.

4. Industrial

Beban industrial terdiri dari pemakaian daya listrik untuk kegunaan menjalankan suatu usaha yang selalu membutuhkan energi listrik secara kontinyu [9].

2.3.1 Karakteristik Beban

Jika dilakukan pengukuran pada tiap jam dalam rentang waktu tertentu (24 jam) pada masing – masing jenis beban maka akan diperoleh data pengukuran beban yang kemudian jika diplot akan didapatkan sebuah bentuk kurva yang khas pada masing – masing jenis beban tersebut dapat dilihat pada gambar 2.7. Bentuk kurva yang biasa disebut dengan lengkung / kurva beban (*load curve*) menunjukkan data variasi pembebanan setiap saat. Bentuk kurva tergantung pada jenis beban dan sifat beban tersebut.



Gambar 2.7 Karakteristik beban harian untuk beban perumahan, komersial, dan industri [10]

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa beban perumahan mencapai nilai beban tertinggi pada pukul 18.00 sampai 20.00 (grafik 1). Beban industri (grafik 2) beban tertinggi terjadi pada siang dan malam, sedangkan untuk industri yang beroperasi pada siang dan malam akan memiliki bentuk kurva beban yang cukup seimbang antara siang dan malam. Beban komersial (grafik 3) mencapai nilai beban tertinggi pada pukul 17.00 – 19.00. Dalam sehari semalam dapat dilihat bahwa sistem mencapai nilai beban tertinggi pada siang dan malam hari. Beban puncak pada siang hari terjadi pukul 10.00 – 12.00 [10].

Jika dilihat dari grafik secara keseluruhan nilai beban puncak pada malam hari lebih besar dari pada nilai beban puncak pada siang hari. Penggunaan beban puncak pada malam hari sebagian besar digunakan oleh beban perumahan dan komersial. Hal ini mungkin disebabkan karena pola pemakaian daya listrik untuk sebagian besar keperluan yang terjadi pada malam hari, seperti penerangan rumah, penerangan jalan dan lain sebagainya. Sedangkan untuk penggunaan beban puncak pada siang hari diperkirakan digunakan untuk kelompok beban industri dan sebagian kelompok beban komersial dan sebagian kecil kelompok beban perumahan. Secara umum kegiatan industri lebih banyak pada siang hari walaupun ada beberapa jenis industri bekerja pada siang maupun malam hari. Meskipun demikian beban puncak siang hari untuk kelompok beban industri diperkirakan lebih besar dari pada beban puncak malam hari [10].

2.4 Rekonfigurasi Jaringan Distribusi

Pada sistem distribusi, rekonfigurasi jaringan merupakan proses yang memungkinkan struktur topologi penyulang dengan mengatur status buka / tutup dari *tie switch* maupun *sectionalizer* dalam sistem distribusi untuk meminimalkan kerugian (*losses*). Biasanya saklar pemisah (*sectionalizer*) akan pada posisi tertutup dan *tie switch* akan pada posisi terbuka. Jelas, jika lebih banyak jumlah *tie switch*, akan lebih banyak opsi untuk melakukan rekonfigurasi jaringan agar mendapatkan efek yang lebih baik dalam meminimalisir adanya *losses* [11].

Permintaan konsumen akan daya listrik terus meningkat setiap hari, setiap minggu maupun bulan. Oleh karena itu, rekonfigurasi jaringan memungkinkan beban berpindah dari daerah dengan beban penuh ke daerah yang memiliki beban kurang. Rekonfigurasi jaringan juga dapat digunakan dalam studi perencanaan, untuk menentukan

konfigurasi paling optimal dari jaringan selama prosedur perencanaan keseluruhan.

Konfigurasi jaringan dilakukan dengan alasan utama sebagai berikut:

- a. Dapat memberikan layanan kepada sebanyak mungkin konsumen bahkan dalam kondisi pemadaman yang direncanakan untuk tujuan pemeliharaan.
- b. Menjaga sistem agar tidak memuat elemen jaringan secara berlebihan dengan menyeimbangkan beban.
- c. Kerugian sistem dapat berkurang [11].

2.5 Analisis Aliran Daya Sistem Distribusi

Analisis aliran daya pada sebuah sistem tenaga listrik berguna untuk menghitung beberapa parameter penting antara lain arus, tegangan, daya dan kerugian daya. Beberapa metode analisis daya seperti *Gauss – Seidel*, *Newton Raphson* dan *Fast Decoupled*. Pada penelitian ini menggunakan analisis aliran daya *Newton – Raphson* dalam menyelesaikan persamaan non linier pada program.

2.5.1 Metode *Newton Raphson*

Metode *Newton Raphson* merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk menyelesaikan persamaan nonlinier. Metode *Newton – Raphson* memiliki karakteristik konvergensi yang lebih cepat. Metode *Newton – Raphson* memiliki waktu yang lebih cepat dan iterasi yang lebih sedikit dibandingkan metode *Gauss Seidel*.

Langkah pertama dalam menyelesaikan persamaan aliran daya yaitu membentuk matriks admitansi bus (Y bus). Rumus menghitung admitansi bus ditunjukkan pada persamaan 2.1 [12].

$$y_{ij} = \frac{1}{z_{ij}} + \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

y_{ij} : admitansi saluran dari bus i ke bus j

z_{ij} : impedansi saluran dari bus i ke bus j

r_{ij} : resistansi saluran dari bus i ke bus j

jx_{ij} : reaktansi saluran dari bus i ke bus j

Setelah menghitung admitansi bus, nilai admitansi di konversikan ke model *rectangular* pada persamaan 2.2 selanjutnya membuat persamaan arus yang ditujukan pada persamaan 2.3

$$I_i = \sum_{j \in i}^n V_j \cdot Y_{ij} \quad (2.2)$$

Dimana:

$$Y_{ij} = G_{ij} + B_{ij} \quad (2.3)$$

Keterangan:

I_i : Arus yang mengalir dari bus i

V_i : Tegangan di bus i

Y_{ij} : Admitansi saluran antara bus i dan bus j

Seperti pada persamaan 2.3 yaitu bentuk *rectangular* dari admitansi, pada persamaan 2.4 merupakan bentuk *rectangular* dari tegangan.

$$V_i = e_i + jf_i \quad (2.4)$$

Keterangan:

V_i : Tegangan pada bus i

$e_i + jf_i$: Komponen *rectangular* tegangan

Setelah didapatkan persamaan 2.2 dan 2.4, selanjutnya dimasukkan ke persamaan aliran daya. Persamaan 2.5 adalah persamaan aliran daya.

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.5)$$

$$S_i = V_i \sum_{j \in i}^n (V_j Y_{ij})^* \quad (2.6)$$

$$P_i + jQ_i = (e_i + jf_i) \sum_{j \in i} j e_j (G_{ij} - j B_{ij}) (e_i - jf_i) \quad (2.7)$$

Persamaan 2.6 dan 2.7 merupakan hasil substitusi persamaan 2.2 dan 2.4 ke persamaan 2.5 pada perhitungan daya.

Keterangan:

S_i : Kapasitas pada bus i

P_i : Daya aktif pada bus i

jQ_i : Daya reaktif pada bus i

$(G_{ij} - j B_{ij})$: Komponen *rectangular* pada admitansi saluran

Setelah menghitung persamaan aliran daya pada persamaan 2.7, dilakukan hasil pemecahan persamaan 2.7 ke dalam 2 persamaan yaitu persamaan daya aktif dan daya reaktif.

Daya aktif dan reaktif ditunjukkan pada persamaan 2.8 dan persamaan 2.9

$$P_i^{rect} = e_i \sum_{j \in i} (G_{ij} e_{ij} - B_{ij} f_j) + f_i \sum_{j \in i} (G_{ij} f_{ij} + B_{ij} e_j) \quad (2.8)$$

$$Q_i^{rect} = f_i \sum_{j \in i} (G_{ij} e_{ij} - B_{ij} f_j) - e_i \sum_{j \in i} (G_{ij} f_{ij} + B_{ij} e_j) \quad (2.9)$$

Keterangan:

P_i^{rect} : Daya aktif pada bus i dengan komponen rectangular

Q_i^{rect} : Daya reaktif pada bus I dengan komponen rectangular

2.6 Rugi pada Sistem Distribusi

Tujuan utama dari rekonfigurasi sistem jaringan distribusi adalah untuk menemukan struktur operasi yang meminimalisir kerugian daya dari sistem sampai memenuhi kendala operasi yang dikenakan. Kemudian masalah utama untuk meminimalisir kerugian daya nyata dari sistem distribusi P_{loss} dibawah gangguan operasi, yaitu profil tegangan sistem, kapasitas arus penyulang dan struktur radial dari jaringan distribusi. Untuk meminimalisir kerugian daya fungsi objektif dijelaskan sebagai berikut [13]:

$$\text{Minimise } F = \text{Minimal } (P_{loss}) \quad (2.10)$$

Dikenakan pada:

$$V_{min} < |V_p| \leq V_{max} \quad (2.11)$$

$$|I_p| \leq I_{p,max} \quad (2.12)$$

$$\text{Det}(A) = 1 \text{ or } -1 \text{ (sistem radial)} \quad (2.13)$$

$$\text{Det}(A) = 0 \text{ (sistem tidak radial)} \quad (2.14)$$

Dimana,

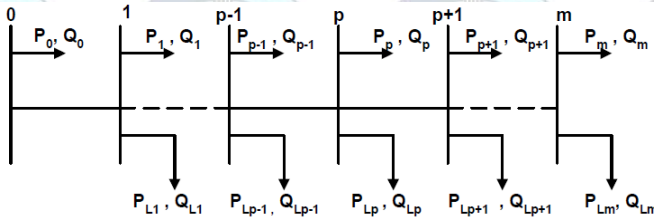
P_{loss} adalah total rugi daya dari sistem;

$|V_p|$ adalah besarnya tegangan dari bus p;

V_{min}, V_{max} adalah batas tegangan minimal dan maksimal, masing – masing ($V_{min} = 0,9 p.u$ $V_{max} = 1,0 p.u$);

$I_p, I_{p,max}$ adalah besarnya arus dan batas maksimal arus dari cabang p masing – masing;

A adalah luasnya kejadian matriks



Gambar 2.8 Single line diagram penyulang utama [14]

Persamaan aliran daya [14] untuk satu diagram garis yang ditunjukkan pada gambar 2.8 adalah:

$$P_{p+1} = P_p - P_{Lp+1} - R_{p,p+1} \frac{(P_p^2 + Q_p^2)}{|V_p|^2} \quad (2.15)$$

$$Q_{p+1} = Q_p - Q_{Lp+1} - X_{p,p+1} \frac{(P_p^2 + Q_p^2)}{|V_p|^2} \quad (2.16)$$

$$|V_{p+1}|^2 = |V_p|^2 - 2(R_{p,p+1}P_p + X_{p,p+1}Q_p) + (R_{p,p+1}^2 + X_{p,p+1}^2) \frac{(P_p^2 + Q_p^2)}{|V_p|^2} \quad (2.17)$$

Keterangan:

- P_p : daya nyata saluran keluar dari bus p
- Q_p : daya reaktif saluran keluar dari bus p
- P_{Lp} : daya nyata beban pada bus p
- Q_{Lp} : daya reaktif beban pada bus p
- $R_{p,p+1}$: Resistansi saluran antara bus p dan p+1
- $X_{p,p+1}$: Reaktansi saluran antara bus p dan p+1

Rugi daya antara bus p dan p+1 dihitung sebagai:

$$P_{L, Loss(p,p+1)} = R_{p,p+1} \frac{(P_p^2 + Q_p^2)}{|V_p|^2} \quad (2.18)$$

Total rugi daya nyata pada penyulang diberikan oleh:

$$P_{Loss} = \sum_{p=1}^m P_{L, Loss(p,p+1)} \quad (2.19)$$

Dimana, P_{Loss} adalah total rugi daya dari sistem didapatkan dengan menjumlah rugi daya pada semua bagian saluran pada penyulang.

2.7 Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO)

Metode *Particle Swarm Optimization* pertama kali diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995. Melalui penyederhanaan simulasi metode ini dikembangkan. PSO hanya menggunakan sedikit parameter dalam aplikasinya. Setiap anggota dalam algoritma PSO disebut “partikel” yang mewakili opsi solusi untuk masalah yang dihadapi, kemudian setiap partikel terbang secara multi dimensi mencari ruang dengan kecepatan yang terus diperbarui oleh partikel itu sendiri maupun partikel tetangga [15].

2.7.1 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 [14],

- Setiap anggota dasar disebut partikel, dan setiap partikel (partikel i -th) direpresentasikan oleh vektor dimensi – d dan digambarkan sebagai $X_1 = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id}]$.
- Kumpulan dari n partikel pada *swarm* disebut populasi dan dideskripsikan sebagai $pop = [X_1, X_2, X_3]$.
- Posisi terbaik sebelumnya untuk setiap partikel (posisi memberikan nilai *fitness* terbaik) disebut partikel (posisi memberikan nilai *fitness* terbaik) disebut partikel terbaik dan digambarkan sebagai $PB_1 = [pb_{11}, pb_{12}, \dots, pb_{1d}]$.

- Posisi terbaik diantara semua posisi terbaik yang dicapai sejauh ini disebut global terbaik dan digambarkan sebagai $GB = [gb_1, gb_2, \dots, gb_d]$.
 - Rata – rata dari perubahan posisi untuk setiap partikel disebut kecepatan partikel dan digambarkan sebagai $V_i = [v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id}]$.
- Pada iterasi k kecepatan untuk dimensi-d dari i-partikel diperbarui oleh:

$$v_{id}^{k+1} = wv_{id}^k + c_1r_1(pb_{id}^k - x_{id}^k) + c_2r_2(gb_{id}^k - x_{id}^k) \quad (2.20)$$

Dimana $I = 1, 2, \dots, n$ dan n adalah ukuran populasi, w berat inersia, c_1 dan c_2 merupakan percepatan konstan dan r_1 dan r_2 adalah dua nilai acak dalam rentang $[0,1]$.

Fungsi pembebanan (w) dihitung menggunakan persamaan 2.21:

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

Dimana, w_{max} merupakan berat awal dengan nilai awal 0,9 dan w_{min} merupakan berat akhir dengan nilai 0,4. $iter_{max}$ merupakan nilai maksimal iterasi. $Iter$ adalah nilai iterasi saat ini c_1 dan c_2 .

- Posisi i-partikel diperbarui:

$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + v_{id}^{k+1} \quad (2.22)$$

2.8 Selective Particle Swarm Optimization (SPSO)

Pada tahun 1997, Kennedy dan Eberhart telah mengadaptasi PSO untuk mencari pada ruang biner dengan mengaplikasikan transformasi *sigmoid* pada persamaan kecepatan 2.23 untuk menekan kecepatan menjadi $[0,1]$ dan memaksakan nilai komponen dari lokasi partikel menjadi 0 atau 1. Persamaan untuk posisi diperbarui pada persamaan 2.22 menjadi 2.24 [14].

$$sigmoid(v_{id}^{k+1}) = \frac{1}{1 + e^{-v_{id}^{k+1}}} \quad (2.23)$$

$$x_{id}^{k+1} = \begin{cases} 1, & \text{if } rand < sigmoid(v_{id}^{k+1}) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.24)$$

Pada *Selective Particle Swarm Optimization*, pencarian ruang pada setiap d-dimensi $S_d = [s_{d1}, s_{d2}, \dots, s_{dn}]$ merupakan kumpulan dari posisi d_n , dimana d_n merupakan angka dari posisi terpilih pada dimensi d.

seperti dalam PSO dasar, kesesuaian fungsi F harus ditentukan. Pada kasus ini map yang tersedia pada setiap d -dimensi dari posisi d_n dari ruang selektif S_d , dimana posisi dari setiap partikel telah berubah dari titik dalam ruang bernilai nyata menjadi titik di ruang selektif. Oleh karena itu, transformasi *sigmoid* akan berubah menjadi persamaan 2.25 dan koordinat i -th pada setiap posisi partikel pada d dimensi merupakan nilai selektif, yang diperbarui oleh persamaan 2.26

$$\text{sigmoid}(v_{id}^{k+1}) = dn \frac{1}{1 + e^{-v_{id}^{k+1}}} \quad (2.25)$$

$$x_{id}^{k+1} = \begin{cases} S_{d1} \text{ jika } \text{sigmoid}(v_{id}^{k+1}) < 1 \\ S_{d2} \text{ jika } \text{sigmoid}(v_{id}^{k+1}) < 2 \\ S_{d3} \text{ jika } \text{sigmoid}(v_{id}^{k+1}) < 3 \\ \dots \dots \dots \\ \dots \dots \dots \\ S_{dn} \text{ jika } \text{sigmoid}(v_{id}^{k+1}) \leq dn \end{cases} \quad (2.26)$$

Dimana, $S_{d1}, S_{d2}, \dots, S_{dn}$ merupakan nilai terpilih dalam d dimensi.

Nilai kecepatan dibatasi pada beberapa nilai minimal dan maksimal $[V_{\min}, V_{\max}]$ menggunakan persamaan 2.27

$$v_{id}^{k+1} = \begin{cases} V_{\max} \text{ jika } v_{id}^{k+1} > V_{\max} \\ v_{id}^{k+1} \text{ jika } |v_{id}^{k+1}| \leq V_{\max} \\ V_{\min} \text{ jika } v_{id}^{k+1} < V_{\min} \end{cases} \quad (2.27)$$

Untuk menghindari ketidakstabilan nilai kecepatan i partikel pada d dimensi pada nilai minimal atau maksimal dan untuk menghindari osilasi dari nilai kecepatan dari I partikel pada dimensi d antara nilai maksimal dan minimal kita menggunakan persamaan 2.28 untuk memaksa setiap partikel untuk melewati ruang pencarian.

$$v_{id}^{k+1} = \begin{cases} \text{rand} * v_{id}^{k+1} \text{ jika } |v_{id}^{k+1}| = |v_{id}^{k+1}| \\ v_{id}^{k+1}, \text{ lainnya} \end{cases} \quad (2.28)$$

Metode SPSO dapat diekspresikan sebagai berikut:

Langkah 1 : (Inisialisasi): Atur nomor iterasi $k = 0$. Letakkan nilai inisial pada setiap dimensi pada tiap partikel untuk nilai acak dari ruang selektif (*selective space*), $\{X^0, i = 1, 2, \dots,$

n], dimana $X_i^0 = [x_{i1}^0, x_{i2}^0, \dots, x_{id}^0]$, dan menghasilkan nilai kecepatan secara acak $V_i^0 = [v_{i1}^0, v_{i2}^0, \dots, v_{id}^0]$. Mengevaluasi fungsi objektif untuk setiap partikel $f(X_i^0)$. Jika Batasan terpenuhi, kemudian atur partikel terbaik (pbest) $PB_i^0 = X_i^0$, dan atur partikel terbaik yang diberikan fungsi objektif terbaik diantara semua partikel terbaik menjadi global terbaik GB^0 . Kemudian, ulangi inisialisasi.

Langkah 2 : Perbarui penghitung iterasi (*iteration counter*) $k=k+1$

Langkah 3 : Perbarui kecepatan menggunakan persamaan 2.20, 2.27 dan 2.28

Langkah 4 : Perbarui fungsi *sigmoid* menggunakan persamaan 2.25

Langkah 5 : Perbarui posisi menggunakan persamaan 2.26

Langkah 6 : Perbarui partikel terbaik:

Jika $f_i(X_i^k) < f_i(PB_i^{k-1})$ maka $PB_i^k = X_i^k$
lainnya $PB_i^k = PB_i^{k-1}$

langkah 7 : Perbarui global terbaik $f(GB^k) = \min\{f_i(PB_i^k)\}$

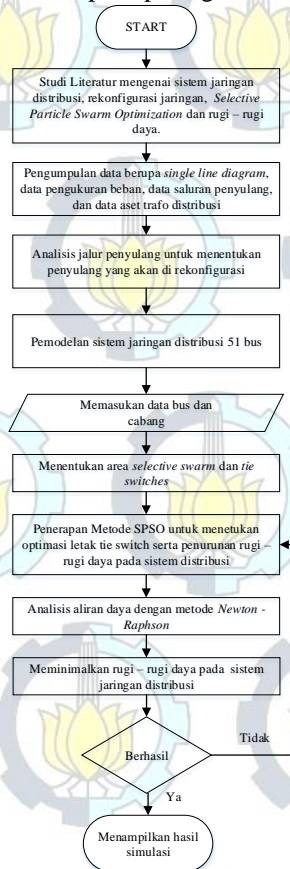
jika $f(GB^k) < f(GB^{k-1})$ maka $GB^k = GB^k$
lainnya $GB^k = GB^{k-1}$

Langkah 8 : Menghentikan kriteria: jika jumlah iterasi melebihi jumlah iterasi maksimal, lalu hentikan dan lakukan langkah kedua.

BAB 3

REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI MENGUNAKAN *SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (SPSO)

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



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.1 Single Line Diagram ULP Ploso Surabaya

Berdasarkan gambar lampiran 1 *single line digram* ULP Ploso, ULP Ploso Surabaya disuplai dari 4 Gardu Induk yaitu:

1. Gardu Induk Kenjeran
2. Gardu Induk Kalisari
3. Gardu Induk Simpang
4. Gardu Induk Undaan

Terdapat 19 penyulang pada ULP Ploso Surabaya yaitu:

1. Penyulang Rangkah
2. Penyulang Karang Asem
3. Penyulang Residen Sudirman
4. Penyulang Gersikan
5. Penyulang Wisma Permai
6. Penyulang Dharmahusada
7. Penyulang Babatan
8. Penyulang Mojo Arum
9. Penyulang Bogen
10. Penyulang Tambak Sari
11. Penyulang Mulyosari
12. Penyulang Tambak Deres
13. Penyulang Tempurejo
14. Penyulang Kalijudan
15. Penyulang Soka
16. Penyulang Tapaksiring
17. Penyulang Galaxy
18. Penyulang Soekarno
19. Penyulang Arkadia

3.2 Sistem Distribusi 20 kV ULP Ploso Surabaya

Pada penelitian Tugas Akhir ini menggunakan tiga penyulang (*feeder*) sistem distribusi 20 kV ULP Ploso Surabaya yaitu:

1. Gardu Induk Simpang
 - Penyulang Tapaksiring
2. Gardu Induk Kenjeran
 - Penyulang Kalijudan
 - Penyulang Babatan

Tabel 3.1 Data bus generator

Gardu Induk	No. Bus	Tegangan (p.u)	MVA Base
Simpang	1	1,000	100
Kenjeran	2	1,000	100

Pada penelitian tugas akhir ini dibutuhkan data – data penunjang berupa data bus dan saluran pada tiap penyulang (*feeder*):

a. Data bus beban

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan penelitian pencarian optimasi pada sistem jaringan distribusi menggunakan dua keadaan yaitu saat nilai beban WBP tertinggi dan WBP rata – rata agar dapat diketahui peletakan *tie switches* paling optimal pada dua keadaan tersebut.

b. Data cabang

Pada penelitian ini dalam sistem distribusi jaringan ULP Ploso jenis kabel saluran yang digunakan adalah kabel *All Alloy Aluminium Conductor* (AAAC) 150 mm² dengan nilai impedansi kabel berdasarkan SPLN 64: 1985 adalah 0,2162 + j0,3305 Ω/kms . Data cabang yang dimasukkan dalam simulasi menggunakan satuan p.u sehingga diperlukan konversi satuan dari Ω (ohm) ke p.u. berikut cara dalam menentukan nilai R

$$Z_{saluran} (\Omega) = Z_{kabel} (\Omega) \times l_{cabang} (kms) \quad (3.1)$$

$$Z_{base} = \frac{(kV_{base})^2}{MVA_{base}} = \frac{(20 kV)^2}{100 MVA} = 4 \Omega \quad (3.2)$$

$$Z_{saluran} (p.u) = \frac{Z_{saluran} (\Omega)}{Z_{base} (\Omega)} \quad (3.3)$$

Dengan memperoleh nilai Z dapat diuraikan nilai resistansi dan reaktansi pada tiap cabang saluran distribusi. Tiap cabang yang menghubungkan antar bus akan menjadi area pencarian SPSO dimana dalam metode SPSO cabang – cabang ini akan menjadi *tie switches*. Dalam pencarian metode SPSO dicari letak *tie switches* paling optimal dengan membuka dan menutup *switch – switch* yang ada.

3.2.1 Data Pengukuran Beban Penyulang ULP Ploso Surabaya

Pada penyulang yang akan dilakukan rekonfigurasi perlu diketahui nilai beban Waktu Beban Puncak (WBP) tertinggi maupun rata – rata penyulang untuk mengetahui besar nilai beban pada setiap penyulang serta untuk mengetahui karakteristik beban penyulang. Tabel 3.2 menunjukkan nilai beban WBP baik siang maupun malam hari pada penyulang Tapaksiring, Kalijudan dan Babatan.

Tabel 3.2 Data pengukuran beban bulan Maret 2019

Hari	Penyulang Tapaksiring		Penyulang Kalijudan		Penyulang Babatan	
	Siang (A)	Malam (A)	Siang (A)	Malam (A)	Siang (A)	Malam (A)
1	209	185	178	153	142	140
2	190	200	133	138	126	137
3	191	210	107	119	118	133
4	0	0	186	132	128	143
5	0	0	195	192	129	155
6	0	210	183	182	125	136
7	180	200	156	139	118	128
8	209	185	155	164	126	137
9	190	190	159	150	125	134
10	191	210	121	121	118	135
11	195	200	161	160	126	143
12	155	185	164	161	127	141
13	195	200	128	140	131	138
14	145	190	170	156	125	138
15	145	185	157	151	126	137
16	195	190	144	150	122	134
17	191	210	124	117	118	129
18	195	200	153	146	122	132
19	195	200	155	155	120	140
20	153	200	158	166	126	140
21	157	190	172	157	130	137
22	153	200	155	155	126	138
23	195	190	143	162	124	137
24	190	195	121	121	117	129
25	154	200	158	161	125	142

Tabel 3.3 Data pengukuran beban bulan Maret 2019 (lanjutan)

Hari	Penyulang Tapaksiring		Penyulang Kalijudan		Penyulang Babatan	
	Siang (A)	Malam (A)	Siang (A)	Malam (A)	Siang (A)	Malam (A)
26	155	200	169	155	126	140
27	154	200	169	164	125	143
28	154	200	162	156	132	142
29	154	210	160	153	126	81
30	200	200	141	153	125	136
31	200	205	114	133	119	135

Dari data tabel dapat dilihat nilai beban waktu beban puncak penyulang pada siang maupun malam hari pada masing – masing penyulang.

1. Penyulang Tapaksiring

Nilai beban saat waktu beban puncak siang: 209 A

Nilai beban saat waktu beban puncak malam: 210 A

Nilai beban rata – rata saat waktu beban puncak siang dan malam: 173,06 A

2. Penyulang Kalijudan

Nilai beban saat waktu beban puncak siang: 195 A

Nilai beban saat waktu beban puncak malam: 192 A

Nilai beban rata – rata saat waktu beban puncak siang dan malam: 151,82 A

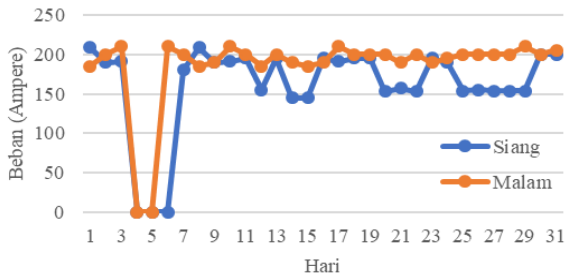
3. Penyulang Babatan

Nilai beban saat waktu beban puncak siang: 142 A

Nilai beban saat waktu beban puncak malam: 155 A

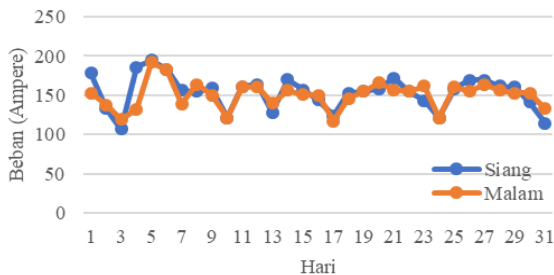
Nilai beban rata – rata saat waktu beban puncak siang dan malam: 173,06 A

Dari data tabel digunakan untuk menentukan nilai pembebanan pada tiap – tiap bus. Data tabel dapat pula dibuat grafik yang menggambarkan karakteristik beban pada tiap penyulang. Grafik dapat dilihat pada gambar 3.2, gambar 3.3, dan gambar 3.4.



Gambar 3.2 Grafik beban penyulang Tapaksiring

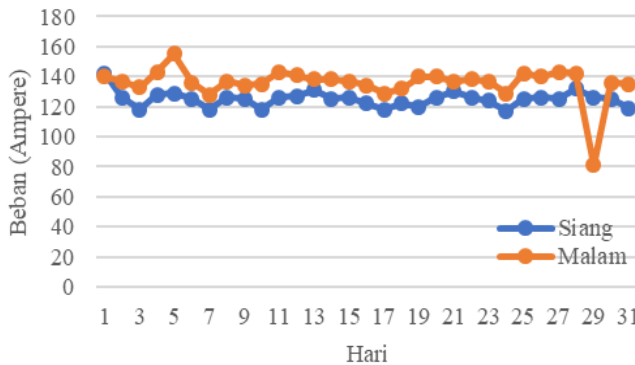
Berdasarkan gambar 3.2 dapat dilihat dari grafik bahwa nilai beban saat waktu beban puncak siang dan malam pada penyulang Tapaksiring memiliki nilai beban tertinggi saat waktu beban puncak malam sebesar 210 A pada tanggal 3, 6, 10, 17, 29. Dari pola grafik dapat diketahui karakteristik beban pada penyulang Tapaksiring merupakan beban perumahan dimana nilai beban saat waktu beban puncak malam hari memiliki nilai yang lebih besar daripada saat siang hari.



Gambar 3.3 Grafik beban penyulang Kalijudan

Berdasarkan gambar 3.3 dapat dilihat dari grafik bahwa nilai beban saat waktu beban puncak siang dan malam pada penyulang Kalijudan memiliki nilai beban tertinggi saat waktu beban puncak siang sebesar 195 A pada tanggal 5. Dari pola grafik dapat diketahui karakteristik beban pada penyulang Kalijudan merupakan beban komersial (bisnis) dimana nilai beban saat waktu beban puncak siang

hari maupun malam hari memiliki nilai yang tidak jauh berbeda serta nilai beban tertinggi terjadi saat waktu beban puncak siang.



Gambar 3. 4 Grafik beban penyulang Babatan

Berdasarkan gambar 3.4 dapat dilihat dari grafik bahwa nilai beban saat waktu beban puncak siang dan malam pada penyulang Babatan memiliki nilai beban tertinggi saat waktu beban puncak malam sebesar 155 A pada tanggal 5. Dari pola grafik dapat diketahui karakteristik beban pada penyulang Babatan merupakan beban perumahan dimana nilai beban saat waktu beban puncak malam hari memiliki nilai yang lebih besar daripada saat siang hari.

3.2.2 Penyulang Tapaksiring

Pada penyulang Tapaksiring terdiri dari data gambar konfigurasi jaringan, kapasitas bus, impedansi saluran dan data beban pada penyulang Tapaksiring dapat dilihat pada tabel 3.4, 3.5, 3.6 dan 3.7.

Tabel 3.3 Data impedansi saluran penyulang Tapaksiring

Cabang	Cabang		Impedansi	
	Dari	Ke	R (p.u)	X (p.u)
1	1	3	0,0486	0,0744
2	3	4	0,0365	0,0558
3	4	5	0,0681	0,1041

Tabel 3.4 Data impedansi saluran penyulang Tapaksiring (lanjutan)

Cabang	Cabang		Impedansi	
	Dari	Ke	R (p.u)	X (p.u)
4	5	6	0,2530	0,3867
5	6	7	0,0535	0,3867
6	7	8	0,0341	0,0818
7	8	9	0,0196	0,0521
8	9	10	0,0266	0,0297
9	10	11	0,0243	0,0409
10	11	12	0,0170	0,0372
11	12	14	0,0535	0,0260
12	14	16	0,0511	0,0818
13	16	17	0,0316	0,0781
14	17	20	0,0243	0,0483
15	20	22	0,0170	0,0372
16	22	23	0,0487	0,0260
17	12	13	0,0389	0,0744
18	14	15	0,0584	0,0595
19	17	18	0,0122	0,0892
20	18	19	0,0122	0,0186
21	20	21	0,0268	0,0186
<i>Tie Switches</i>				
54	13	15	0,0122	0,0186

Tabel 3.5 Data beban bus penyulang Tapaksiring

Bus	WBP rata – rata		WBP tertinggi	
	P (MW)	Q (MVAr)	P (MW)	Q (MVAr)
3	0,122	0,076	0,155	0,096
4	0,145	0,090	0,184	0,115
5	0,271	0,169	0,345	0,215
6	0,218	0,137	0,280	0,174
7	0,224	0,140	0,286	0,178
8	0,327	0,204	0,417	0,260
9	0,140	0,087	0,179	0,111
10	0,168	0,105	0,214	0,134

Tabel 3.6 Data beban bus penyulang Tapaksiring (lanjutan)

Bus	WBP rata – rata		WBP tertinggi	
	P (MW)	Q (MVA _r)	P (MW)	Q (MVA _r)
11	0,313	0,195	0,399	0,249
12	0,140	0,087	0,179	0,111
13	0,150	0,093	0,190	0,119
14	0,411	0,257	0,524	0,326
15	0,327	0,204	0,417	0,260
16	0,227	0,141	0,289	0,180
17	0,187	0,117	0,239	0,148
18	0,164	0,102	0,208	0,130
19	0,264	0,165	0,336	0,210
20	0,238	0,149	0,303	0,189
21	0,332	0,207	0,422	0,263
22	0,285	0,178	0,363	0,226
23	0,122	0,076	0,155	0,096
Total	4,775	2,979	6,084	3,79

Berikut ini adalah *single line diagram* pada penyulang Tapaksiring:



Gambar 3.5 *Single line diagram* penyulang Tapaksiring

3.2.3 Penyulang Kalijudan

Pada penyulang Kalijudan terdiri dari data gambar konfigurasi jaringan, impedansi saluran dan data beban pada penyulang Kalijudan dapat dilihat pada tabel 3.8, 3.9 dan 3.10

Tabel 3.7 Data impedansi saluran penyulang Kalijudan

Cabang	Cabang		Impedansi	
	Dari	Ke	R (p.u)	X (p.u)
22	2	24	0,0632	0,0967
23	24	25	0,0365	0,0558
24	25	26	0,0390	0,0595
25	26	27	0,0268	0,0409
26	27	29	0,0324	0,0496
27	29	30	0,0097	0,0149
28	30	31	0,0438	0,0669
29	31	32	0,0608	0,0930
30	32	33	0,0146	0,0223
31	33	34	0,0122	0,0186
32	34	35	0,0243	0,0372
33	27	28	0,0438	0,0669
<i>Tie Switches</i>				
50	16	35	0,0486	0,0744

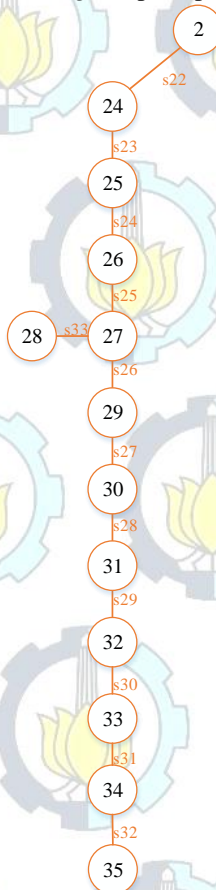
Tabel 3.8 Data beban bus penyulang Kalijudan

Bus	WBP rata – rata		WBP tertinggi	
	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
24	0,388	0,242	0,517	0,322
25	0,326	0,204	0,435	0,271
26	0,214	0,134	0,286	0,178
27	0,235	0,146	0,313	0,195
28	0,260	0,162	0,347	0,216
29	0,821	0,512	1,095	0,683
30	0,337	0,210	0,449	0,280
31	0,102	0,064	0,136	0,085
32	0,245	0,153	0,326	0,204
33	0,495	0,309	0,660	0,412

Tabel 3.9 Data beban bus penyulang Kalijudan (lanjutan)

Bus	WBP rata – rata		WBP tertinggi	
	P (MW)	Q (MVA _r)	P (MW)	Q (MVA _r)
34	0,235	0,146	0,313	0,195
35	0,620	0,386	0,826	0,515
Total	4,278	2,668	5,703	3,556

Berikut ini adalah *single line diagram* pada penyulang Kalijudan:



Gambar 3.6 *Single line diagram* penyulang Kalijudan

3.2.4 Penyulang Babatan

Pada penyulang Babatan terdiri dari data gambar konfigurasi jaringan, impedansi saluran dan data beban pada penyulang Babatan dapat dilihat pada tabel 3.11 dan tabel 3.12

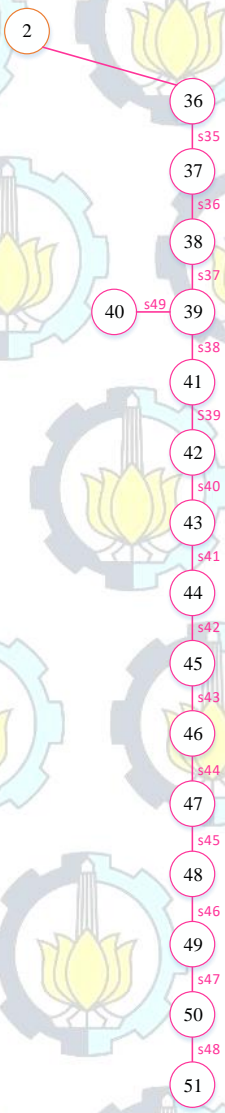
Tabel 3.10 Data impedansi saluran penyulang Babatan

Cabang	Cabang		Impedansi	
	Dari	Ke	R (p.u)	X (p.u)
34	2	36	0,0195	0,0297
35	36	37	0,0681	0,1041
36	37	38	0,0462	0,0706
37	38	39	0,0292	0,0446
38	39	41	0,0413	0,0632
39	41	42	0,0486	0,0743
40	42	43	0,0632	0,0967
41	43	44	0,0413	0,0632
42	44	45	0,0413	0,0632
43	45	46	0,0340	0,0520
44	46	47	0,0194	0,0297
45	47	48	0,0195	0,0297
46	48	49	0,0243	0,0372
47	49	50	0,0243	0,0372
48	50	51	0,0292	0,0446
49	39	40	0,0267	0,0409
<i>Tie Switches</i>				
51	29	42	0,6811	0,1041
52	32	44	0,0511	0,7808
53	22	51	0,0243	0,0371

Tabel 3.11 Data beban bus penyulang Babatan

Bus	WBP rata – rata		WBP tertinggi	
	P (MW)	Q (MVA _r)	P (MW)	Q (MVA _r)
36	0,115	0,087	0,140	0,072
37	0,287	0,219	0,351	0,179
38	0,233	0,178	0,285	0,145
39	0,230	0,175	0,281	0,143
40	0,467	0,356	0,570	0,291
41	0,115	0,087	0,140	0,076
42	0,199	0,151	0,243	0,124
43	0,214	0,163	0,262	0,134
44	0,191	0,146	0,234	0,119
45	0,239	0,182	0,292	0,149
46	0,258	0,197	0,316	0,161
47	0,252	0,192	0,309	0,157
48	0,183	0,140	0,224	0,114
49	0,176	0,134	0,215	0,110
50	0,256	0,195	0,313	0,160
51	0,275	0,210	0,337	0,171
Total	3,69	2,812	4,512	2,305

Berikut ini adalah *single line diagram* pada penyulang Babatan:



Gambar 3.7 *Single line diagram* penyulang Babatan

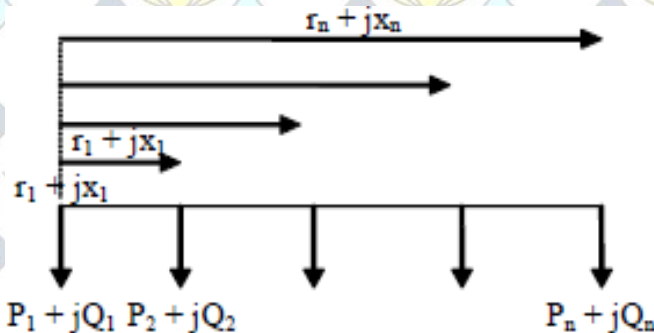
3.3 Pemodelan Simulasi Sistem

Simulasi sistem jaringan distribusi menggunakan metode *Selective Particle Swarm Optimization* (SPSO) diaplikasikan pada sistem distribusi 20 kV ULP Ploso Surabaya, penyulang Tapaksiring, Kalijudan dan Babatan. Ketiga penyulang ini memiliki beban tersebar dan kompleks. Sehingga untuk disimulasikan dengan metode SPSO 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 51 bus dengan 54 cabang (*branch*).

3.3.1 Pemodelan Matematis Beban Terpusat dari Beban Tersebar

Sistem distribusi 20 kV, setiap penyulang menyuplai beban melalui gardu distribusi pada sejumlah lokasi sepanjang jaringan. Jika setiap titik dari beban dimodelkan sebagai *node*, jumlah *node* dalam sistem akan menjadi sangat banyak. Untuk mengeliminasi permasalahan ini diperlukan pemodelan matematis beban terdistribusi dengan pendekatan efek beban terdistribusi pada *node magnitude* tegangan melalui beban terpusat. Misalnya beban – beban, $P_1 + jQ_1$, $P_2 + jQ_2$, ..., $P_n + jQ_n$ mempunyai panjang saluran untuk setiap beban adalah $r_1 + jx_1$, $r_2 + jx_2$, ..., $r_n + jx_n$ maka asumsi yang perlu diambil didefinisikan sebagai berikut [16]:

$$(P_1 + jQ_1) + (P_2 + jQ_2) + \dots + (P_n + jQ_n) = \sum_{k=1}^n (P_k + jQ_k) = P_T + jQ_T \quad (3.4)$$



Gambar 3.8 Implementasi titik pusat beban pada pemodelan [16]

Sehingga dipusatkan di satu titik \rightarrow_{r+jx} , maka:

$$(P_1 + jQ_1)(r_1 + jx_1) + (P_2 + jQ_2)(r_2 + jx_2) + \dots + (P_n + jQ_n)(r_n + jx_n) = \sum_{k=1}^n (P_k + jQ_k)(r_k + jx_k) \quad (3.5)$$

Dengan demikian didapatkan titik pusat beban \rightarrow_{r+jx} sebagai

berikut:

$$\rightarrow_{r+jx} = \frac{\sum_{k=1}^n (P_k + jQ_k)(r_k + jx_k)}{(P_k + jQ_k)} \quad (3.6)$$

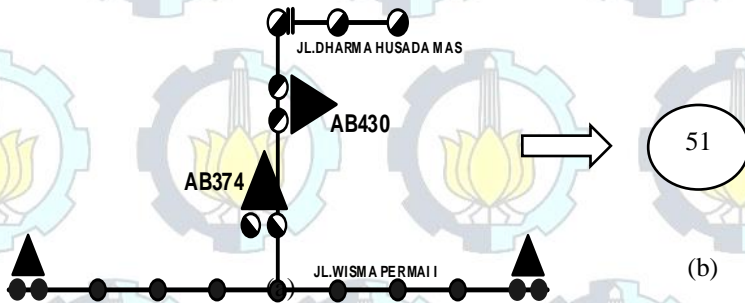
Dengan:

$(P_k + jQ_k)$: beban tiap bus

$(r_k + jx_k)$: panjang saluran antar beban

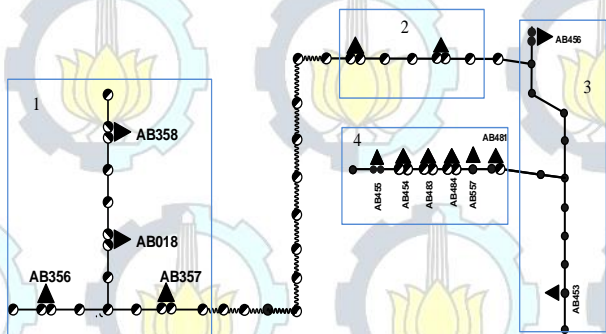
3.3.2 Pemodelan sistem bus pada simulasi

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

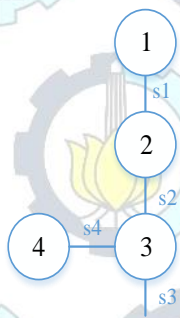


Gambar 3.9 Pemodelan terpusat dari beban terpusat (a) beban tersebar (b) beban terpusat

Dari gambar 3.9 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 1 km.



(a)

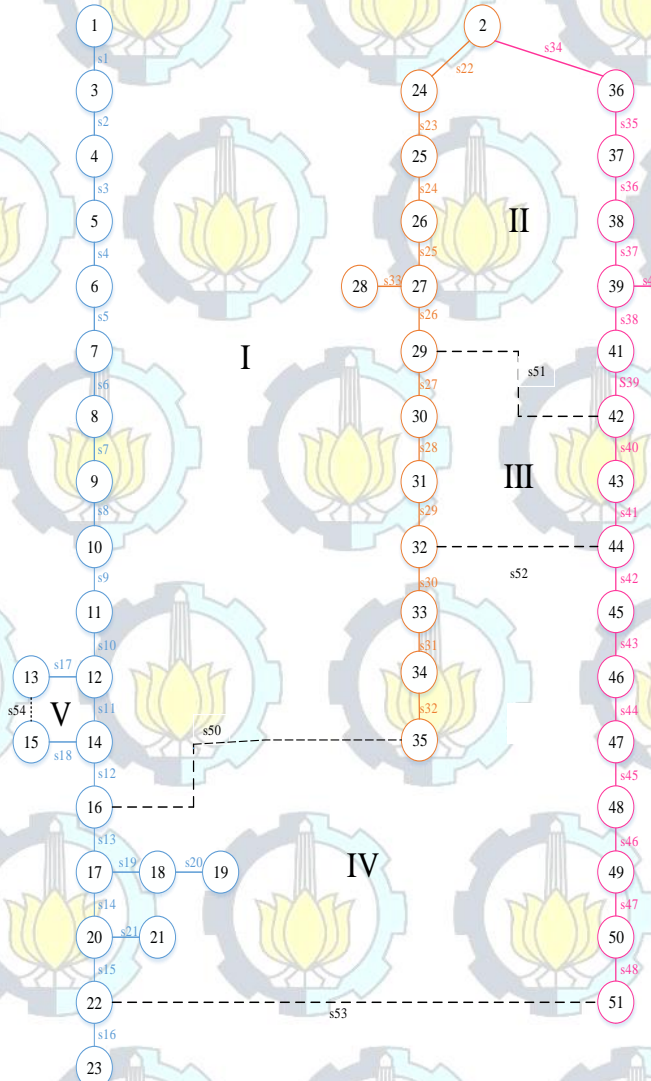


(b)

Gambar 3.10 Pemodelan sistem jaringan distribusi menjadi sistem bus
 (a) Sistem jaringan distribusi kondisi nyata (b) Sistem distribusi bus

Pada gambar 3.10 (a) jaringan distribusi pada kondisi nyata akan disederhanakan menjadi 3.10 (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.

3.4 Penggunaan SPSO Pada Rekonfigurasi Jaringan Distribusi



Gambar 3.11 Sistem distribusi 51 bus

Terdapat 3 tahapan dalam penyelesaian rekonfigurasi sistem jaringan distribusi menggunakan metode SPSO.

1. Menentukan jumlah dimensi

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

Pada sistem jaringan distribusi terdapat 5 dimensi pencarian. Perlu dipahami bahwa setiap cabang (*switch*) hanya termasuk dalam 1 dimensi pencarian saja, tidak dapat menjadi bagian dari dimensi lainnya. Dari *loop* yang di tampilkan pada gambar 3.12 dapat di identifikasikan dimensi dari area pencarian

Tabel 3.12 *Loops* dari sistem 51 bus

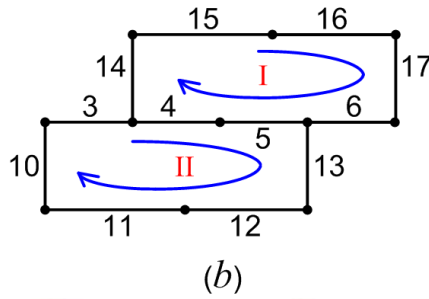
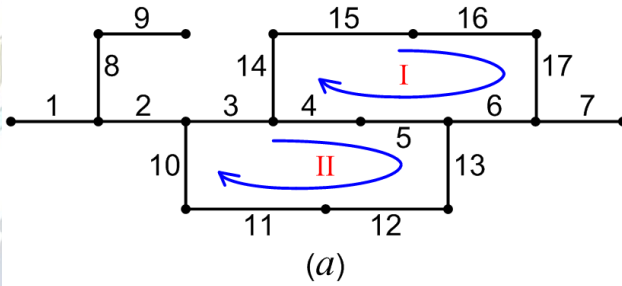
<i>Loops</i>	Dimensi	Cabang
I	SD ₁	S ₁ , S ₂ , S ₃ , S ₄ , S ₅ , S ₆ , S ₇ , S ₈ , S ₉ , S ₁₀ , S ₁₁ , S ₁₂ , S ₂₆ , S ₂₇ , S ₂₈ , S ₂₉ , S ₃₀ , S ₃₁ , S ₃₂ , S ₅₀
II	SD ₂	S ₂₂ , S ₂₃ , S ₂₄ , S ₂₅ , S ₃₄ , S ₃₅ , S ₃₆ , S ₃₇ , S ₃₈ , S ₃₉ , S ₅₁
III	SD ₃	S ₄₀ , S ₄₁ , S ₅₂
IV	SD ₄	S ₁₃ , S ₁₄ , S ₁₅ , S ₄₂ , S ₄₃ , S ₄₄ , S ₄₅ , S ₄₆ , S ₄₇ , S ₄₈ , S ₅₃ ,
V	SD ₅	S ₁₇ , S ₁₈ , S ₅₄

2. Mengidentifikasi ruang pencarian di setiap dimensi

Gambar 3.12 akan digunakan untuk menjelaskan menemukan area pencarian pada setiap dimensi sebagai berikut [15]:

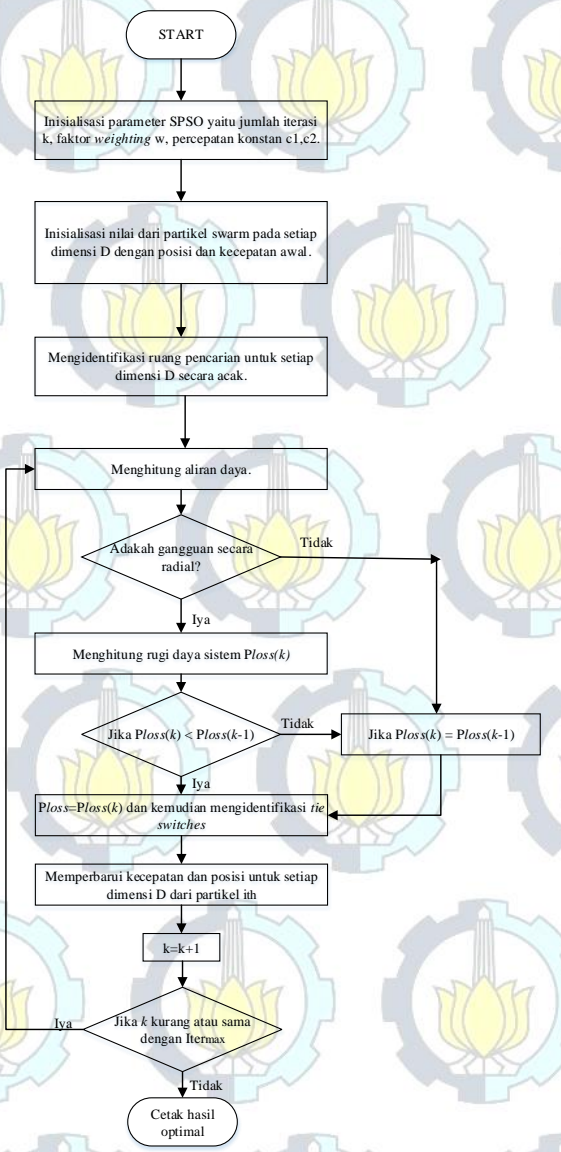
- a. Sistem yang ditunjukkan pada gambar 3.12 memiliki 17 cabang, 15 *section* dan 2 *tie switches*.
- b. Menutup *tie switches* akan terbentuk 2 *loops*.
- c. Oleh karena itu, saluran yang tidak termasuk dalam *loop* manapun tidak akan ditampilkan dalam ruang pencarian dan dalam sistem pengujian optimasi algoritma ditunjukkan pada gambar 3.12 (a) dapat disederhanakan menjadi gambar 3.12 (b).

- d. Jumlah dimensi sama dengan jumlah *loop* sehingga dalam kasus ini terdapat 2 dimensi.
- e. Ruang pencarian untuk setiap dimensi akan menjadi cabang yang termasuk dalam *loop* direpresentasikan dalam dimensi ini. dalam kasus ini $d1 = [14,15,16,17,6,5,4]$, $d2 = [3,4,5,6,13,12,11,10]$.
- f. Cabang no. 4 dan 5 termasuk dalam 2 *loop* dan 2 dimensi. Kedua cabang ini akan muncul hanya dalam satu dimensi, ini dilakukan secara acak.



Gambar 3.12 Penyederhanaan jaringan distribusi [15]

3. Menemukan solusi optimal dari ruang pencarian menggunakan SPSO
Setelah menentukan jumlah dimensi dan menemukan area pencarian untuk setiap dimensi, SPSO akan digunakan untuk memilih solusi optimal dari ruang pencarian untuk setiap dimensi.



Gambar 3.13 Diagram alir SPSO

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS DATA

Pada bab 4 ini akan dibahas mengenai hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan *software* Matlab R2018a. Simulasi dilakukan dengan nilai beban tertinggi dan rata – rata pada Waktu Beban Puncak (WBP) siang dan malam. Pada tugas akhir ini, hasil simulasi yang diperoleh dari sistem sebelum dan sesudah dilakukan rekonfigurasi jaringan adalah peletakan *tie switches* paling optimal pada penyulang, rugi – rugi daya saluran, presentase berkurangnya rugi daya pada saluran dan tegangan minimal pada penyulang.

Proses rekonfigurasi dilakukan dengan menggunakan metode algoritma *Selective Particle Swarm Optimization* (SPSO) yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Metode SPSO digunakan untuk proses optimasi yaitu menentukan kombinasi *tie switches* yang terpasang pada tiap – tiap penyulang yang menghasilkan rugi daya total paling minimal.

Pada penelitian tugas akhir ini, total pemodelan jumlah bus ketiga penyulang ini sebanyak 51 bus. Dengan rincian, penyulang Tapaksiring 23 bus, penyulang Kalijudan 10 bus dan penyulang Babatan 18 bus. Adapun data cabang berupa nilai resistansi dan reaktansi 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 *Newton – Raphson* 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 nilai rugi daya aktif total dan 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

Hasil simulasi yang diperoleh dari sistem dasar atau sebelum dilakukan rekonfigurasi adalah rugi – rugi daya saluran dan nilai tegangan dari masing – masing penyulang. Pada gambar 3.11 telah ditampilkan sistem distribusi 51 bus sebelum rekonfigurasi. Peletakan *tie switches* s50, s51, s52, s53, s54 pada proses rekonfigurasi jaringan mempertimbangkan jarak antar penyulang di kondisi nyata. Apabila jarak antar penyulang memungkinkan untuk dilakukan rekonfigurasi

maka diletakan *tie switches* dalam keadaan *normally open*. Penyulang Tapaksiring memiliki jaringan distribusi paling panjang yaitu 17,685 km, penyulang Kalijudan 7,53 km dan penyulang Babatan 10,665 km. Simulasi yang dilakukan yaitu dengan nilai rata – rata dan tertinggi pada waktu beban puncak (WBP).

Tabel 4.1 Data tegangan sebelum rekonfigurasi penyulang Tapaksiring

Bus	WBP rata – rata	WBP tertinggi
	Tegangan (p.u)	Tegangan (p.u)
1	1,000	1,000
3	0,995	0,994
4	0,992	0,989
5	0,985	0,981
6	0,963	0,952
7	0,959	0,946
8	0,956	0,943
9	0,955	0,941
10	0,953	0,939
11	0,951	0,937
12	0,950	0,935
13	0,950	0,935
14	0,947	0,932
15	0,947	0,931
16	0,945	0,929
17	0,944	0,928
18	0,944	0,928
19	0,944	0,927
20	0,944	0,927
21	0,944	0,927
22	0,944	0,927
23	0,944	0,927

Berdasarkan tabel 4.1 tegangan minimal saat nilai rata -rata WBP berada pada bus 17 – 23 yaitu sebesar 0,944 p.u. atau 18,8 kV dimana bus – bus ini terletak pada ujung penyulang Tapaksiring. Tidak jauh berbeda ketika nilai WBP tertinggi tegangan pada bus 19 – 23 memiliki nilai tegangan sangat minimal yaitu 0,927 p.u. atau 18,54 kV.

Tabel 4.2 Data rugi daya sebelum rekonfigurasi penyulang Tapaksiring.

Cabang	Dari bus	Ke bus	WBP rata – rata		WBP tertinggi	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
1	1	3	17	26	28	43
2	3	4	12	19	20	31
3	4	5	21	33	36	54
4	5	6	70	107	117	179
5	6	7	13	20	22	34
6	7	8	8	12	13	19
7	8	9	4	6	6	9
8	9	10	5	7	8	12
9	10	11	4	6	6	10
10	11	12	2	3	4	6
11	12	13	5	8	9	14
12	14	14	3	4	4	7
13	16	15	1	2	2	3
14	17	16	0,4	0,6	0,6	0,9
15	20	22	0,04	0,07	0,07	0,1
16	22	23	0,01	0,02	0,02	0,03
17	12	13	0,01	0,02	0,02	0,03
18	14	15	0,1	0,15	0,16	0,3
19	17	18	0,03	0,05	0,06	0,09
20	18	19	0,01	0,02	0,02	0,03
21	20	21	0,05	0,07	0,08	0,2
54	13	15	0	0	0	0
Total Rugi Daya			165,65	254	276,03	422,68

Berdasarkan tabel 4.2 rugi daya aktif paling besar saat nilai WBP rata – rata maupun tertinggi terjadi pada cabang 4 yang menghubungkan bus 4 dan bus 5 yaitu sebesar 70 kW saat nilai rata – rata WBP dan 117 kW saat nilai WBP tertinggi.

Tabel 4.3 Data tegangan sebelum rekonfigurasi penyulang Kalijudan

Bus	WBP rata – rata	WBP tertinggi
	Tegangan (p.u)	Tegangan (p.u)
2	1,000	1,000
24	0,995	0,993
25	0,992	0,989
26	0,989	0,985
27	0,987	0,983
28	0,987	0,983
29	0,985	0,980
30	0,985	0,980
31	0,984	0,978
32	0,982	0,975
33	0,981	0,975
34	0,981	0,975
35	0,981	0,974

Berdasarkan tabel 4.3 nilai tegangan minimal saat nilai rata – rata WBP terdapat pada bus 33 – 35 yaitu sebesar 19,6 kV. Saat WBP tertinggi nilai tegangan minimal terdapat pada bus 35 yaitu sebesar 19,48 kV. Nilai tegangan bus – bus ini nilai tegangan masih dalam standar PLN yaitu 19 kV.

Tabel 4.4 Data rugi daya sebelum rekonfigurasi penyulang Kalijudan

Cabang	Dari bus	Ke bus	WBP rata – rata		WBP tertinggi	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
22	2	24	17	25	30	45
23	24	25	8	12	14	22
24	25	26	7	11	13	20
25	26	29	4	6,6	8	12
26	27	29	4	5,8	7	10
27	29	30	0,6	0,9	1	1,6
28	30	32	1,8	2,8	3	5
29	31	32	2	3,4	4	6
30	32	33	0,4	0,6	0,7	1
31	33	34	0,13	0,2	0,23	0,35
32	34	35	0,13	0,2	0,25	0,37

Tabel 4.5 Data rugi daya sebelum rekonfigurasi penyulang Kalijudan (lanjutan)

Cabang	Dari bus	Ke bus	WBP rata – rata		WBP tertinggi	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
33	27	28	0,04	0,06	0,08	0,12
50	16	35	0	0	0	0
Total rugi daya			45,3	68,56	81,26	123,44

Berdasarkan tabel 4.4 dan 4.5 rugi daya aktif tertinggi penyulang Kalijudan terdapat pada cabang 22 sebesar 17 kW saat WBP rata – rata dan 30 kW saat WBP tertinggi.

Tabel 4.6 Data tegangan hasil simulasi sebelum rekonfigurasi penyulang Babatan

Bus	WBP rata – rata	WBP tertinggi
	Tegangan (p.u)	Tegangan (p.u)
2	1,000	1,000
36	0,995	0,990
37	0,992	0,985
38	0,989	0,980
39	0,987	0,977
40	0,987	0,976
41	0,985	0,973
42	0,985	0,972
43	0,984	0,968
44	0,982	0,964
45	0,981	0,962
46	0,981	0,962
47	0,981	0,960
48	0,995	0,990
49	0,992	0,985
50	0,989	0,980
51	0,987	0,977

Berdasarkan tabel 4.6 tegangan minimal saat nilai WBP rata – rata terdapat pada bus 49 – 51 yaitu sebesar 19,6 kV. Saat nilai WBP tertinggi terdapat pada bus 48 – 51 yaitu sebesar 19,48 kV.

Tabel 4.7 Data rugi daya hasil simulasi rekonfigurasi penyulang Babatan

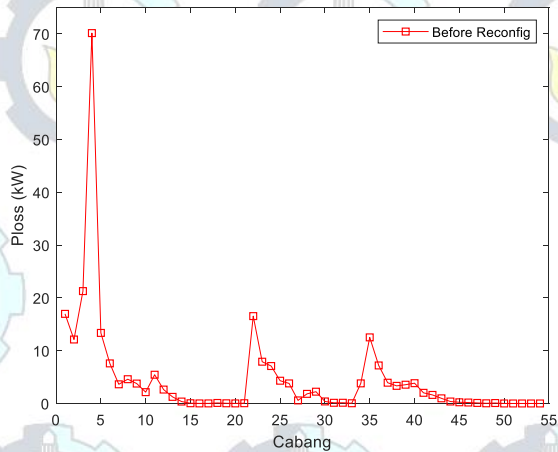
Cabang	Dari bus	Ke bus	WBP rata – rata		WBP tertinggi	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
34	2	36	3,8	5,8	6	9
35	36	37	12,5	19	19	29
36	37	38	7	11	11	17
37	38	39	4	6	6	9
38	39	41	3	5	5	8
39	41	42	3,5	5	5	8
40	42	43	3,8	6	6	9
41	43	44	2	3	3	5
42	44	45	1,6	2,5	2	4
43	45	46	1	1,5	1,5	2
44	46	47	0,4	0,6	0,6	0,85
45	47	48	0,2	0,34	0,34	0,5
46	48	49	0,2	0,3	0,3	0,4
47	49	50	0,1	0,2	0,15	0,2
48	50	51	0,03	0,05	0,05	0,07
49	39	52	0,08	0,13	0,12	0,2
51	29	42	0	0	0	0
52	32	44	0	0	0	0
53	22	51	0	0	0	0
Total Rugi Daya			43,31	66,42	66,06	102,22

Berdasarkan tabel 4.7 rugi daya aktif tertinggi penyulang Kalijudan terdapat pada cabang 35 sebesar 12,5 kW saat WBP rata – rata dan 19 kW saat WBP tertinggi.

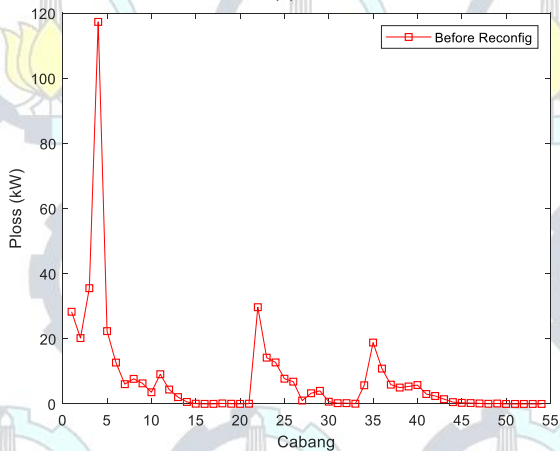
Tabel 4.8 Total rugi daya sebelum rekonfigurasi

No.	Penyulang	WBP rata – rata		WBP tertinggi	
		P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAR)
1.	Tapaksiring	165,65	254	276,03	422,68
2.	Kalijudan	45,3	68,56	81,26	123,44
3.	Babatan	43,31	66,42	66,06	102,22
Total Rugi Daya		254,26	388,98	423,35	648,34

Hasil simulasi di atas merupakan hasil simulasi sistem yang diperoleh dari perhitungan analisis aliran daya pada ketiga penyulang sebelum dilakukan rekonfigurasi. Total rugi daya pada sistem diperoleh dari penjumlahan rugi daya total ketiga penyulang. Dari hasil simulasi pada tabel 4.8 di atas, dapat diketahui total nilai rugi daya aktif sebelum dilakukan rekonfigurasi jaringan saat nilai beban rata – rata yaitu sebesar 254,26 kW dengan rincian 165,65 kW pada penyulang Tapaksiring, 45,3 kW pada penyulang Kalijudan dan 43,31 kW pada penyulang Babatan. Saat nilai beban tertinggi sebesar 423,35 kW dengan rincian 276,03 kW pada penyulang Tapaksiring, 68,56 kW pada penyulang Kalijudan dan 66,42 kW pada penyulang Babatan. Penyulang Tapaksiring memiliki nilai rugi daya aktif paling besar saat nilai beban rata – rata maupun tertinggi dikarenakan jaringan distribusi penyulang yang panjang. Dimana jarak antara gardu induk dan trafo - trafo distribusi jauh sehingga nilai impedansi besar dan mengakibatkan nilai rugi daya baik aktif maupun reaktif besar. Untuk mengetahui lebih jelas rugi daya aktif pada tiap bus ditampilkan dalam gambar 4.1.



(a)

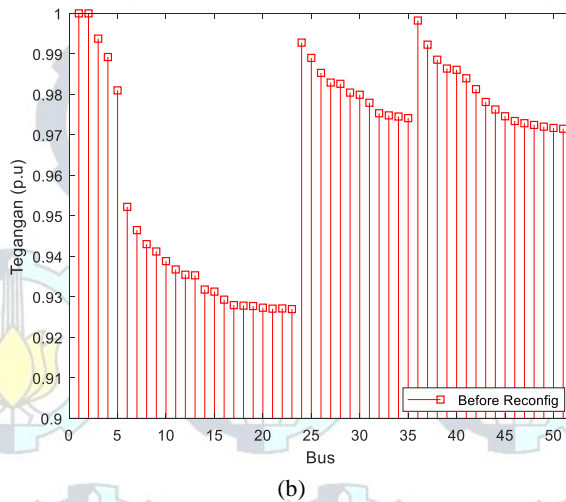
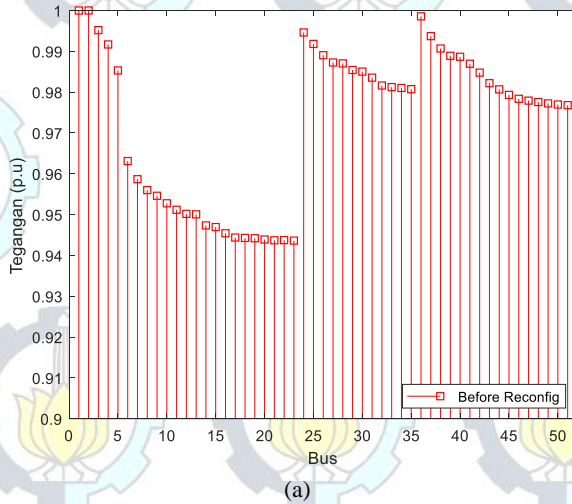


(b)

Gambar 4.1 Grafik rugi daya aktif sebelum rekonfigurasi (a) WBP rata – rata (b) WBP tertinggi

Dari gambar 4.1 dapat diketahui bahwa pola rugi daya aktif yang terjadi sama letaknya setiap cabang dengan pembebanan yang berbeda. Rugi daya aktif paling besar pada penyulang Tapaksiring terjadi pada cabang 4, penyulang Kalijudan pada cabang 22 dan penyulang Babatan pada cabang 35.

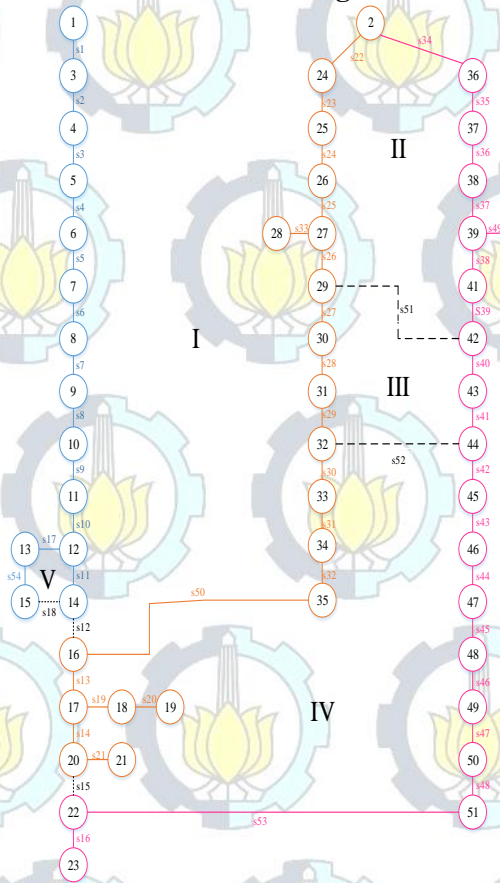
Dari hasil simulasi juga dapat dilihat tegangan minimal pada sistem. Tegangan minimal pada keseluruhan sistem terdapat pada ujung penyulang Tapaksiring. Untuk mengetahui lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik tegangan sebelum rekonfigurasi (a) WBP rata – rata (b) WBP tertinggi

Berdasarkan gambar 4.2 nilai tegangan minimal sistem terdapat pada ujung penyulang Tapaksiring. Rendahnya nilai tegangan minimal ini disebabkan oleh jaringan distribusi penyulang Tapaksiring yang panjang yaitu sehingga mengakibatkan jatuh tegangan di ujung jaringan. Penyulang Babatan memiliki panjang jaringan distribusi paling pendek diantara 2 penyulang lainnya sehingga nilai tegangan minimal yang terbaik diantara yang lain.

4.2 Hasil Simulasi Setelah Rekonfigurasi



Gambar 4.3 Sistem distribusi 51 bus setelah rekonfigurasi

Setelah dilakukan simulasi rekonfigurasi jaringan menggunakan metode SPSO diperoleh letak *tie switches* paling optimal yaitu pada s12, s15, s18, s51 dan s52. Untuk *switches* awal s50, s53 dan s54 menjadi *normally closed*. Dengan adanya perubahan letak *tie switches* ini mengakibatkan berubahnya konfigurasi jaringan pada tiap penyulang. Dalam kondisi nyata di lapangan *switches* dapat berupa *Load Break Switch (LBS)* maupun *LBS Motorized*. Pada penyulang Tapaksiring konfigurasi jaringan menjadi lebih pendek yaitu 13,725 km, penyulang Kalijudan menjadi lebih panjang yaitu 9,51 km dan penyulang Babatan menjadi lebih panjang yaitu 11,79 km. Pada awalnya penyulang Tapaksiring terdiri dari 23 bus, setelah terjadi rekonfigurasi jaringan menggunakan SPSO, penyulang Tapaksiring terdiri dari 15 bus (1 - 15). Setelah rekonfigurasi bus 16 – 21 disuplai oleh penyulang Kalijudan dan bus 22 – 23 disuplai oleh penyulang Babatan.

Tabel 4.9 Data tegangan setelah rekonfigurasi penyulang Tapaksiring

Bus	WBP rata – rata	WBP tertinggi
	Tegangan (p.u)	Tegangan (p.u)
1	1,000	1,000
3	0,997	0,996
4	0,995	0,994
5	0,991	0,989
6	0,979	0,973
7	0,977	0,970
8	0,975	0,968
9	0,975	0,966
10	0,974	0,966
11	0,973	0,966
12	0,973	0,966
13	0,972	0,965
14	0,972	0,965
15	0,972	0,965

Berdasarkan tabel 4.9 diketahui bahwa setelah rekonfigurasi jaringan penyulang Tapaksiring hanya mensuplai 15 bus. Sehingga kualitas tegangan menjadi lebih baik yaitu sebesar 19,4 kV saat WBP rata – rata dan 19,3 kV saat WBP tertinggi.

Tabel 4.10 Data rugi daya setelah rekonfigurasi penyulang Tapaksiring

Cabang	Dari bus	Ke bus	WBP rata - rata		WBP tertinggi	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
1	1	3	6	9,5	10	16
2	3	4	4	6,5	7	11
3	4	5	7	11	12	18
4	5	6	22	33	36	55
5	6	7	4	6	6	10
6	7	8	2	3	3	5
7	8	9	0,8	1,2	1,3	2
8	9	10	0,9	1,4	1,5	2
9	10	11	0,6	1	1,1	1,6
10	11	12	0,3	0,4	0,4	0,7
11	12	13	0,1	0,2	0,2	0,3
12	14	14	0	0	0	0
15	20	22	0	0	0	0
17	12	13	0,13	0,2	0,2	0,3
18	14	15	0	0	0	0
21	20	21	0,05	0,07	0,07	0,11
54	13	15	0,03	0,05	0,05	0,08
Total Rugi Daya			47,91	64,02	68,82	106,09

Berdasarkan tabel 4.10 rugi daya pada penyulang Tapaksiring mengalami penurunan. Rugi daya aktif terbesar terdapat pada cabang 4 yang menghubungkan bus 4 dan 5 yaitu 22 kW saat WBP rata – rata dan 36 kW saat WBP tertinggi.

Tabel 4.11 Data tegangan setelah rekonfigurasi penyulang Kalijudan

Bus	WBP rata – rata	WBP tertinggi
	Tegangan (p.u)	Tegangan (p.u)
2	1,000	1,000
16	0,969	0,959
17	0,968	0,958
18	0,968	0,958
19	0,968	0,957
20	0,968	0,957

Tabel 4.12 Data tegangan setelah rekonfigurasi penyulang Kalijudan (lanjutan)

Bus	WBP rata – rata	WBP tertinggi
	Tegangan (p.u.)	Tegangan (p.u.)
21	0,968	0,957
24	0,995	0,990
25	0,992	0,985
26	0,989	0,980
27	0,987	0,977
28	0,987	0,976
29	0,985	0,973
30	0,985	0,972
31	0,984	0,968
32	0,982	0,964
33	0,981	0,962
34	0,981	0,962
35	0,981	0,960

Pada tabel 4.11 dan 4.12 saat nilai WBP rata – rata nilai tegangan minimal penyulang terdapat pada bus 17 - 21 yaitu sebesar 19,36 kV. Saat nilai WBP tertinggi tegangan minimal terdapat pada bus 19 – 21 yaitu sebesar 19,14 kV. Nilai tegangan minimal yang terjadi pada penyulang Kalijudan masih sesuai dengan standar PLN yaitu 19 kV.

Tabel 4.13 Data rugi daya setelah rekonfigurasi penyulang Kalijudan

Cabang	Cabang		WBP rata – rata		WBP tertinggi	
	Dari bus	Ke bus	P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
13	16	15	0,7	1	1,1	1,7
14	17	16	0,1	0,2	0,2	0,3
19	17	18	0,03	0,05	0,05	0,08
20	18	19	0,01	0,02	0,02	0,03
22	2	24	30	46	53	80,5
23	24	25	15	23	26	40,4
24	25	26	14	22	25	38
25	26	29	9	14	16	24

Tabel 4.14 Data rugi daya setelah rekonfigurasi penyulang Kalijudan (lanjutan)

Cabang	Dari bus	Ke bus	WBP rata – rata		WBP tertinggi	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
26	27	29	9	13	15	23
27	29	30	2	2,6	3	4,5
28	30	32	6	9,6	11	16,6
29	31	32	8	12,4	14	21,6
30	32	33	1,6	2,5	3	4,4
31	33	34	1	1,4	1,6	2,4
32	34	35	1,5	2,3	2,5	3,9
33	27	28	0,04	0,07	0,08	0,12
50	16	35	1,4	2,2	2,4	3,6
Total rugi Daya			99,38	152,34	173,95	265,13

Berdasarkan tabel 4.13 dan 4.14 rugi daya aktif terbesar pada penyulang Kalijudan terjadi pada cabang 22 yang menghubungkan bus 2 dan 24. Saat WBP rata – rata rugi daya aktif terbesar yaitu 30 kW, saat WBP tertinggi yaitu 53 kW. Besarnya rugi daya aktif pada cabang 4 ini dikarenakan jarak yang menghubungkan bus 2 dan 24 memiliki jarak terpanjang yaitu 1,17 km dibandingkan dengan cabang – cabang lainnya pada penyulang Kalijudan.

Tabel 4.15 Data tegangan setelah rekonfigurasi penyulang Babatan

Bus	WBP rata – rata	WBP tertinggi
	Tegangan (p.u)	Tegangan (p.u)
2	1,000	1,000
22	0,972	0,965
23	0,972	0,965
36	0,998	0,998
37	0,992	0,991
38	0,988	0,987
39	0,986	0,985
40	0,985	0,984
41	0,983	0,982
42	0,980	0,979
43	0,976	0,975

Tabel 4.16 Data tegangan setelah rekonfigurasi penyulang Babatan (lanjutan)

Bus	WBP rata – rata	WBP tertinggi
	Tegangan (p.u)	Tegangan (p.u)
44	0,973	0,972
45	0,971	0,970
46	0,970	0,969
47	0,969	0,968
48	0,968	0,967
49	0,967	0,967
50	0,966	0,966
51	0,966	0,966

Berdasarkan tabel 4.15 dan 4.16 nilai tegangan minimal terdapat pada ujung penyulang Babatan pada bus 50 – 51 saat nilai beban rata – rata yaitu sebesar 19,32 kV serta pada bus 22 – 23 saat WBP tertinggi. Setelah rekonfigurasi jaringan penyulang Babatan menerima 2 beban baru dari penyulang Tapaksiring yaitu bus 22 – 23.

Tabel 4.17 Data rugi daya setelah rekonfigurasi penyulang Babatan

Cabang	Dari bus	Ke bus	WBP rata – rata		WBP tertinggi	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
16	22	23	0,01	0,02	0,02	0,03
34	2	36	4,7	7,2	7	11
35	36	37	15,6	24	24	36,4
36	37	38	9	14	14	21
37	38	39	5	7,8	7,7	11,8
38	39	41	4,6	7,1	7	10,8
39	41	42	5	7,6	7,6	11,7
40	42	43	5,6	8,5	8,5	13
41	43	44	3	4,6	4,7	7
42	44	45	2,5	4	4	6
43	45	46	1,6	2,5	2,5	3,8
44	46	47	0,7	1	1,06	1,6
45	47	48	0,5	0,7	0,75	1,1

Tabel 4.18 Data rugi daya setelah rekonfigurasi penyulang Babatan (lanjutan)

Cabang	Dari bus	Ke bus	WBP rata – rata		WBP tertinggi	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
46	48	49	0,4	0,7	0,7	1,1
47	49	50	0,3	0,5	0,5	0,8
48	50	51	0,2	0,3	0,32	0,5
49	39	52	0,1	0,13	0,12	0,2
51	29	42	0	0	0	0
52	44	32	0	0	0	0
53	22	51	0,03	0,04	0,05	0,07
Total Rugi Daya			58,84	90,69	90,52	137,83

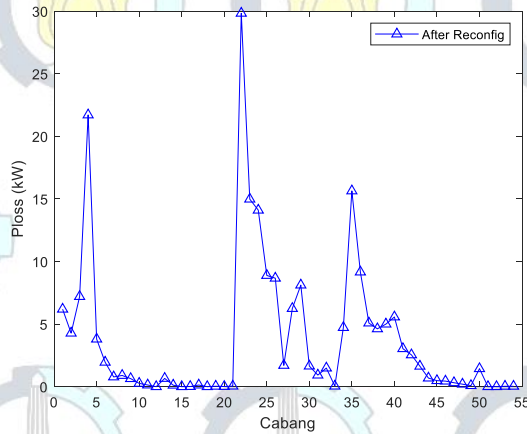
Berdasarkan tabel 4.17 dan 4.18 rugi daya aktif terbesar terdapat pada cabang 35 yang menghubungkan bus 36 dan 37 sebesar 15,6 kW saat WBP rata – rata dan 24 kW saat WBP tertinggi.

Tabel 4.19 Total rugi daya setelah rekonfigurasi

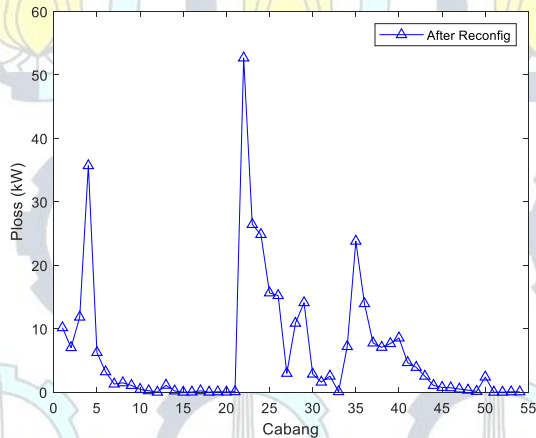
No.	Penyulang	WBP rata – rata		WBP tertinggi	
		P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
1.	Tapaksiring	47,91	64,02	68,82	106,09
2.	Kalijudan	99,38	152,34	173,95	265,13
3.	Babatan	58,84	90,69	90,52	137,83
Total Rugi Daya		206,13	316,55	343,29	525,05

Hasil simulasi di atas merupakan hasil simulasi sistem setelah rekonfigurasi yang diperoleh dari perhitungan analisis aliran daya pada ketiga penyulang. Total rugi daya pada sistem diperoleh dari penjumlahan rugi daya total ketiga penyulang. Dari hasil simulasi pada tabel 4.19 di atas, total rugi daya aktif dari ketiga penyulang sebesar 206,13 kW saat WBP rata – rata dan 343,29 kW saat WBP tertinggi. Sedangkan rugi daya reaktif dari ketiga penyulang sebesar 316,55 kVAr saat nilai beban rata – rata WBP dan 525,05 kVAr saat WBP tertinggi.

Untuk mengetahui lebih jelas rugi daya aktif pada tiap cabang ditampilkan dalam gambar 4.4.



(a)

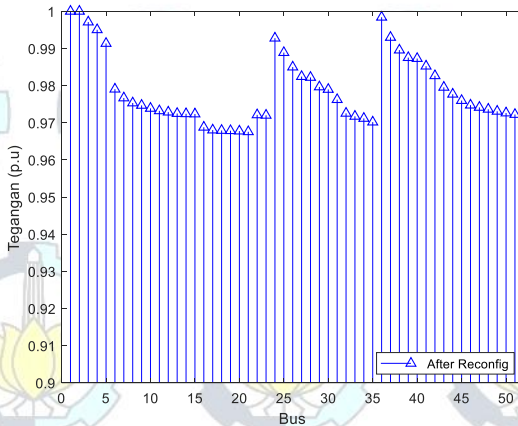


(b)

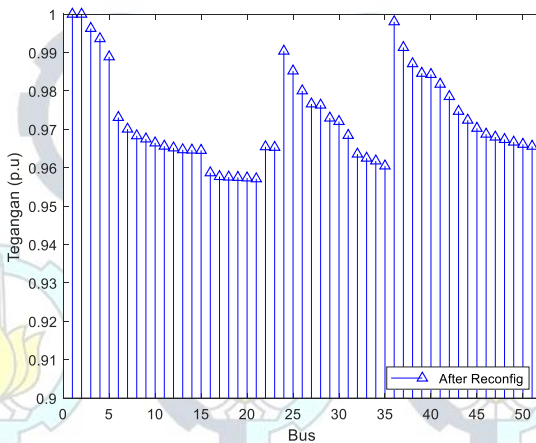
Gambar 4.4 Grafik rugi daya aktif setelah rekonfigurasi (a) WBP rata-rata (b) WBP tertinggi

Berdasarkan gambar 4.4 tidak berbeda dengan sebelum rekonfigurasi bahwa untuk pola rugi daya aktif sama letak cabang nya walaupun dengan pembebanan berbeda. Dapat dilihat dari grafik bahwa

setelah rekonfigurasi rugi daya aktif pada penyulang Tapaksiring menurun. Namun, pada penyulang Babatan rugi daya aktif bertambah dikarenakan setelah rekonfigurasi *switch* s53 *normally closed* dan *switch* s12 *normally open* dan penyulang Kalijudan bertambah ketika *switch* s50 *normally closed* dan s15 *normally open*. Hal ini dikarenakan arus suplai pada penyulang bertambah selaras dengan bertambahnya beban.



(a)



(b)

Gambar 4.5 Grafik tegangan setelah rekonfigurasi (a) WBP rata – rata (b) WBP tertinggi

Berdasarkan gambar 4.5 nilai tegangan minimal sistem terdapat pada bus 21 yaitu sebesar 0,957 p.u. atau 19,14 kV. Walaupun nilai tegangan bus 21 paling rendah dari sistem. Namun, terjadi perbaikan kualitas tegangan dari tegangan awal 0,927 p.u. Bus 21 sebelum rekonfigurasi disuplai dari penyulang Tapaksiring dan berada jauh dari sumber sehingga kualitas tegangan kurang baik. Setelah direkonfigurasi bus 21 disuplai dari penyulang Babatan yang memiliki jarak lebih pendek.

4.3 Analisis Data Hasil Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi

Hasil simulasi yang dilakukan dengan metode SPSO menampilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.20 Hasil simulasi rekonfigurasi jaringan menggunakan SPSO

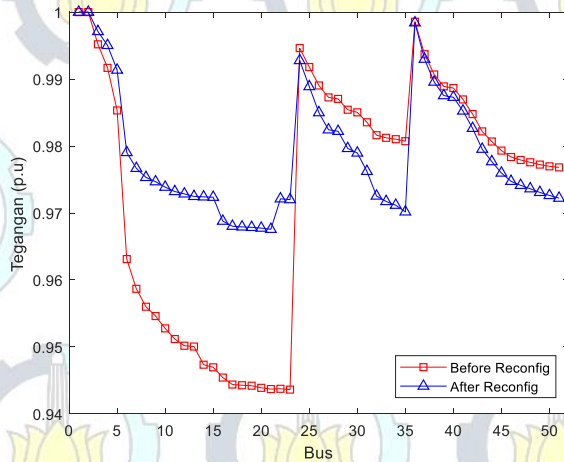
	WBP Rata – rata		WBP tertinggi	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
<i>Tie switches</i>	s50 s51 s52 s53 s54	s12 s15 s18 s51 s52	s50 s51 s52 s53 s54	s12 s15 s18 s51 s52
<i>Power loss</i>	254,26 kW	206,13 kW	423,35 kW	316,55 kW
<i>Power loss reduction</i>	-	18,92 %	-	25,23 %
<i>Minimum Voltage</i>	0,944 pu	0,968 pu	0,927 pu	0,957 pu

Berdasarkan tabel 4.20 dapat diketahui bahwa terjadi penurunan nilai rugi daya total baik saat nilai WBP tertinggi maupun rata – rata. Peletakan *tie switches* paling optimal saat pembebanan WBP rata – rata maupun tertinggi terdapat pada tempat yang sama yaitu s12, s15, s18, s51 dan s52. Dimana *switch – switch* tersebut berubah menjadi *normally open*. Pada simulasi tiap cabang dianalogikan sebagai *switch* yang dapat dibuka dan ditutup. Dimana proses membuka dan menutup *switch* ini

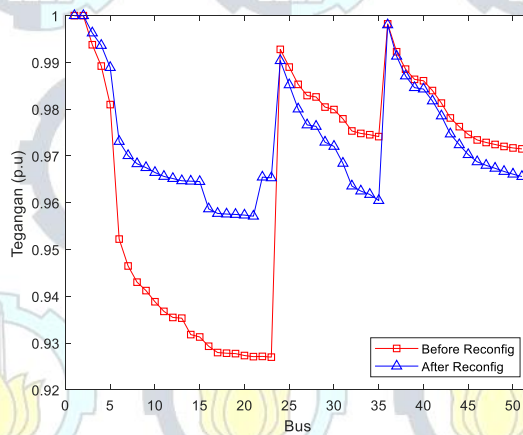
sebagai langkah untuk mencari konfigurasi paling optimal dalam sistem. Konfigurasi paling optimal didapatkan ketika rugi daya total sistem paling minimal. *Switch* 50 (s50) menghubungkan bus 16 dan 35 dimana bus 16 disuplai dari penyulang Tapaksiring yang memiliki jarak 12,69 km dari gardu induk Simpang sedangkan bus 35 disuplai dari penyulang Kalijudan yang memiliki jarak 6,72 km dari gardu induk Kenjeran. Setelah direkonfigurasi *switch* 50 berubah menjadi *normally closed* dimana bus 16 dapat disuplai dari gardu induk Kenjeran yang memiliki jarak lebih dekat. Pada *switch* 12 yang menghubungkan bus 14 dan 16 menjadi *normally open* setelah direkonfigurasi. Sehingga, bus 16, 17, 18, 19, 20 dan 21 disuplai dari penyulang Kalijudan. *Tie switches* 53 menghubungkan bus 22 dan 51 dimana bus 22 disuplai dari penyulang Tapaksiring yang memiliki jarak 14,04 km dari gardu induk Simpang sedangkan bus 51 disuplai dari penyulang Babatan yang memiliki jarak 10,17 km dari gardu induk Kenjeran. Setelah direkonfigurasi s53 menjadi *normally closed* dan s15 *normally open*. Sehingga setelah direkonfigurasi bus 22 dan 23 disuplai dari penyulang Babatan yang memiliki jarak lebih dekat dengan gardu induk. *Tie switches* 54 menghubungkan bus 13 dan 15 yang keduanya disuplai dari penyulang Tapaksiring namun memiliki jarak dengan gardu induk berbeda dimana bus 13 memiliki jarak 11,475 km dan bus 15 memiliki jarak 12,825 km. Dengan s54 *normally closed* jarak bus 15 dengan gardu induk menjadi lebih pendek yaitu 11,835 km. Setelah rekonfigurasi s18 menjadi *normally open* sehingga bus 15 langsung terhubung dengan bus 13 melalui s54 sehingga rugi daya lebih kecil. Pada s51 dan s52 tidak terjadi perubahan dikarenakan *tie switches* ini menghubungkan penyulang Kalijudan dan Babatan dimana keduanya berasal dari gardu induk yang sama dan memiliki jalur jaringan distribusi yang hampir sama.

Rekonfigurasi jaringan dapat meningkatkan kualitas tegangan pada sistem distribusi. Untuk mengetahui lebih jelas tegangan sebelum dan sesudah rekonfigurasi ditampilkan pada gambar 4.6

Berdasarkan gambar 4.6 kualitas tegangan sistem jaringan distribusi menjadi lebih baik setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan menggunakan SPSO. Walaupun terdapat penurunan kualitas tegangan pada bus – bus tertentu namun apabila dilihat secara keseluruhan nilai tegangan yang turun masih memenuhi standar PLN 72: 1987 yaitu jatuh tegangan pada jaringan tegangan menengah *open loop* atau radial adalah 5% atau minimal 19 kV.



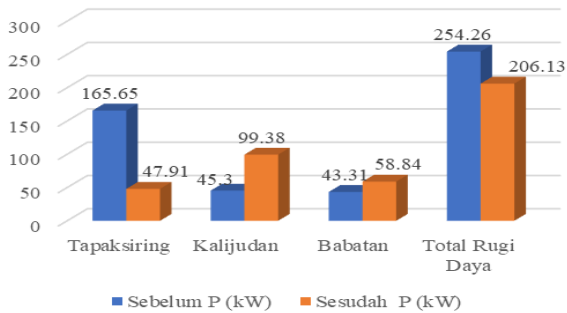
(a)



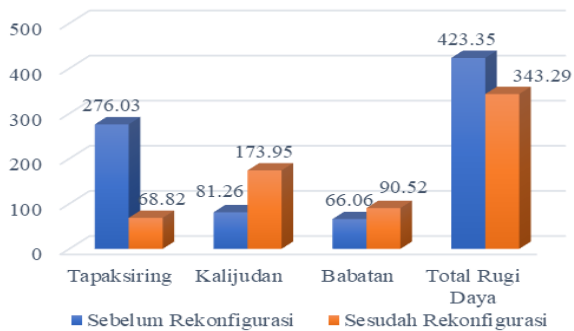
(b)

Gambar 4.6 Grafik tegangan sebelum dan sesudah rekonfigurasi
 (a) WBP rata – rata (b) WBP tertinggi

Berdasarkan gambar 4.6 nilai tegangan minimal saat WBP rata – rata mengalami perubahan dari 0,944 p.u. menjadi 0,968 p.u. saat WBP tertinggi tegangan minimal berubah dari 0,927 p.u. menjadi 0,957 p.u. Kualitas tegangan sistem menjadi lebih baik dikarenakan setelah rekonfigurasi terjadi perubahan suplai daya listrik pada bus – bus ujung penyulang Tapaksiring yang dialihkan pada penyulang Kalijudan dan Babatan.



(a)



(b)

Gambar 4.7 Grafik rugi daya aktif sebelum dan sesudah rekonfigurasi (a) WBP rata – rata (b) WBP tertinggi

Berdasarkan gambar 4.7 rugi daya aktif pada penyulang Tapaksiring mengalami penurunan namun pada penyulang Kalijudan dan Babatan mengalami peningkatan. Metode SPSO bekerja dengan mencari letak *tie switches* paling optimal untuk mendapatkan nilai rugi

daya aktif paling minimal. Berdasarkan tabel 4.20 setelah dilakukan rekonfigurasi peletakan *tie switches* paling optimal dari dua kondisi terdapat pada s12, s15, s18, s51 dan s52 dengan pengurangan rugi daya aktif sebesar 18,92% (48,13 kW) saat WBP rata – rata dan 25,23% (106,8 kW) saat WBP tertinggi.

4.4 Pendekatan Biaya

Dengan adanya rekonfigurasi jaringan dapat mengurangi adanya rugi daya aktif maupun reaktif dalam sistem jaringan distribusi. PT. PLN (Persero) sebagai perusahaan listrik negara tentu mengutamakan keandalan dan efisiensi dalam penyuplaian energi listrik kepada konsumen. Maka dari itu, dengan adanya rugi daya pada sistem jaringan distribusi dapat merugikan pihak PLN karena daya suplai tidak sama dengan daya terima pada pelanggan sehingga mengakibatkan biaya yang dibayarkan pelanggan tidak sesuai dengan jumlah daya listrik yang disalurkan. Pada penelitian ini saat nilai WBP rata – rata rekonfigurasi jaringan menggunakan metode SPSO dapat mengurangi rugi daya aktif dalam sistem JTM (Jaringan Tegangan Menengah) saluran distribusi sebesar 18,92%. Nilai rata – rata dipilih karena lebih merepresentasikan kondisi nyata dalam pendistribusian tenaga listrik. Rugi daya aktif sebelum rekonfigurasi sebesar 254,26 kW setelah dilakukan rekonfigurasi menjadi 206,13 kW. Terdapat penurunan rugi daya aktif sebesar 48,13 kW. Dari penurunan rugi daya tersebut dapat diketahui berapa banyak energi listrik yang hilang selama proses distribusi sebelum rekonfigurasi. Energi yang hilang ini merupakan kerugian yang harus ditanggung PLN. Jumlah biaya kerugian dapat dihitung dengan mengalikan energi listrik dengan TDL (Tarif Dasar listrik) pelanggan tegangan rendah. Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No. 41 Tahun 2017. Tarif listrik untuk pelanggan tegangan rendah yaitu Rp. 1.467,68/ kWh.

Perhitungan jumlah energi yang hilang selama 1 bulan:

$$\text{energi} : 48,13 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} \times 30 = 34.653,6 \text{ kWh}$$

Perhitungan kerugian biaya selama 1 bulan:

$$34.653,6 \times \text{Rp. } 1.467,68 = \text{Rp. } 50.846.534$$

Dengan adanya rekonfigurasi jaringan PT. PLN dapat mengurangi kerugian biaya sebesar Rp. 50.836.831 dalam satu bulan.



--Halaman ini sengaja dikosongkan--

BAB 5 PENUTUP

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

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis rekonfigurasi jaringan menggunakan SPSO dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada hasil simulasi pembebanan berpengaruh terhadap nilai besarnya nilai *losses*. Pada saat nilai WBP tertinggi memiliki rugi daya lebih tinggi yaitu 423,35 kW daripada saat nilai rata – rata WBP yaitu 254,26 kW.
2. Penyulang Tapaksiring memiliki tegangan paling minimal dari sistem sebelum rekonfigurasi dikarenakan memiliki panjang penyulang yang paling panjang sebesar 17,685 km.
3. Setelah rekonfigurasi jaringan terjadi peningkatan kualitas tegangan minimal saat nilai WBP rata – rata dari 0,944 p.u. menjadi 0,968 p.u. serta saat WBP tertinggi dari 0,927 p.u. menjadi 0,957 p.u.
4. Pembebanan yang berbeda pada penyulang akan tetap menghasilkan letak *tie switches* yang sama. Saat nilai rata – rata WBP dan WBP tertinggi letak *tie switches* pada s12, s15, s18, s51 dan s52.
5. Setelah dilakukan rekonfigurasi dengan jaringan SPSO dapat mengurangi rugi daya sebesar 18,92% saat WBP rata – rata dan 25,23% saat WBP tertinggi.
6. Menambah aset PLN berupa pendirian tiang baru pada penyulang Kalijudan sebanyak 20 tiang di Jl. Sutorejo Tengah.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah:

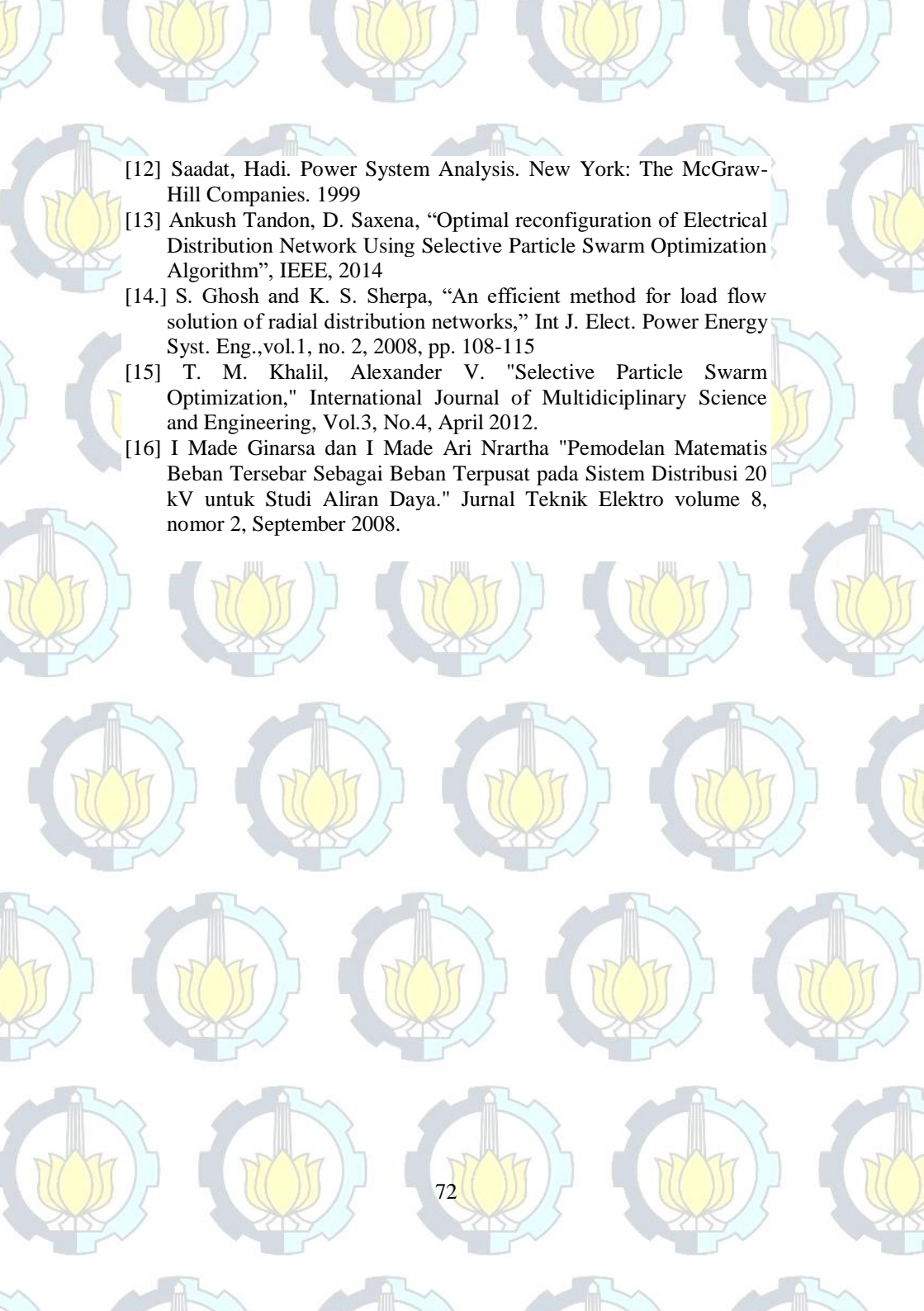
1. Menghitung nilai aset yang dibutuhkan dalam rekonfigurasi jaringan yang disarankan.



--Halaman ini sengaja dikosongkan--

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Vulasala, S. Sirigiri and R. Thiruveedula, "Feeder Reconfiguration for Loss Reduction in Unbalanced Distribution System Using Genetic Algorithm", *International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Vol. 3, No. 12, pp. 754-762, 2009.
- [2] Lampiran Surat Keputusan Direksi PT. PLN (Persero), SPLN 72:1987, No. 060/DIR/87, Juli 1987.
- [3] S. Civanlar, J. J. Grainger, H. Yin, and S. S. H. Lee, "Distribution feeder reconfiguration for loss reduction," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 3, no. 3, pp. 1217–1223, July 1988.
- [4] Hosseinzadeh, Farzad., Alinejad, Bahman., dan Pakfar, Keyvan., "A New Technique in Distribution Network Reconfiguration For Loss Reduction and Optimum Operation", *IEEE, 22nd International Conference on Electricity Distribution*. 2009.
- [5] Akhmad Anugrah, "Penentuan Kombinasi Tie Switch pada jaringan distribusi radial untuk minimasi rugi daya berbasis Geographic Information System (GIS) Menggunakan Genetic Algorithm (GA)", Surabaya: ITS, 2016.
- [6] Suhadi, dkk., "Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1", Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional. 2008.
- [7] Niken Adriaty Basyarach, "Reconfiguration of Radial Distribution Network to Minimize Losses Using Binary Particle Swarm Optimization (BPSO)," Surabaya: ITS, 2016.
- [8] Sabri, Yusra, "Arsitektur & Pengembangan Jaringan Distribusi", Gedung Kerjasama PLN ITB, 1991.
- [9] Saifi Sabiq, "Estimasi Kerugian Energi Jaringan Distribusi Radial Pada Penyulang NR 7 20 KV Kota Medan Menggunakan Loss Factor," Tugas Akhir Teknik Elektro - ITS, 2017.
- [10] Rohmawan. M. Zaini, "Identifikasi Karakteristik Jenis Beban pada Jaringan Distribusi Radial untuk Estimasi Pembebanan Trafo Distribusi," Tugas Akhir Teknik Elektro-ITS, 2006.
- [11] Laxmi. M. Kottal, Radhika Priyadarshini, Dr. R Prakash "Network Reconfiguration For Loss Reduction Of A Radial Distribution System" *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, Vol. 4, Issue 5, Mei 2015.

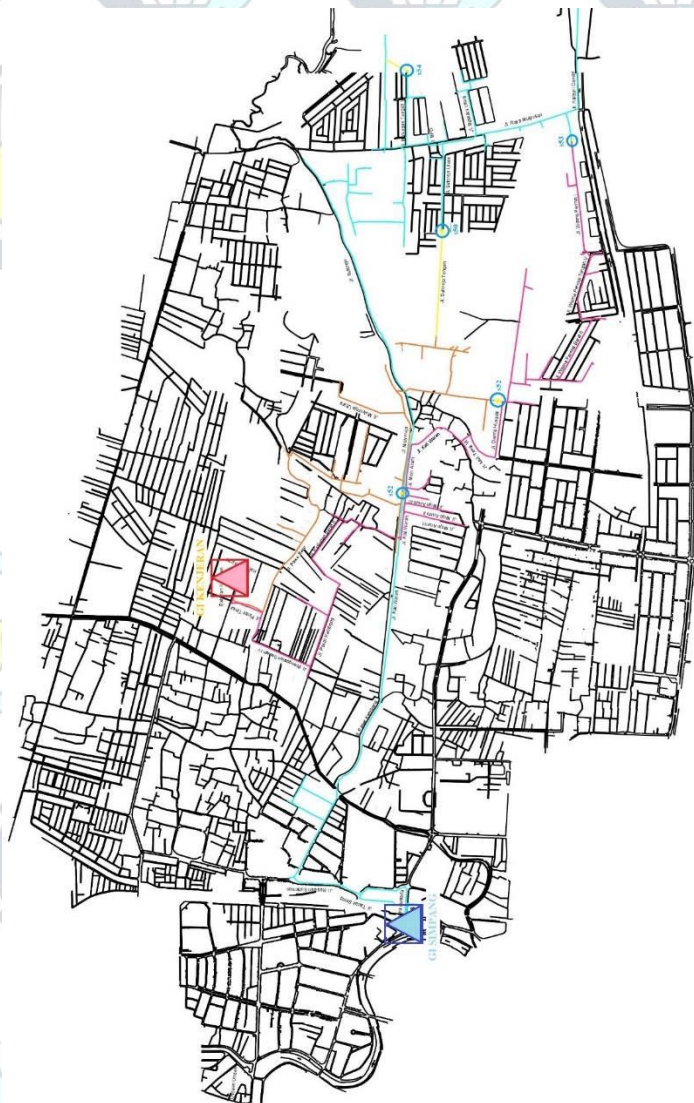
- 
- [12] Saadat, Hadi. Power System Analysis. New York: The McGraw-Hill Companies. 1999
- [13] Ankush Tandon, D. Saxena, "Optimal reconfiguration of Electrical Distribution Network Using Selective Particle Swarm Optimization Algorithm", IEEE, 2014
- [14.] S. Ghosh and K. S. Sherpa, "An efficient method for load flow solution of radial distribution networks," Int J. Elect. Power Energy Syst. Eng., vol.1, no. 2, 2008, pp. 108-115
- [15] T. M. Khalil, Alexander V. "Selective Particle Swarm Optimization," International Journal of Multidisciplinary Science and Engineering, Vol.3, No.4, April 2012.
- [16] I Made Ginarsa dan I Made Ari Nnartha "Pemodelan Matematis Beban Tersebar Sebagai Beban Terpusat pada Sistem Distribusi 20 kV untuk Studi Aliran Daya." Jurnal Teknik Elektro volume 8, nomor 2, September 2008.




--Halaman ini sengaja dikosongkan--

LAMPIRAN 2

Peta Jaringan Distribusi ULP Ploso Sebelum Rekonfigurasi (Penyulang Tapaksiring, Kalijudan dan Babatan)





--Halaman ini sengaja dikosongkan--

LAMPIRAN 3

Peta Jaringan Distribusi ULP Ploso Setelah Rekonfigurasi (Penyulang Tapaksiring, Kalijudan dan Babatan)





--Halaman ini sengaja dikosongkan--

RIWAYAT HIDUP



Penulis buku penelitian berjudul **“Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Primer pada PT. PLN (Persero) ULP Ploso Menggunakan *Selective Particle Swarm Optimization* untuk Meningkatkan Efisiensi Jaringan Distribusi”** ini bernama lengkap Nina Restu Arianti. Penulis lahir di Bojonegoro, 30 Nopember 1996 dan hidup besar di Bojonegoro. Penulis memulai jenjang Pendidikan di SDN Kepatihan Bojonegoro, SMPN 1 Bojonegoro, SMAN 1 Bojonegoro hingga lulus pada tahun 2015. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan studi perguruan tinggi tingkat sarjana di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Di Teknik Elektro, penulis mendalami bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis memiliki pengalaman organisasi dan kepanitiaan yang cukup banyak diantaranya Departemen Kesejahteraan Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro periode 2016/2017 dan 2017/2018, BARONAS (Lomba Robot Nasional 2018), ELECTRA (Electrical Competition, Tour and Rally 2016, 2017). Selain itu, sejak tahun 2017 penulis menjadi asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik dengan bidang Mesin Listrik, Elektronika daya dan *Renewable Energy*. Dalam bidang keilmiah penulis memiliki pengalaman keilmiah yaitu sebagai Juara 3 CIIC Thailand. Penulis juga memiliki pengalaman magang di PT. PLN (Persero) selama 6 bulan.



--Halaman ini sengaja dikosongkan--