

**REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI GUNA
MEMINIMALKAN RUGI-RUGI DAYA DENGAN METODE
ALGORITMA GENETIKA**

SKRIPSI

**TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**



RAMDHONY TOFANO MURISOM

NIM. 145060307111005

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK**

MALANG

2019





LEMBAR PENGESAHAN

**REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI GUNA MEMINIMALKAN
RUGI-RUGI DAYA DENGAN METODE ALGORITMA GENETIKA**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



RAMDHONY TOFANO MURISOM

NIM. 145060307111005

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 8 Januari 2020

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**

Dosen Pembimbing

Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM.
NIP. 19730520 200801 1 013

Ir. Teguh Utomo, M.T.
NIP. 19650913 199103 003





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, November 2019

Mahasiswa,

Ramdhony Tofano Murisom
NIM: 145060307111005





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



RIWAYAT HIDUP

Ramdhony Tofano Murisom lahir di Gresik pada tanggal 10 Februari 1996. Tofan, sapaan akrabnya, merupakan anak sulung dari pasangan Issom Latief dan Indah Purworini. Pendidikan Sekolah Dasar hingga Sekolah Menengah Atas ia tempuh di Kota Gresik. Pria yang gemar musik dan seni ini memutuskan untuk memfokuskan masa depannya pada program sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Tahun 2014. Pengalaman kerjanya saat mahasiswa adalah Staff EME Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2015 hingga 2017, serta aktif dalam berbagai kegiatan diluar kampus.

Malang, November 2019

Penulis



UNIVERSITAS BRAWIJAYA





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



*Teriring Ucapan Terima Kasih untuk
Bapak, Mama, dan Adik Tercinta*



RINGKASAN

Ramdhony Tofano Murisom, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2019, *Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Guna Meminimalkan Rugi-Rugi Daya Dengan Metode Algoritma Genetika*. Dosen Pembimbing: Teguh Utomo

Penelitian ini membahas tentang rekonfigurasi jaringan distribusi guna meminimalkan rugi-rugi daya. Rekonfigurasi jaringan yang dimaksudkan disini adalah dengan menentukan kondisi *open/close switch* pada jaringan distribusi. Dan karena seiring dengan perkembangan teknologi komunikasi dan pemrosesan data akhir-akhir ini, peralatan-peralatan jaringan distribusi listrik telah memasuki era baru yaitu otomatisasi jaringan distribusi (*Distribution Otomatization*), yaitu operasional jaringan distribusi dilakukan dari satu tempat yang bisa mengendalikan semua peralatan pada jaringan distribusi, termasuk di dalamnya adalah rekonfigurasi jaringan distribusi. Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode Algoritma Genetika yang merupakan suatu teknik pencarian dan optimasi yang didasarkan pada prinsip genetik dan seleksi alam. Dalam algoritma genetika untuk menghasilkan suatu solusi optimal, pencarian dilakukan diantara sejumlah alternatif titik optimal berdasarkan fungsi probabilistik.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diambil dari *Institute of Electrical and Electronics Engineering* yaitu IEEE 30 bus yang merupakan penelitian dari Mohammad Shahidehpour dengan judul *Communication and Control in Electric Power Systems: Application of Parallel and Distributed Processing* yang diterbitkan pada tahun 2003. Tujuan akhir dari penelitian ini adalah untuk menurunkan besarnya rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dengan mengidentifikasi besarnya rugi-rugi daya sebelum dan sesudah dilakukan rekonfigurasi jaringan.

Pada hasil *running program* yang dilakukan dengan menggunakan MATLAB, aliran daya menunjukkan bahwa pada bus 1 mengalir 282,1970 MW dan 347,0750 MVAR. Hal ini menunjukkan besar *supply* daya aktif dan daya reaktif dari slack bus 1. Sedangkan total pembebanan adalah 233,2800 MW dan 131,2600 MVAR. Dalam perhitungan *line flow* didapatkan jumlah rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif sebelum dilakukan rekonfigurasi jaringan adalah sebesar 48,9170 MW dan 215,8150 MVAR. Untuk tegangan bus minimum pada jaringan sebesar 0,4496 p.u. Dari hasil *running program* Algoritma Genetika didapatkan beberapa konfigurasi baru *open/close switch* yang menghasilkan rugi-rugi daya minimum dimana konfigurasi yang menghasilkan rugi-rugi daya terkecil diantara konfigurasi lainnya adalah saluran antara bus 4 dan bus 6 dengan kondisi *switch* terbuka, saluran antara bus 8 dan bus 28 dengan kondisi *switch* terbuka, saluran antara bus 6 dan bus 28 dengan kondisi *switch* tertutup, saluran antara bus 12 dan 15 dengan kondisi *switch* tertutup, dan saluran antara bus 29 dan bus 30 dengan kondisi *switch* terbuka. Dari hasil rekonfigurasi tersebut didapatkan perhitungan aliran daya yang baru. Dalam perhitungan *line flow* didapatkan jumlah rugi-rugi daya aktif setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan distribusi adalah sebesar 48,0090 MW. Total pembebanan adalah 233,2800 MW dan 131,2600 MVAR.

Kata Kunci: Rekonfigurasi Jaringan, Rugi-rugi Daya, Algoritma Genetika

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



SUMMARY

Ramdhony Tofano Murisom, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, November 2019, *Distribution Network Reconfiguration to Minimize Power Losses with the Genetic Algorithm Method*. Academic Supervisor: Teguh Utomo.

This study discusses the distribution network reconfiguration to minimize power losses. The network reconfiguration that is intended here is to determine the condition of open / close switches on the distribution network. And because along with the development of communication technology and data processing lately, the electrical distribution network equipment has entered a new era of distribution network automation (Distribution Automation), namely the distribution network operation is carried out from one place that can control all equipment on the distribution network, including the distribution network reconfiguration. The method used for this research is the Genetic Algorithm method which is a search and optimization technique that is based on genetic principles and natural selection. In genetic algorithms to produce an optimal solution, a search is performed among a number of alternative optimal points based on probabilistic functions.

The data used in this study are secondary data taken from the Institute of Electrical and Electronics Engineering, IEEE 30 bus which is a study of Mohammad Shahidehour under the title Communication and Control in Electric Power Systems: Application of Parallel and Distributed Processing, published in 2003. The final goal of this research is to reduce the magnitude of power losses in the distribution network by identifying the magnitude of power losses before and after network reconfiguration.

On the results of running programs conducted using MATLAB, the power flow shows that on bus 1 flows 282,1970 MW and 347.0750 MVAR. This shows the amount of active power supply and reactive power from slack bus 1. While the total loading is 233,2800 MW and 131,2600 MVAR. In the calculation of line flow, the amount of active and reactive power losses before the network reconfiguration is obtained is 48.9170 MW and 215.8150 MVAR. For the minimum bus voltage on the network of 0.4496 pu. From the results of running the Genetic Algorithm program, several new configurations open / close switch that produce minimum power losses where the configuration that produces the smallest power losses among other configurations is the channel between bus 4 and bus 6 with the switch condition open, the channel between bus 8 and bus 28 with the switch condition open, the channel between bus 6 and bus 28 with the switch condition closed, the channel between bus 12 and 15 with the switch condition closed, and the channel between bus 29 and bus 30 with the condition of the switch open. From the reconfiguration it is obtained a new power flow calculation. In the calculation of line flow, the amount of active power losses after the reconfiguration of the distribution network is obtained is 48,0090 MW. The total loading is 233,2800 MW and 131,2600 MVAR.

Keywords: Network Reconfiguration, Power Losses, Genetic Algorithms.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kasih-Nya sehingga laporan skripsi ini dapat ditulis dan diselesaikan.

Laporan skripsi ini disusun berdasarkan data dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Penyusunan laporan skripsi ini juga tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, untuk itu diucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
2. Ibu Ir. Nurussa'adah, M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Ibu Rahmadwati, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
4. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc., selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Energi Elektrik Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang selalu membantu dalam memudahkan setiap hal yang ada di jurusan.
5. Bapak Ir. Teguh Utomo, MT. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu dan memberikan ilmu yang bermafaat baik dalam pembuatan skripsi maupun lainnya.
6. Keluarga tercinta, Bapak Issom Latief, Mama Indah Purworini, serta Adik Robiansyah Al Mufarisom yang senantiasa mendoakan, memberikan nasihat, kasih sayang, pelajaran hidup dan perhatian selama ini.
7. Dilla Andyana Sari, selaku orang istimewa yang selalu memberi doa, dukungan, kasih sayang, serta motivasi dalam perkuliahan dan pengerjaan skripsi ini.
8. Teman-teman, Rea-reo, Kontrakan All Hail Timbul, Anderground, serta Laboratorium Dasar Elektrik dan Pengukuran yang selalu memberi doa dan hiburan.
9. Rekan-rekan Paket A dan Angkatan Dioda 2014 yang saling mendukung satu sama lain.
10. Dan semua orang yang telah membantu dan tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Sekiranya Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan semua pihak yang turut membantu menyelesaikan skripsi ini. Disadari juga bahwa skripsi ini masih banyak

kekurangan sehingga kritik dan saran akan selalu diterima untuk perbaikan agar dapat menjadi lebih baik dan memberikan manfaat bagi kita semua. Amin, sekian dan terima kasih.

Malang, November 2019

Penulis

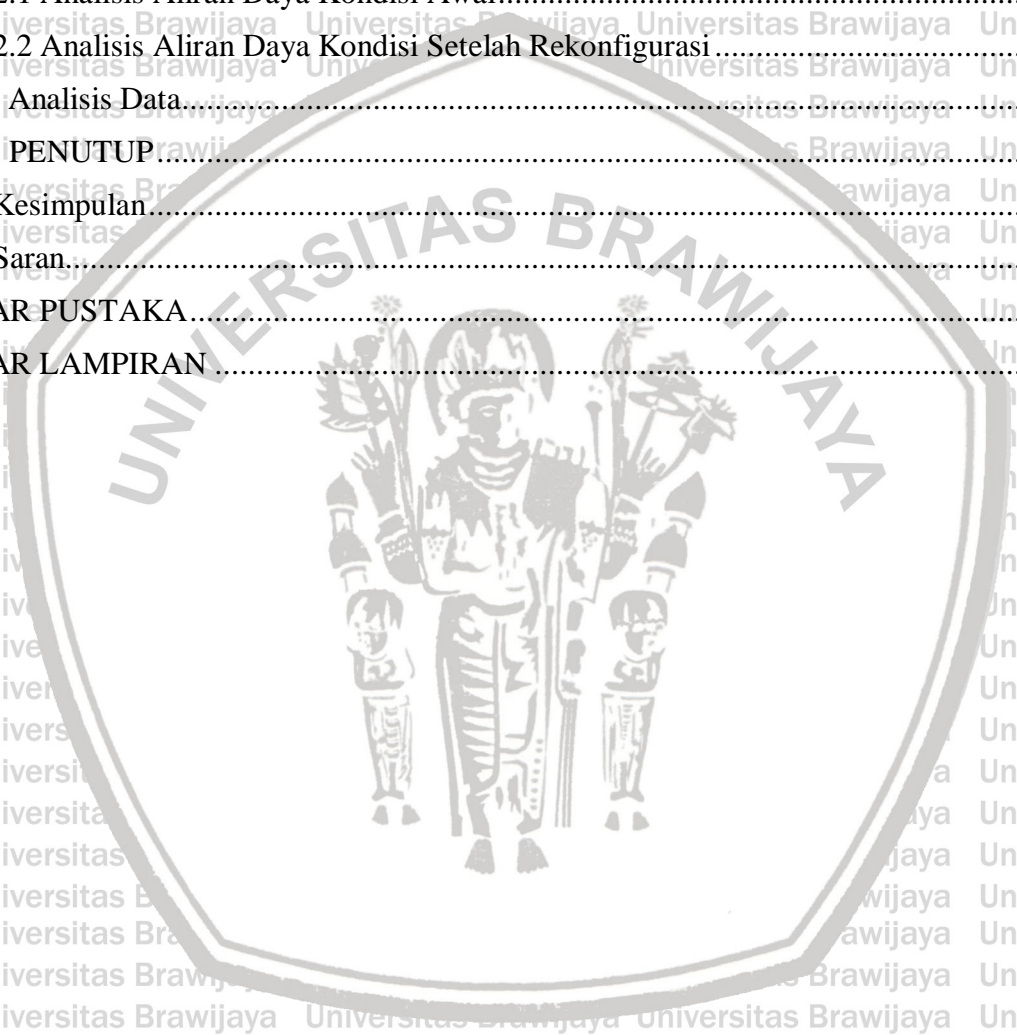


DAFTAR ISI

PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Penelitian.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Sistem Jaringan Distribusi Tegangan Menengah.....	5
2.2. Tipe Jaringan Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	7
2.2.1. Tipe Radial.....	8
2.2.2. Tipe Hantaran Penghubung (<i>Tie Line</i>).....	8
2.2.3. Tipe Loop.....	9
2.2.4. Tipe Spindel.....	9
2.2.5. Tipe Kluster.....	10
2.3. Peralatan Jaringan.....	11
2.4. Analisis Aliran Daya.....	12
2.4.1. Analisis Aliran Daya dengan Metode Newton-Raphson.....	12
2.5. Algoritma Genetika.....	17
2.5.1. Representasi Solusi.....	18
2.5.2. Populasi Awal.....	18
2.5.3. Fungsi <i>Fitness</i>	18
2.5.4. Seleksi.....	18
2.5.5. Operator Rekombinasi dan Mutasi.....	19
2.5.5.1. Operator Crossover (Perkawinan Silang).....	19
2.5.5.2. Mutasi.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	21
3.2. Pengambilan Data.....	22



3.3. Penentuan Konfigurasi Titik Beban (<i>Load Point</i>).....	22
3.4. Perhitungan Aliran Daya dan Rugi-rugi Daya Jaringan.....	23
3.5. Rekonfigurasi Jaringan.....	23
3.6. Penarikan Kesimpulan dan Saran.....	23
BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS.....	25
4.1. Data Sistem Jaringan Distribusi IEEE 30 Bus.....	25
4.2. Simulasi dengan Matlab.....	27
4.2.1 Analisis Aliran Daya Kondisi Awal.....	27
4.2.2 Analisis Aliran Daya Kondisi Setelah Rekonfigurasi.....	28
4.2.3 Analisis Data.....	29
BAB V PENUTUP.....	35
5.1. Kesimpulan.....	35
5.2. Saran.....	36
DAFTAR PUSTAKA.....	37
DAFTAR LAMPIRAN.....	39



DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 <i>Data Jaringan Distribusi IEEE 30 Bus</i>	26
Tabel 4. 2 <i>Kombinasi Switch dan Hasil Rugi-rugi Daya</i>	30
Tabel 4. 3 <i>Perbandingan Besar Rugi-rugi Daya Aktif</i>	30
Tabel 4. 4 <i>Perbandingan Besar Rugi-rugi Daya Reaktif</i>	30





DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengelompokan jaringan distribusi tenaga listrik7

Gambar 2.2 Tipe Jaringan Radial.....8

Gambar 2.3 Tipe Jaringan Hantaran Penghubung (Tie Line).....9

Gambar 2.4 Tipe Jaringan Loop.....9

Gambar 2.5 Tipe Jaringan Spindel.....10

Gambar 2.6 Tipe Jaringan Kluster11

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....21

Gambar 3.2 Konfigurasi Titik Beban22

Gambar 4.1 Sistem Jaringan Distribusi IEEE 30 Bus26

Gambar 4.2 Sistem Jaringan Distribusi IEEE 30 Bus Setelah di Rekonfigurasi29

Gambar 4.3 Perbandingan Besar Supply Daya Aktif31

Gambar 4.4 Perbandingan Besar Total Pembebanan31

Gambar 4.5 Perbandingan Besar Supply Daya Reaktif.....32

Gambar 4.6 Perbandingan Besar Total Pembebanan32

Gambar 4.7 Perbandingan Besar Total Rugi-rugi Daya Sesuai Kombinasi Switch dengan Kondisi Awal.....33

Gambar 4.8 Perbandingan Besar Total Rugi-rugi Daya Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi.....33

Gambar 5.1 Sistem Jaringan Distribusi IEEE 30 Bus Setelah di Rekonfigurasi35





DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Kombinasi Switch Pada Running Ke - 1.....39

Lampiran 2. Hasil Kombinasi Switch Pada Running Ke - 2.....41

Lampiran 3. Hasil Kombinasi Switch Pada Running Ke - 3.....42

Lampiran 4. Hasil Kombinasi Switch Pada Running Ke - 4.....45

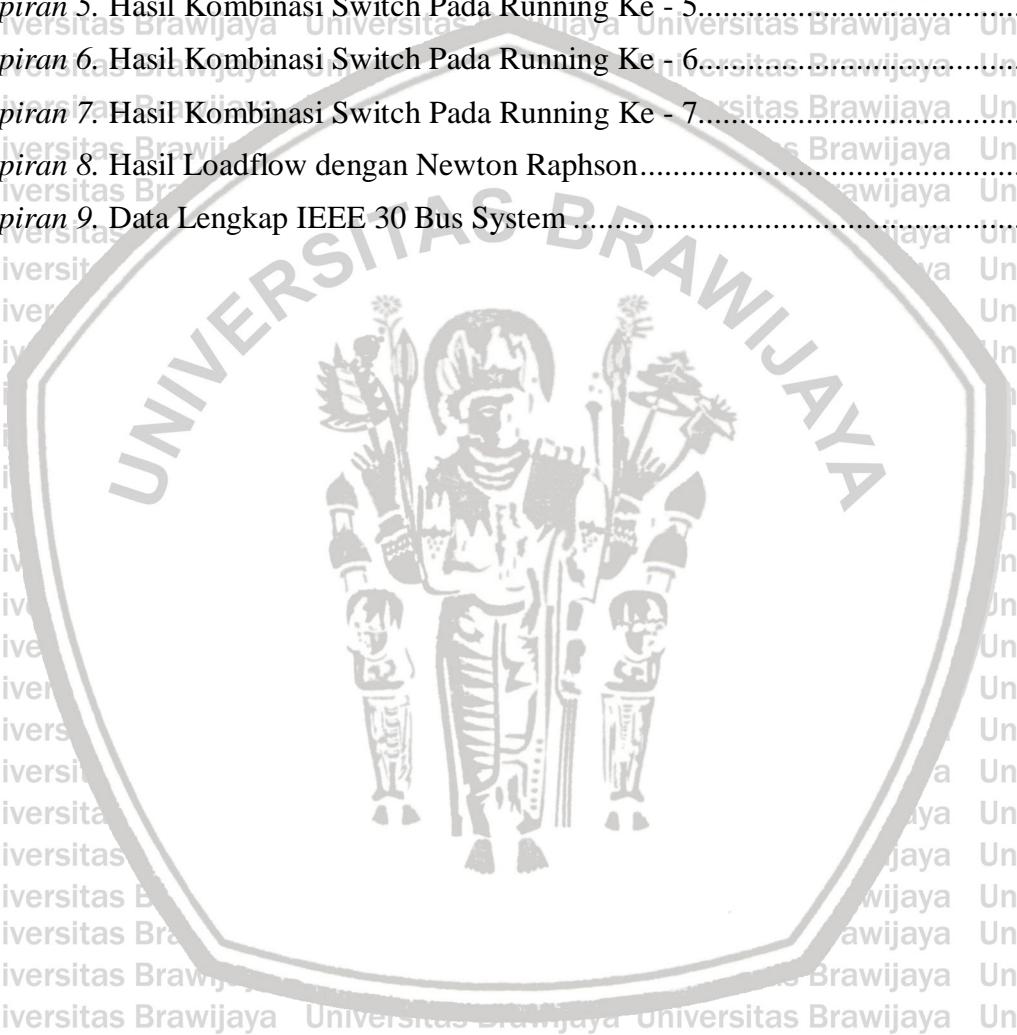
Lampiran 5. Hasil Kombinasi Switch Pada Running Ke - 5.....46

Lampiran 6. Hasil Kombinasi Switch Pada Running Ke - 6.....49

Lampiran 7. Hasil Kombinasi Switch Pada Running Ke - 7.....50

Lampiran 8. Hasil Loadflow dengan Newton Raphson.....52

Lampiran 9. Data Lengkap IEEE 30 Bus System.....54





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu energi yang sangat dibutuhkan dan sangat bermanfaat bagi manusia, karena pemakaiannya yang praktis untuk kehidupan manusia sehari-hari. Seperti yang kita tahu, energi listrik yang mengalir ke rumah-rumah penduduk telah melewati beberapa proses penting seperti pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Bagian distribusi adalah bagian penting yang letaknya paling dekat dengan konsumen.

Berkembangnya populasi penduduk sebanding dengan peningkatan konsumsi energi listrik. Perkembangan populasi penduduk yang pesat pada tempat-tempat tertentu mengakibatkan tidak meratanya populasi, sehingga menyebabkan struktur jaringan awal untuk menyalurkan energi listrik mengalami perubahan. Arus yang mengalir pada saluran listrik semakin besar dikarenakan konsumsi daya listrik yang meningkat. Akibatnya rugi-rugi saluran yang terjadi juga semakin besar. Oleh karena itu harus dilakukan suatu usaha yang dapat mengurangi rugi-rugi daya. Salah satu cara untuk mengurangi rugi-rugi jaringan adalah dengan melakukan rekonfigurasi jaringan (Pabla, 1994: 12).

Seiring dengan perkembangan teknologi komunikasi dan pemrosesan data akhir-akhir ini, peralatan-peralatan jaringan distribusi listrik telah memasuki era baru yaitu otomatisasi jaringan distribusi (*Distribution Otomatization*), yaitu operasional jaringan distribusi dilakukan dari satu tempat yang bisa mengendalikan semua peralatan pada jaringan distribusi, termasuk di dalamnya adalah rekonfigurasi jaringan distribusi.

Dalam penelitian ini menggunakan data sekunder yang merupakan data yang diambil dari *Institute of Electrical and Electronics Engineering* yaitu IEEE 30 bus. Dan rekonfigurasi jaringan diformulasikan sebagai fungsi optimisasi multiobjektif (*Multiobjective Optimization Function*) yang dicari solusinya menggunakan teknik algoritma genetika. Dan dalam penelitian ini akan membandingkan hasil rugi-rugi daya sebelum dan sesudah dilakukan rekonfigurasi jaringan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, maka rumusan masalah yang dapat dibahas dalam penelitian ini adalah:

- 1) Berapa rugi-rugi daya pada IEEE 30 bus sistem jaringan distribusi tegangan menengah sebelum dilakukan rekonfigurasi jaringan.
- 2) Berapa rugi-rugi daya pada IEEE 30 bus sistem jaringan distribusi tegangan menengah setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan.

1.3 Tujuan Penelitian

Dari latar belakang tersebut, maka rumus masalah yang dapat dibahas dalam penelitian ini adalah:

- 1) Untuk membandingkan besarnya rugi-rugi daya sebelum dan sesudah dilakukan rekonfigurasi jaringan distribusi tegangan menengah.
- 2) Untuk meminimalkan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi tegangan menengah.

1.4 Batasan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Analisis dilakukan menggunakan data sekunder pada sistem jaringan distribusi tegangan menengah.
- 2) Analisis digunakan untuk menghitung rugi-rugi teknis saluran, diluar rugi-rugi daya akibat pencurian dan rugi-rugi non teknis lainnya.
- 3) Analisis dilakukan dengan menggunakan data sekunder yang diambil dari *Institute of Electrical and Electronics Engineering* yaitu IEEE 30 bus (Sumber : *Communication and Control in Electric Power Systems: Application of Parallel and Distributed Processing*, Shahidehpour, 2003).
- 4) Analisis ditekankan hanya pada penurunan rugi-rugi daya.
- 5) Tidak membahas pembangkitan, gangguan, keandalan, dan nilai ekonomis pada jaringan.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian ini terdiri dari lima bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisiskan tentang latar belakang, rumusan masalah, manfaat dan tujuan penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisi tentang hasil dari studi pustaka yang akan digunakan sebagai pedoman dasar dalam penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metode yang digunakan meliputi studi literatur, pengambilan data, perhitungan, prosedur simulasi, dan analisis.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang analisis dan perhitungan hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu perbandingan rugi-rugi daya sebelum dan sesudah rekonfigurasi pada saluran distribusi tegangan menengah.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian ini dan juga saran yang diberikan dari hasil pengujian.





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Dalam pengertian umum sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga komponen utama, yaitu: stasiun pembangkit, sistem transmisi, dan sistem distribusi (Stevenson, 1993:1).

Stasiun pembangkit tenaga listrik merupakan suatu pusat/sumber pembangkit energi listrik yang diperoleh dari proses perubahan energi mekanik atau sumber energi bukan listrik menjadi energi listrik dengan melalui suatu media tertentu (contoh : turbin, motor bakar, dsb). Dilihat dari sumber energi primernya (energi mekanik atau sumber energi bukan listrik), pusat pembangkit tenaga listrik dibagi menjadi berbagai macam, diantaranya : pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga uan (PLTU), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN), dan lain-lain (Mismail, 1982: 5).

Untuk mengirimkan tenaga listrik yang berasal dari pusat pembangkit ke sistem distribusi, diperlukan suatu saluran yang disebut saluran transmisi. Selain sebagai pengirim tenaga listrik, saluran transmisi juga berfungsi sebagai sarana penghubung (interkoneksi) antara beberapa stasiun pembangkit (Mismail, 1982: 5).

Pada pendistribusian tenaga listrik yang berasal dari saluran transmisi sampai pada pelanggan, secara terperinci dimulai dari gardu induk, sub-sistem transmisi, gardu distribusi, jaringan distribusi primer, trafo distribusi, jaringan distribusi sekunder, dan beban/pelanggan. Bagian-bagian tersebut itulah yang merupakan komponen-komponen sistem distribusi (Mismail, 1982: 6).

Sesuai dengan fungsinya, komponen-komponen sistem distribusi dapat dijelaskan sebagai berikut (Suhadi, 2008: 55):

a. Gardu Induk

Gardu induk adalah komponen sistem distribusi yang berfungsi sebagai penerima tenaga listrik dari saluran transmisi dan menurunkan tegangan menjadi tegangan sub transmisi (Suhadi, 2008: 55).

b. Sistem sub-transmisi

Sistem sub-transmisi adalah jaringan yang menyalurkan tenaga listrik yang berasal dari gardu induk dan meneruskannya ke gardu distribusi (Suhadi, 2008: 56).

c. Gardu distribusi

Gardu distribusi adalah komponen sistem distribusi yang berfungsi sebagai penerima tenaga listrik yang berasal dari jaringan sub-transmisi, dan menurunkan tegangan menjadi tegangan jaringan distribusi primer (Suhadi, 2008: 56).

d. Jaringan distribusi primer

Jaringan distribusi primer adalah jaringan yang berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke trafo distribusi (Suhadi, 2008: 56).

e. Trafo distribusi

Trafo distribusi adalah komponen sistem distribusi yang berfungsi menurunkan tegangan listrik yang berasal dari tegangan jaringan distribusi primer ke tegangan yang dipergunakan oleh pelanggan (Suhadi, 2008: 56).

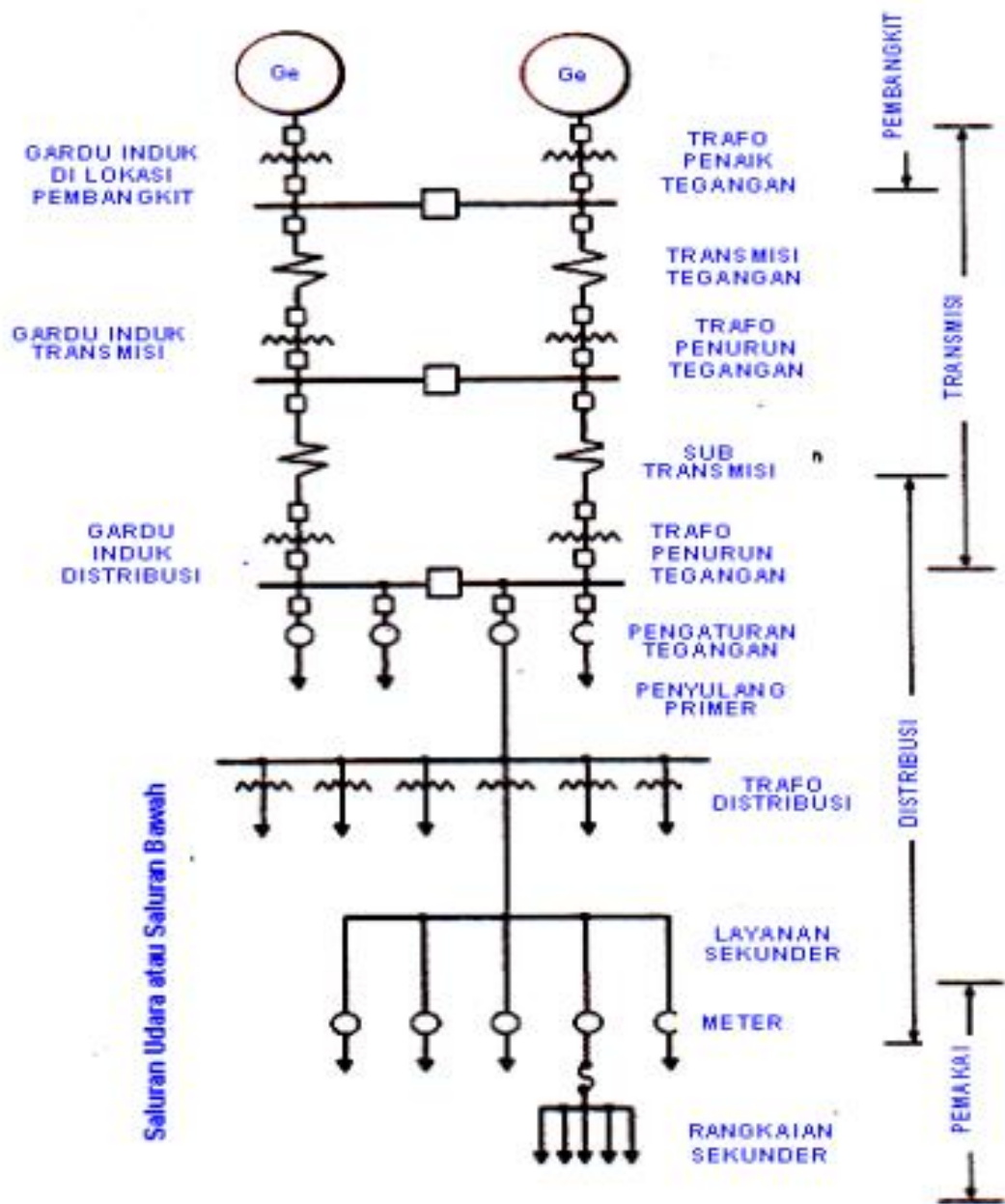
f. Jaringan distribusi sekunder

Jaringan distribusi sekunder adalah jaringan yang menyalurkan tenaga listrik dari trafo distribusi ke beban/pelanggan (Suhadi, 2008: 57).

g. Beban/pelanggan

Beban/pelanggan listrik adalah setiap individu atau kelompok yang memanfaatkan energi listrik untuk memenuhi kebutuhannya. Termasuk dalam kelompok ini adalah pelanggan rumah tangga, pelanggan usaha, pelanggan sosial, dan pelanggan industri (Suhadi, 2008: 57).

Adapun gambaran sistem distribusi tenaga listrik secara lengkap dapat dilihat pada gambar berikut ini (Suhadi, 2008: 57):



Gambar 2.1 Pengelompokan jaringan distribusi tenaga listrik
 Sumber: Teknik Distribusi Tenaga Listrik, Suhadi, 2008: 57.

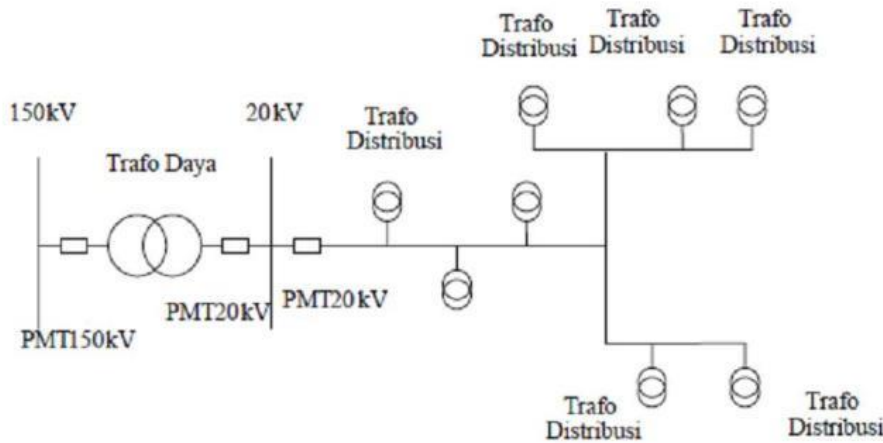
2.2. Tipe Jaringan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Ada beberapa bentuk jaringan distribusi primer yang umum digunakan untuk mendistribusikan tenaga listrik, yaitu: tipe radial, tipe loop, dan tipe grid/mesh (Lentino, 2015: 10).



2.2.1. Tipe Radial

Salah satu bentuk paling sederhana dan paling umum dari saluran distribusi primer (penyulang) adalah tipe radial (Lentino, 2015: 10).



Konfigurasi Jaringan Radial

Gambar 2.2 Tipe Jaringan Radial

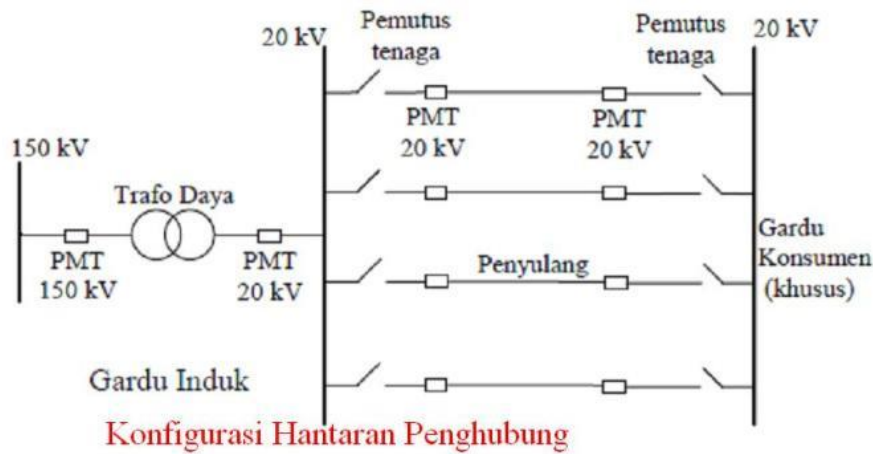
Sumber : Jaringan Distribusi Perumahan, Lentino, 2015: 10.

Penyulang utama (*main feeder*) bercabang menjadi beberapa cabang (*lateral*) yang kemudian menjadi beberapa subcabang (*sublateral*) untuk mensuplai trafo distribusi. Nilai arus terbesar pada konduktor yang meninggalkan gardu induk (sisi hulu). Kemudian nilai arus semakin kecil pada cabang dan subcabang karena itu ukuran penampang konduktor biasanya juga semakin kecil (Lentino, 2015: 11).

Penyulang tipe radial memiliki tingkat keandalan yang rendah. Gangguan pada sembarang lokasi pada penyulang tipe radial mengakibatkan pemadaman pada seluruh pelanggan/konsumen kecuali jika gangguan dapat dilokalisir oleh *fuse*, *sectionalizer*, *disconnecting switch*, atau *recloser* (Lentino, 2015: 11).

2.2.2. Tipe Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

Sistem distribusi *Tie Line* seperti Gambar di bawah ini digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lainlain). Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch, setiap penyulangterkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lain (Lentino, 2015: 12).



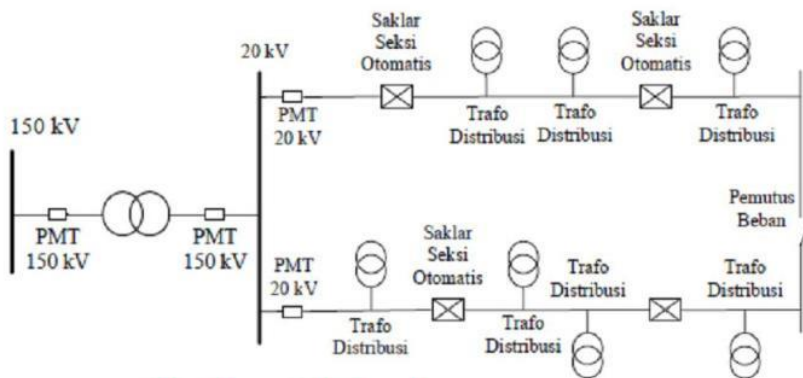
Konfigurasi Hantaran Penghubung

Gambar 2.3 Tipe Jaringan Hantaran Penghubung (Tie Line)

Sumber : Jaringan Distribusi Perumahan, Lentino, 2015: 12.

2.2.3. Tipe Loop

Tipe ini merupakan jaringan distribusi primer, gabungan dari dua tipe jaringan radial dimana ujung kedua jaringan dipasang PMT. Pada keadaan normal tipe ini bekerja secara radial dan pada saat terjadi gangguan PMT dapat dioperasikan sehingga gangguan dapat terlokalisasi. Tipe ini lebih handal dalam penyaluran tenaga listrik dibandingkan tipe radial namun biaya investasi lebih mahal (Lentino, 2015: 12).



Konfigurasi Jaringan Loop

Gambar 2.4 Tipe Jaringan Loop

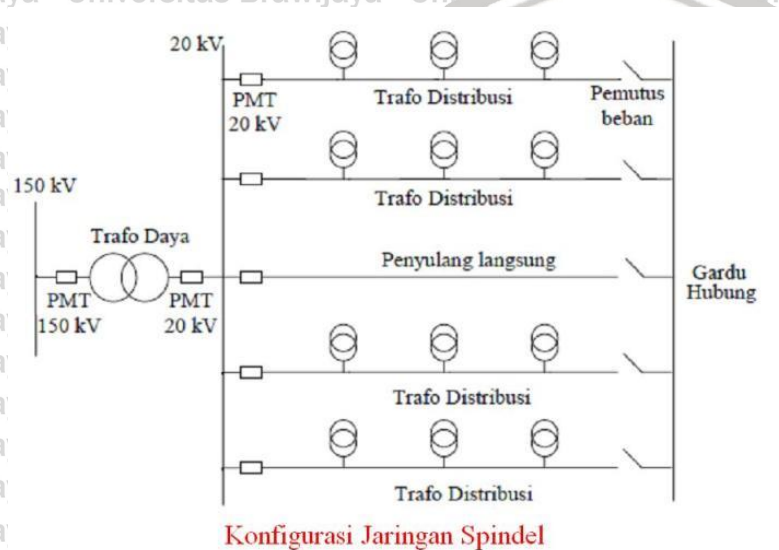
Sumber : Jaringan Distribusi Perumahan, Lentino, 2015: 13.

2.2.4. Tipe Spindel

Sistem Spindel seperti pada Gambar di bawah ini adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola Radial dan Ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (feeder) yang

tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH) (Lentino, 2015: 13)

Pada sebuah spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (express) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola Spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Namun pada pengoperasiannya, sistem Spindel berfungsi sebagai sistem Radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM) (Lentino, 2015: 13).



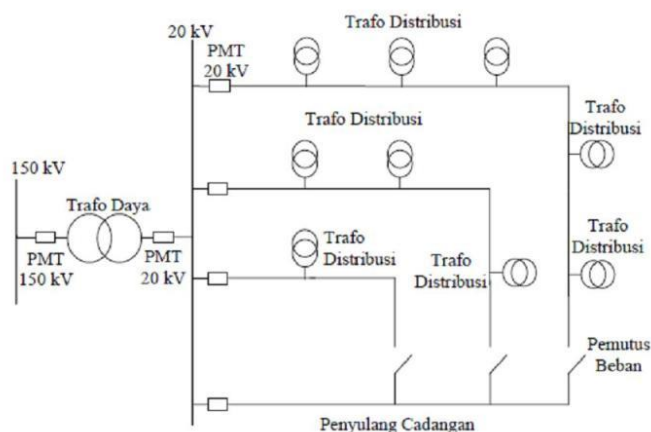
Gambar 2.5 Tipe Jaringan Spindel

Sumber : Jaringan Distribusi Perumahan, Lentino, 2015: 14.

2.2.5. Tipe Kluster

Konfigurasi Gugus seperti pada Gambar di bawah ini banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban, dan penyulang cadangan. Dimana penyulang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai kekonsumen (Lentino, 2015: 15).





Konfigurasi Jaringan Kluster

Gambar 2.6 Tipe Jaringan Kluster

Sumber : Jaringan Distribusi Perumahan, Lentino, 2015: 16.

2.3. Peralatan Jaringan

Peralatan jaringan merupakan suatu komponen-komponen jaringan yang berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik. Pada bagian ini, komponen-komponen jaringan meliputi penghantar saluran, trafo distribusi, dan saklar saluran (Pabla, 1994: 70).

a. Penghantar saluran

Pada umunya ditribusi tenaga listrik menggunakan saluran kawat udara dan hampir seluruh komponen jaringan yang digunakan adalah komponen 20 kV (Pabla, 1994: 70).

b. Trafo distribusi

Trafo distribusi ada 2 macam, yaitu trafo CSP dan trafo non CSP. Trafo CSP adalah trafo yang dilengkapi dengan peralatan pengaman yang menjadi satu unit dengan trafonya, sedangkan trafo non CSP adalah trafo yang tidak dilengkapi dengan peralatan pengaman yang menjadi satu unit dengan trafonya (Pabla, 1994: 70).

c. Saklar saluran (*line switch*)

Saklar saluran adalah komponen jaringan yang digunakan untuk membatasi daerah/jaringan yang mengalami pemadaman akibat gangguan. Saklar saluran juga berfungsi sebagai penghubung antara saluran yang satu dengan yang lain pada persoalan pemindahan beban. karena berdasarkan fungsinya, saklar saluran dapat berfungsi sebagai *normally closed switch* dan *normally open switch*. Macam-macam saklar saluran antara lain : *vacum switch*, *automatic vacum switch*, *air break switch*, dan *load break switch* (Pabla, 1994: 71).



2.4. Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya merupakan analisa yang dilakukan terhadap system dimana dari analisa tersebut akan didapat daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari suatu system pembangkit dalam hal ini pembangkit merupakan sumber ataupun penerima hingga sampai kepada beban atau sisi penerima. Suatu system yang ideal adalah dimana daya yang kirim oleh si penerima akan sama hasilnya dengan daya yang diterima oleh beban. Namun pada kenyataannya, daya yang dikirim oleh sumber tidak akan sama dengan daya yang diterima beban. Hal ini di sebabkan beberapa faktor yaitu (Stevenson, 1993: 20):

1. Panjang saluran distribusi
2. Impedansi saluran distribusi
3. Tipe beban dan jumlah beban pada saluran distribusi

2.4.1. Analisis Aliran Daya dengan Metode Newton-Raphson

Pada tahap awal, dilakukan penomoran bus terhadap sistem yang akan dianalisis. Bus-bus yang terhubung dengan generator diberi nomor terlebih dahulu setelah itu penomoran bus dilanjutkan pada bus-bus beban, bus yang memiliki kapasitas pembangkit terbesar dipilih sebagai sebagai slack bus dan diberi nomor 1 (satu), Untuk bus yang lain yang terhubung ke generator diberi nomor 2 (dua) sebagai bus pembangkit dan bus beban diberi nomor 0 (nol) (Afrianita, 2007: 27).

Menyusun data tentang sistem yang akan dianalisis yang meliputi data resistansi, reaktansi dan kapasitansi antara saluran, data tapping transformator, data beban terjadwal, data pembangkitan, asumsi awal magnitude tegangan dan sudut phasa tegangan bus.

Perhitungan dimulai dengan membentuk impedansi jaringan (Z_{ij}) dengan rumus (Afrianita, 2007: 20):

$$Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij}$$

Dimana

Z_{ij} = Impedansi jaringan antara bus i dan bus j

R_{ij} = Resistansi jaringan antara bus i dan bus j

jX_{ij} = Reaktansi jaringan antara bus i dan bus j

Kemudian impedansi jaringan dikonversi ke admitansi jaringan

$$Y_{ij} = Yr_{ij} + jYx_{ij}$$

Dimana

$$Yr_{ij} = \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}$$

$$Yx_{ij} = \frac{X_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}$$

Selanjutnya matrik admitansi bus Y dibentuk dengan komponen-komponen yang terdiri atas admitansi jaringan, kapasitansi saluran dan perubahan tapping transformator. Kemudian matrik admitansi bus Y yang terbentuk dalam bentuk rectangular dirubah ke dalam bentuk polar. Dimana sebelumnya matrik admitansi bus Y tersebut dipisahkan menjadi komponen matrik G dan matrik B. Daya terjadwal yang ada pada setiap bus dihitung dengan rumus (Afrianita, 2007: 28)

$$P_i^{jd} = P_{Gi} - P_{Li}$$

$$Q_i^{jd} = Q_{Gi} - Q_{Li}$$

Dimana

- P_i^{jd} = Daya aktif terjadwal
- Q_i^{jd} = Daya reaktif terjadwal
- P_{Gi} = Daya aktif pembangkitan
- Q_{Gi} = Daya reaktif pembangkitan
- P_{Li} = Daya aktif beban
- Q_{Li} = Daya reaktif beban

Dalam proses iterasi dicari daya terhitung dengan rumus (Afrianita, 2007: 28)

$$P_i - jQ_i = \sum_{n=1}^N |V_i V_n Y_{in}| \angle (\theta_{in} + \delta_n - \delta_i)$$

Jadi

$$P_i = \sum_{n=1}^N |V_i V_n Y_{in}| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i)$$

Dan

$$Q_i = -\sum_{n=1}^N |V_i V_n Y_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i)$$

Dimana

- P_i = Daya aktif terhitung pada bus i
- Q_i = Daya reaktif terhitung pada bus i
- V_i, θ_i = Magnitude tegangan dan sudut fasa pada bus i
- V_j, θ_j = Magnitude tegangan dan sudut fasa pada bus j
- Y_{in}, θ_{in} = Magnitude dan sudut fasa elemen matrik admitansi Y

Mismatch daya dihitung dengan persamaan dibawah ini (Afrianita, 2007: 28)

$$\Delta P_i = P_i^{jd} - P_i^{hit}$$

$$\Delta Q_i = Q_i^{jd} - Q_i^{hit}$$

Dimana

ΔP_i = Mismatch daya aktif bus ke I

ΔQ_i = Mismatch daya reaktif bus ke I

Setelah Mismatch daya dihitung maka selanjutnya membentuk matrik Jacobian

(Afrianita, 2007: 28)

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial P_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & & & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial P_n}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial P_n}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & & & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial Q_n}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial Q_n}{\partial |V_n|} \end{bmatrix}$$

Matrik Jacobian ini terdiri dari 4 submatrik yaitu submatrik H, N, J, dan L. Untuk

submatrik H dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Stevenson, 1993: 28)

Untuk komponen *off* diagonal (Afrianita, 2007: 28)

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

Untuk komponen diagonal (Afrianita, 2007: 28)

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = \sum_{n=1}^N |V_i V_n Y_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i)$$

Untuk komponen diagonal dengan membandingkan pada persamaan Q_i^{hit} diperoleh

persamaan sebagai berikut (Stevenson, 1993: 28)

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -Q_i |V_i|^2 B_{ii}$$

Untuk submatrik J dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Stevenson, 1993: 28)

Untuk komponen *off* diagonal (Stevenson, 1993: 28)

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

Untuk komponen diagonal (Afrianita, 2007: 28)

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = \sum_{n=1}^N |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) = \sum_{n=1}^N \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_n}$$

Untuk komponen diagonal J dengan membandingkan pada persamaan P_i^{hit} diperoleh

persamaan sebagai berikut (Afrianita, 2007: 28)

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = P_i |V_i|^2 G_{ii}$$

Untuk submatrik N dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Afrianita, 2007: 28)

Untuk komponen *off* diagonal (Afrianita, 2007: 28)

$$|V_j| \frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_j| |V_i Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

Untuk komponen diagonal (Afrianita, 2007: 28)

$$|V_i| \frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} + 2|V_i|^2 G_{ii} = P_i - |V_i|^2 G_{ii}$$

Untuk submatrik L dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Afrianita, 2007: 29)

Untuk komponen *off* diagonal (Afrianita, 2007: 29)

$$|V_j| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_j| |V_i Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j}$$

Untuk komponen diagonal (Afrianita, 2007: 29)

$$|V_i| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} - 2|V_i|^2 B_{ii} = Q_i - |V_i|^2 B_{ii}$$

Dimana

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} \text{ dan } \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = \text{Elemen dari submatrik H}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} \text{ dan } \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \text{Elemen dari submatrik J}$$

$$|V_j| \frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} \text{ dan } |V_i| \frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = \text{Elemen dari submatrik N}$$

$$|V_j| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} \text{ dan } |V_i| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = \text{Elemen dari submatrik L}$$

$$V_i, \delta_i = \text{Magnitude tegangan dan sudut fasa tegangan pada bus } i$$

$$V_j, \delta_j = \text{Magnitude tegangan dan sudut fasa tegangan pada bus } j$$

$$Q_i, P_i = \text{Daya reaktif dan daya aktif pada bus } i$$

$$Y_{in}, \theta_{in} = \text{Magnitude dan sudut fasa admitansi pada bus } i \text{ sampai bus } n$$

$$G_{ii}, B_{ii} = \text{Konduktansi dan suseptansi bus ke } i$$

Setelah diperolehnya harga dari masing-masing elemen pada submatrik Jacobian maka selanjutnya dibentuk matrik Jacobian dengan menggabungkan keempat submatrik Jacobian

tersebut sehingga terbentuk rumus umum untuk menghitung aliran daya dengan metode Newton Raphson (Afrianita, 2007: 29):

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \frac{\Delta |V|}{|V|} \end{bmatrix}$$

Selanjutnya matrik Jacobian yang terbentuk diinvers dengan menggunakan metode dekomposisi LU dan kemudian sudut fasa dan magnitude tegangan tiap bus yang baru dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Afrianita, 2007: 29)

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \frac{\Delta |V|}{|V|} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}$$

Atau

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta_2 \\ \vdots \\ \Delta\delta_n \\ \frac{\Delta|V_2|}{|V_2|} \\ \vdots \\ \frac{\Delta|V_n|}{|V_n|} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial P_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial P_n}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial P_n}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial Q_n}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial Q_n}{\partial |V_n|} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix}$$

Hasil perkalian yang diperoleh selanjutnya dipisah-pisah menjadi bagian $\Delta\delta_i$ dan $\frac{\Delta|V_i|}{|V_i|}$

kemudian (Afrianita, 2007: 29)

$$\begin{aligned} \Delta\delta_i^{(k+1)} &= \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \\ |V_i|^{(k+1)} &= |V_i|^{(k)} + \Delta|V_i|^{(k)} \\ &= |V_i|^{(k)} \left(1 + \frac{\Delta|V_i|^{(k)}}{|V_i|^{(k)}} \right) \end{aligned}$$

Dimana

$\Delta\delta_i$ = Perubahan sudut fasa tegangan bus i

$\Delta|V_i|$ = Perubahan magnitudo tegangan bus i

Perbedaan nilai sudut fasa dan magnitudo tegangan tiap bus antara yang lama dengan yang baru selanjutnya dibandingkan dengan nilai ketelitian yang telah ditentukan, jika nilai ketelitian belum tercapai maka iterasi diulangi dari awal sampai ketelitian terpenuhi dan konvergensi tercapai (Afrianita, 2007: 29).

Daya pada Slack Bus selanjutnya dihitung setelah konvergensi tercapai. Adapun rumus yang digunakan adalah (Afrianita, 2007: 29)

$$\begin{aligned} P_i &= \sum_{n=1}^N |V_i V_n Y_{in}| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \\ Q_i &= - \sum_{n=1}^N |V_i V_n Y_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \end{aligned}$$

Dimana

P_i = Daya aktif pada Slack bus

Q_i = Daya reaktif pada Slack bus

Selain itu pula daya reaktif pada Bus PV (Bus Pembangkit) juga dihitung setelah konvergensi tercapai, adapun rumus yang digunakan adalah (Afrianita, 2007: 30)

$$Q_i = - \sum_{n=1}^N |V_i V_n Y_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i)$$

Dimana

Q_i = Daya reaktif pada Bus Pembangkit I

Aliran daya antara bus dihitung dengan menggunakan rumus (Afrianita, 2007: 30)

$$S_{ij} = V_i (V_{ij}^* Y_{ij}^* + V_i^* Y_{cij}^*)$$

Atau

$$P_{ij} - jQ_{ij} = V_i^* (V_i - V_j) Y_{ij} + V_i^* V_i Y_{cij}$$

Dimana

S_{ij} = Aliran daya kompleks dari bus i ke bus j

P_{ij} = Aliran daya aktif dari bus i ke bus j

Q_{ij} = Aliran daya reaktif dari bus i ke bus j

V_i = Vektor tegangan di bus i

V_j = Vektor tegangan di bus j

V_{ij} = Vektor tegangan antara bus i dan bus j

Y_{ij} = Admitansi antara bus i dan bus j

Y_{cij} = Admitansi line charging antara bus i dan bus j

Rugi-rugi daya antar bus dihitung dengan menggunakan rumus (Afrianita, 2007: 30)

$$S_{ij}(\text{losses}) = S_{ij} + S_{ji}$$

Dimana

$S_{ij}(\text{losses})$ = Rugi Daya kompleks dari bus i ke bus j

S_{ij} = Daya kompleks dari bus i ke bus j

S_{ji} = Daya kompleks dari bus j ke bus i

2.5. Algoritma Genetika

Algoritma genetika adalah suatu teknik pencarian dan optimasi yang didasarkan pada prinsip genetika dan seleksi alam. Dalam algoritma genetika untuk menghasilkan suatu solusi optimal, pencarian dilakukan diantara sejumlah alternatif titik optimal berdasarkan fungsi probabilistik. Istilah-istilah yang digunakan pada algoritma genetika mengadopsi istilah dari dunia biologi. Dalam algoritma genetika, kumpulan dari solusi yang menghasilkan nilai optimum disebut dengan populasi. Populasi terdiri atas kromosom, yaitu solusi yang masih berbentuk symbol (Chambers, 1999: 39).

Hal-hal yang perlu dilakukan dalam algoritma genetika adalah (Chambers, 1999: 39):

1. Mendefinisikan individu, dimana individu menyatakan salah satu solusi (penyelesaian) yang mungkin dari permasalahan yang diangkat.
2. Mendefinisikan nilai fitness, yang merupakan ukuran baik tidaknya sebuah individu atau baik tidaknya solusi yang didapatkan.

3. Menentukan proses pembangkitan populasi awal. Hal ini biasanya dilakukan dengan menggunakan pembangkitan acak seperti random-walk.
4. Menentukan proses seleksi yang akan digunakan.
5. Menentukan proses perkawinan silang (crossover) dan mutasi gen yang akan digunakan.

2.5.1. Representasi Solusi

Pada algoritma genetika, suatu solusi disebut sebagai kromosom. Pada dasarnya, algoritma genetika bekerja dengan kromosom yang berbentuk bilangan biner. Akan tetapi kromosom masih bisa menggunakan bentuk karakter lain dengan menggunakan dekoder dan enkoder kromosom dalam bentuk biner (Chambers, 1999: 40).

2.5.2. Populasi Awal

Populasi adalah sekumpulan kromosom. Populasi awal harus dirumuskan terlebih dahulu sebelum memulai algoritma genetika. Populasi awal bisa dibuat secara random atau menggunakan algoritma tertentu untuk menghasilkan solusi, atau dengan melibatkan solusi yang telah disusun sebelumnya. Sangat mungkin untuk menggunakan kombinasi dari tiga metode tersebut secara bersamaan, dengan meningkatnya keragaman dari solusi maka semakin memberikan kesempatan untuk memperoleh solusi yang terbaik (Chambers, 1999: 40).

2.5.3. Fungsi *Fitness*

Untuk mengetahui seberapa baik solusi yang diperoleh, maka perlu dirumuskan fungsi *fitness*. Fungsi ini mengambil satu solusi sebagai parameter dan memberikan umpan balik berupa suatu nilai yang merupakan ukuran dari baik atau tidaknya suatu solusi. Nilai yang diumpan balikkan dapat bertipe bilangan bulat atau nyata dan memiliki *range* berapapun. Jadi pencarian solusi pada algoritma genetika dikontrol oleh fungsi *fitness* (Chambers, 1999: 40).

2.5.4. Seleksi

Setiap generasi harus menghasilkan suatu solusi baru dari populasi yang sudah ditentukan. Untuk mencari solusi yang terbaik dalam suatu generasi maka harus dilakukan seleksi. Ada beberapa metode seleksi, yaitu (Haupt, 2004: 120):

1. *Roulette Wheel*. Anggap suatu solusi menempati potongan dari *roulette wheel*. Solusi yang lebih baik menempati wilayah yang lebih luas dari solusi yang lain, sehingga memiliki kemungkinan yang lebih besar untuk dipilih. Jika diinginkan untuk memilih dua solusi, maka *roulette wheel* diputar dua kali. Kemudian dua solusi yang telah terpilih diambil dari *roulette wheel* sebelum mencari solusi yang berikutnya (Haupt, 2004: 120).

2. *Tournament Selection*. Dialakukan dengan cara mengambil dua atau lebih solusi secara acak dengan menggunakan turnamen dimana sejumlah babak dimainkan. Pada setiap babak, beberapa solusi diambil untuk berkompetisi dengan solusi yang lain. Solusi dengan nilai *fitness* terbaik akan terpilih (Haupt, 2004: 120).

3. *Elitism*. Pada metode ini, individu yang memiliki nilai *fitness* paling baik dalam suatu generasi dipertahankan untuk kemudian diikuti dalam proses selanjutnya (Haupt, 2004: 120).

2.5.5. Operator Rekombinasi dan Mutasi

Setelah beberapa solusi terbaik dari suatu individu dipilih, maka perlu dilakukan rekombinasi dari solusi-solusi tersebut dengan tujuan untuk mendapatkan solusi baru yang lebih baik. Proses ini dikenal sebagai operator rekombinasi. Operator mutasi merubah suatu solusi baru secara acak dengan tujuan mempertahankan keragaman dalam populasi dan menghasilkan suatu solusi yang tidak didapatkan melalui operator rekombinasi (Chambers, 1999: 41).

2.5.5.1. Operator Crossover (Perkawinan Silang)

Operator perkawinan silang akan memilih dua kromosom sebagai kromosom induk. Kromosom induk ini kemudian dikawinkan silang sehingga menghasilkan kromosom anak. Bentuk operator perkawinan silang yang umum adalah one-point, two-point, n-point, dan uniform (Chambers, 1999: 42).

Pada operator one-point crossover, titik persilangan dipilih secara random sebanyak satu buah pada kromosom induk. Kemudian bagian dari kromosom induk ditukar dengan induk yang lain pada titik persilangan (Chambers, 1999: 42).

Induk 1 : 1234|5678

Induk 2 : 8765|4321

Jika dilakukan persilangan pada titik tengah panjang kromosom seperti yang ditunjukkan pada kromosom induk 1 dan induk 2, maka akan menghasilkan 2 buah kromosom anak (Chambers, 1999: 42).

Anak 1 : 12344321

Anak 2 : 87655678

Two-point crossover sama seperti one-point crossover, tetapi dipilih dua buah titik persilangan. Begitu juga dengan n-point crossover yang menggunakan n titik persilangan (Chambers, 1999: 42).

Uniform crossover memilih sejumlah x titik pada kromosom, dimana x adalah bilangan random yang kurang dari panjang kromosom. Masing-masing titik yang terpilih pada kromosom induk ditukar dengan kromosom induk yang lainnya (Chambers, 1999: 42).

2.5.5.2. Mutasi

Suatu kromosom anak yang dihasilkan harus mempunyai informasi genetik dari kromosom induk. Pada dasarnya, pengkopian DNA dapat menghasilkan kesalahan, DNA juga mudah rusak sehingga dapat menghasilkan kesalahan atau mutasi. Kesalahan atau mutasi ini terkadang dapat menjadi suatu kelebihan. Sehingga mutasi pada DNA memegang peranan penting dalam suatu evolusi. Apabila kromosom berbentuk bilangan biner, maka mutasi dilakukan dengan cara mengganti nilai dari salah satu bagian kromosom yang semula satu menjadi nol dan sebaliknya (Chambers, 1999: 43).

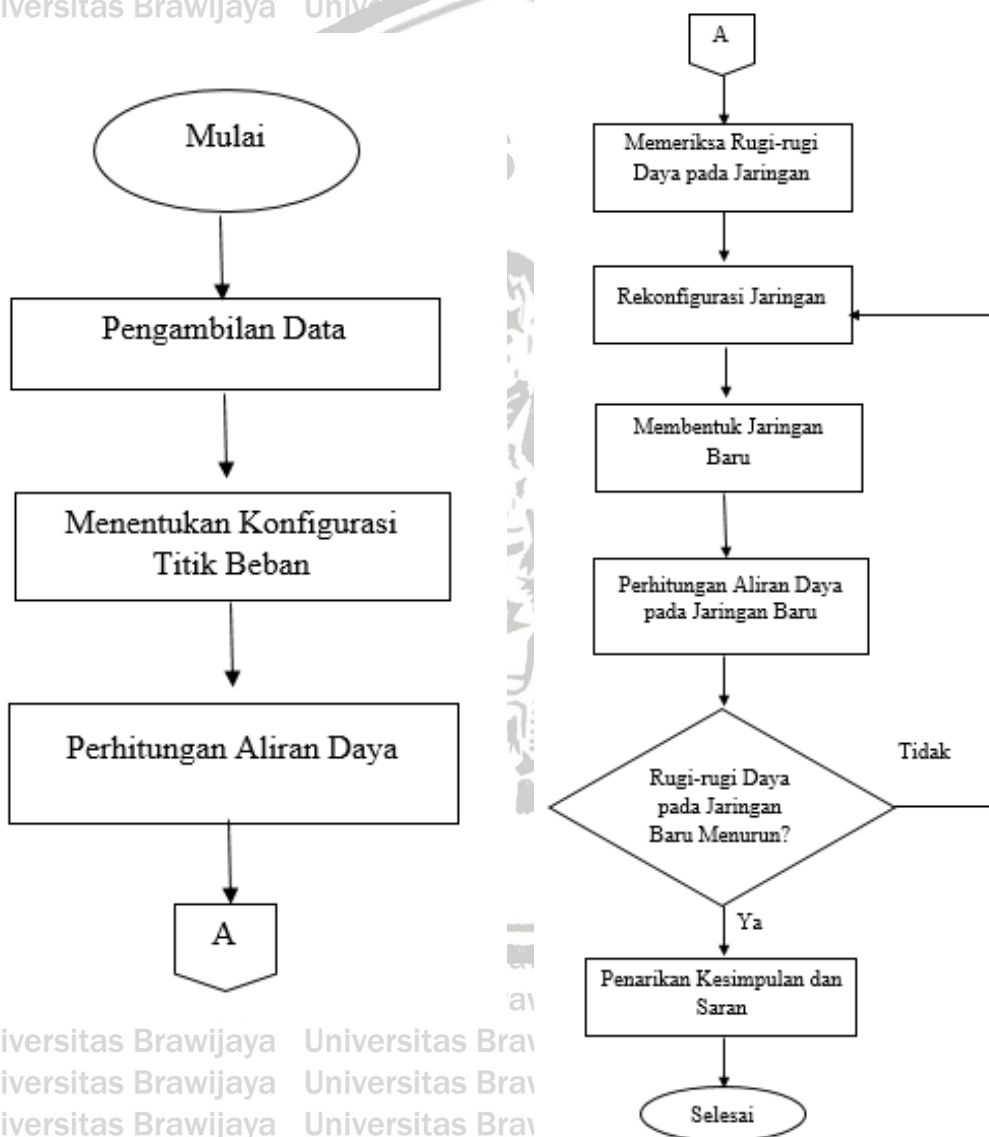


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang akan digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir berikut ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Sumber : Penulis, 2018.



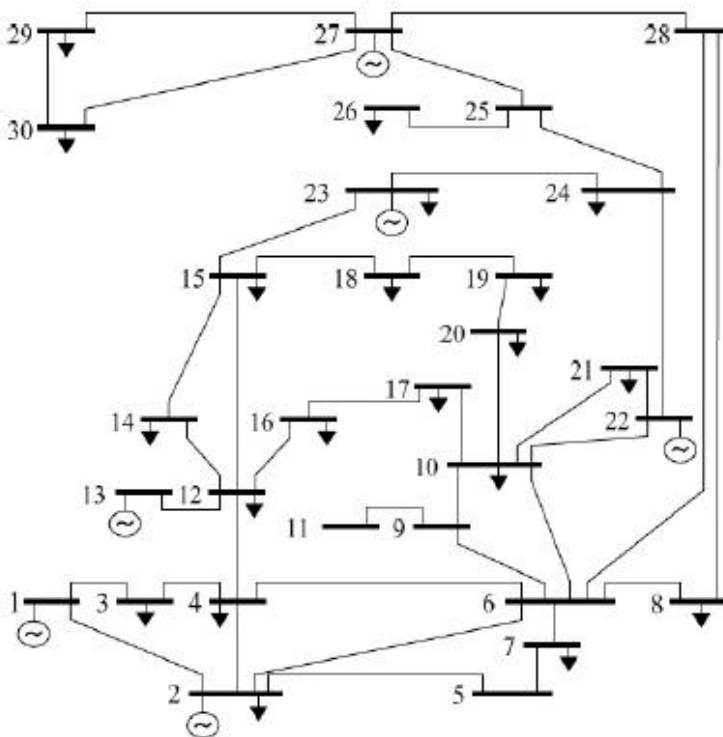
3.2. Pengambilan Data

Data yang digunakan adalah data sekunder yang didapatkan dari *Institute of Electrical and Electronics Engineering* :

1. Single line diagram IEEE 30 bus.
2. Data resistansi jaringan distribusi IEEE 30 bus.
3. Data reaktansi jaringan distribusi IEEE 30 bus.
4. Data daya nyata jaringan distribusi IEEE 30 bus.
5. Data daya reaktif jaringan distribusi IEEE 30 bus.

3.3. Penentuan Konfigurasi Titik Beban (*Load Point*)

Penentuan jumlah dan konfigurasi titik beban (*load point*) ditentukan berdasarkan single line diagram pada penyulang. Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data jaringan distribusi IEEE 30 bus yang mempunyai 30 bus, 41 cabang, dan 20 titik beban.



Gambar 3.2 Konfigurasi Titik Beban

Sumber : *Communication and Control in Electric Power Systems: Application of Parallel and Distributed Processing*, Shahidehpour, 2003.

3.4. Perhitungan Aliran Daya dan Rugi-rugi Daya Jaringan

Perhitungan aliran daya dilakukan dengan menggunakan software MATLAB untuk mendapatkan hasil dari rugi-rugi daya pada jaringan.

3.5. Rekonfigurasi Jaringan

Dalam penelitian ini rekonfigurasi jaringan dilakukan dengan metode algoritma genetika. Adapun langkah-langkah rekonfigurasi jaringan adalah sebagai berikut :

1. Merumuskan fungsi fitness, penentuan jumlah variabel, menentukan parameter algoritma genetika.
2. Merumuskan kemungkinan solusi (populasi). Populasi yang digunakan adalah populasi dalam bentuk bilangan biner.
3. Dekode kromosom (kondisi saluran NO/NC) dalam bentuk bilangan biner. Saluran yang terhubung ke penyulang memiliki kode biner 1, dan saluran yang tidak terhubung ke penyulang memiliki kode biner 0.
4. Menghitung nilai bobot solusi (cost) dari tiap solusi (kromosom).
5. Kawin silang kromosom dengan cara menukar satu atau beberapa bit dari induk.
6. Mutasi dengan cara merubah salah satu atau beberapa bit dari kromosom yang semula bernilai 0 menjadi 1 dan sebaliknya.
7. Cek apakah stoping criteria telah tercapai.

3.6. Penarikan Kesimpulan dan Saran

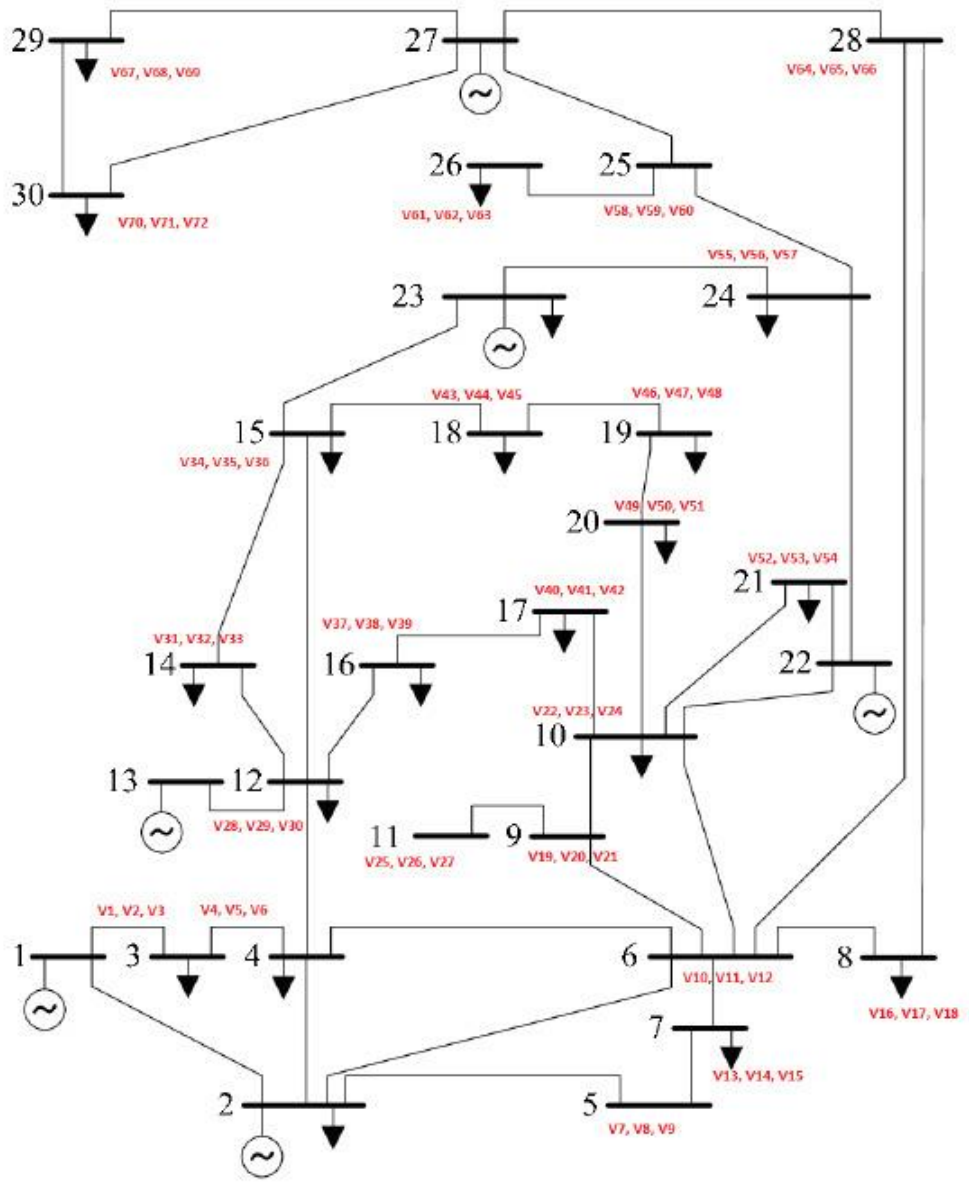
Dari analisis dan pembahasan dapat ditarik suatu kesimpulan yang merupakan intisari dan penulisan skripsi ini dan disertakan pula saran dari penulis untuk mengembangkan penelitian ke depan yang terkait dengan topik yang dibahas dan menemukan solusi dari permasalahan tersebut.

BAB IV

SIMULASI DAN ANALISIS

4.1. Data Sistem Jaringan Distribusi IEEE 30 Bus

Sistem awal yang akan diuji adalah sistem distribusi IEEE 30 bus yang terdiri dari 30 bus dan 41 cabang. Berikut adalah gambar jaringan beserta data jaringan dari sistem distribusi IEEE 30 bus.



Gambar 4.1 Sistem Jaringan Distribusi IEEE 30 Bus

Sumber : *Communication and Control in Electric Power Systems: Application of Parallel and Distributed Processing*, Shahidehpour, 2003.

Tabel 4.1
Data Jaringan Distribusi IEEE 30 Bus

Line No.	From Bus	To Bus	Line Impedance		Half Line Charging Susceptance (p.u.)	MVA Rating
			Resistance (p.u.)	Reactance (p.u.)		
1	1	2	0,0192	0,0575	0,0264	130
2	1	3	0,0452	0,1652	0,0204	130
3	2	4	0,0570	0,1737	0,0184	65
4	3	4	0,0132	0,0379	0,0042	130
5	2	5	0,0472	0,1983	0,0209	130
6	2	6	0,0581	0,1763	0,0187	65
7	4	6	0,0119	0,0414	0,0045	90
8	5	7	0,0460	0,1160	0,0102	70
9	6	7	0,0267	0,0820	0,0085	130
10	6	8	0,0120	0,0420	0,0045	32
11	6	9	0,0000	0,2080	0,0000	65
12	6	10	0,0000	0,5560	0,0000	32
13	9	11	0,0000	0,2080	0,0000	65
14	9	10	0,0000	0,1100	0,0000	65
15	4	12	0,0000	0,2560	0,0000	65
16	12	13	0,0000	0,1400	0,0000	65
17	12	14	0,1231	0,2559	0,0000	32
18	12	15	0,0662	0,1304	0,0000	32
19	12	16	0,0945	0,1987	0,0000	16
20	14	15	0,2210	0,1997	0,0000	16
21	16	17	0,0524	0,1923	0,0000	16
22	15	18	0,1073	0,2185	0,0000	16
23	18	19	0,0639	0,1292	0,0000	16
24	19	20	0,0340	0,0680	0,0000	16
25	10	20	0,0936	0,2090	0,0000	32
26	10	17	0,0324	0,0845	0,0000	32
27	10	21	0,0348	0,0749	0,0000	32
28	10	22	0,0727	0,1499	0,0000	32
29	21	22	0,0116	0,0236	0,0000	32
30	15	23	0,1000	0,2020	0,0000	16
31	22	24	0,1150	0,1790	0,0000	16
32	23	24	0,1320	0,2700	0,0000	16
33	24	25	0,1885	0,3292	0,0000	16
34	25	26	0,2544	0,3800	0,0000	16
35	25	27	0,1093	0,2087	0,0000	16
36	28	27	0,0000	0,3960	0,0000	65
37	27	29	0,2198	0,4153	0,0000	16
38	27	30	0,3202	0,6027	0,0000	16

39	29	30	0,2399	0,4533	0,0000	26
40	8	28	0,0636	0,2000	0,0214	32
41	6	28	0,0169	0,0599	0,0065	32

Sumber : *Communication and Control in Electric Power Systems: Application of Parallel and Distributed Processing*, Shahidehpour, 2003.

4.2. Simulasi dengan Matlab

Simulasi sistem jaringan distribusi yang akan diuji menggunakan metode Algoritma Genetika dimaksudkan untuk mencari konfigurasi jaringan distribusi yang menghasilkan rugi-rugi daya paling minimum. Dalam tugas akhir ini setiap cabang dimisalkan sebagai *switch* dimana Algoritma Genetika akan mencari letak *switch* yang sesuai dan diletakkan 5 *switch* dengan kombinasi *open/close* yang juga ditentukan oleh Algoritma Genetika. Rugi-rugi daya didapat dari perhitungan *load flow* dengan menggunakan metode *Newton Raphson*.

Dalam tugas akhir ini dilakukan dua perbandingan kondisi yaitu kondisi awal dan kondisi setelah dilakukan rekonfigurasi menggunakan Algoritma Genetika. Hal ini dilakukan untuk mengetahui penurunan rugi-rugi daya yang terjadi jika dilakukan rekonfigurasi pada sistem distribusi.

Untuk kondisi awal, pada kondisi ini 5 *switch* yang dipilih adalah *switch* pada saluran antara bus 29 dan bus 30, saluran antara bus 12 dan 15, saluran antara bus 6 dan bus 28, saluran antara bus 8 dan bus 28, dan saluran antara bus 4 dan bus 6. Hal ini dikarenakan jika saluran antara kedua bus terputus oleh *open/close switch* maka bus yang bersangkutan bebannya akan tetap disuplai oleh sumber karena masih terhubung dengan bus lainnya.

Sedangkan untuk kondisi setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan distribusi menggunakan Algoritma Genetika akan dicari kombinasi *open/close* setiap *switch*. Setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan menggunakan Algoritma Genetika maka akan didapatkan rugi-rugi daya minimum.

4.2.1 Analisis Aliran Daya Kondisi Awal

Hasil *running* program aliran daya berdasarkan data jaringan distribusi IEEE 30 bus diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada lampiran 1. Aliran daya menunjukkan bahwa pada bus 1 mengalir 282,1970 MW dan 347,0750 MVAR. Hal ini menunjukkan besar *supply* daya aktif dan daya reaktif dari slack bus 1. Sedangkan total pembebanan adalah 233,2800 MW dan 131,2600 MVAR

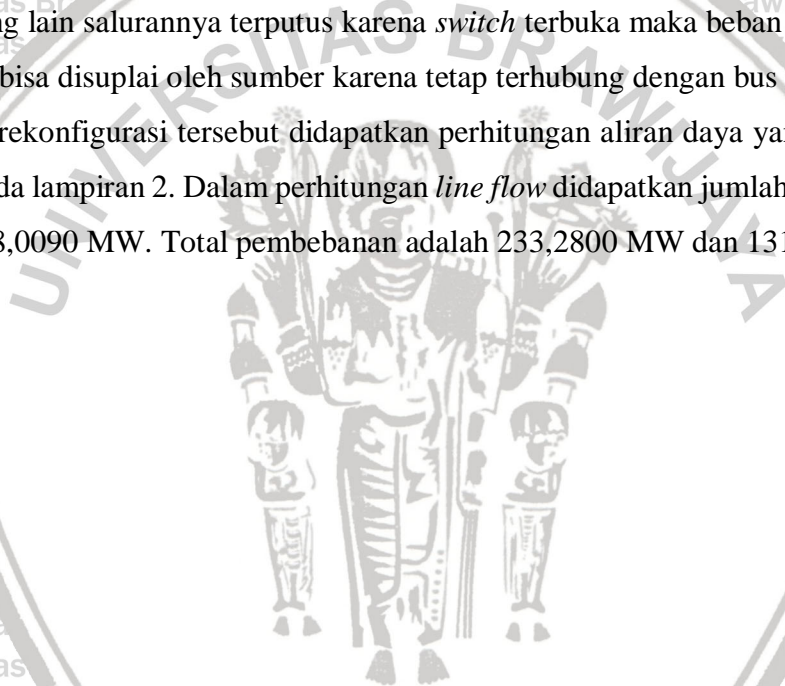
Dalam perhitungan *line flow* didapatkan jumlah rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif sebesar 48,9170 MW dan 215,8150 MVAR. Untuk tegangan bus minimum pada jaringan sebesar 0,4496 p.u.

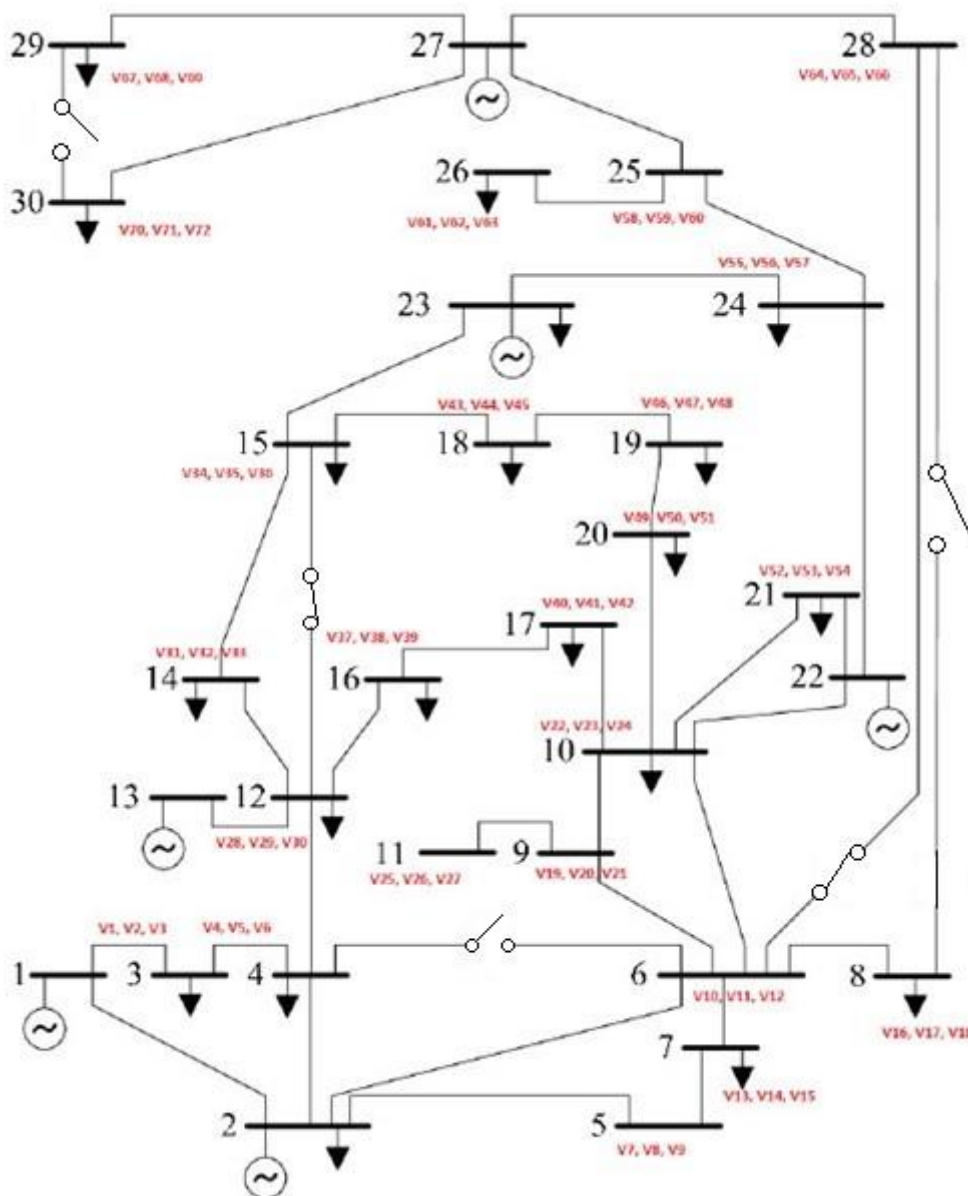
4.2.2 Analisis Aliran Daya Kondisi Setelah Rekonfigurasi

Dari hasil *running* program Algoritma Genetika didapatkan beberapa konfigurasi baru *open/close switch* yang menghasilkan rugi-rugi daya minimum dimana konfigurasi yang menghasilkan rugi-rugi daya terkecil diantara konfigurasi lainnya adalah saluran antara bus 4 dan bus 6 dengan kondisi *switch* terbuka, saluran antara bus 8 dan bus 28 dengan kondisi *switch* terbuka, saluran antara bus 6 dan bus 28 dengan kondisi *switch* tertutup, saluran antara bus 12 dan 15 dengan kondisi *switch* tertutup, dan saluran antara bus 29 dan bus 30 dengan kondisi *switch* terbuka.

Dalam penelitian ini diambil 7 kombinasi *open/close switch* karena pada *running* program Algoritma Genetika dari *running* ke-1 sampai *running* ke-7 hasil rugi-rugi dayanya telah menurun secara signifikan. Syarat pemilihan letak *switch* ini adalah apabila antara satu bus dengan yang lain salurannya terputus karena *switch* terbuka maka beban dari kedua bus tersebut masih bisa disuplai oleh sumber karena tetap terhubung dengan bus lainnya.

Dari hasil rekonfigurasi tersebut didapatkan perhitungan aliran daya yang baru seperti ditunjukkan pada lampiran 2. Dalam perhitungan *line flow* didapatkan jumlah rugi-rugi daya aktif sebesar 48,0090 MW. Total pembebanan adalah 233,2800 MW dan 131,2600 MVAR





Gambar 4.2 Sistem Jaringan Distribusi IEEE 30 Bus Setelah di Rekonfigurasi

Sumber : Penulis, 2018.

4.2.3 Analisis Data

Dari hasil percobaan diketahui bahwa besarnya total daya yang disupply slack bus 1 berbeda untuk konfigurasi jaringan yang berbeda. Total rugi-rugi daya yang dihasilkan juga berbeda di setiap konfigurasi. Perbedaan ini bisa ditunjukkan dalam tabel 4.3 dan tabel 4.4

Tabel 4. 2
Kombinasi Switch dan Hasil Rugi-rugi Daya

Running ke-	Kombinasi Switch					Rugi-rugi Daya Total (KW)
	Bus 4-6	Bus 8-28	Bus 6-28	Bus 12-15	Bus 29-30	
1	Open	Close	Close	Open	Close	149,0524
2	Close	Close	Close	Open	Close	211,5958
3	Open	Open	Close	Close	Close	168,6054
4	Open	Close	Open	Close	Close	121,5120
5	Open	Open	Close	Close	Open	48,0090
6	Close	Close	Open	Close	Close	60,7590
7	Close	Close	Close	Close	Close	255,5204

Sumber : Hasil Perhitungan, 2018.

Tabel 4. 3
Perbandingan Besar Rugi-rugi Daya Aktif

	Kondisi Awal (MW)	Kondisi Setelah Rekonfigurasi dengan Algoritma Genetika (MW)
Supply Daya Aktif	282,1970	281,2890
Total Pemebebanan	233,2800	233,2800
Total Rugi-rugi Daya	48,9170	48,0090

Sumber : Hasil Perhitungan, 2018.

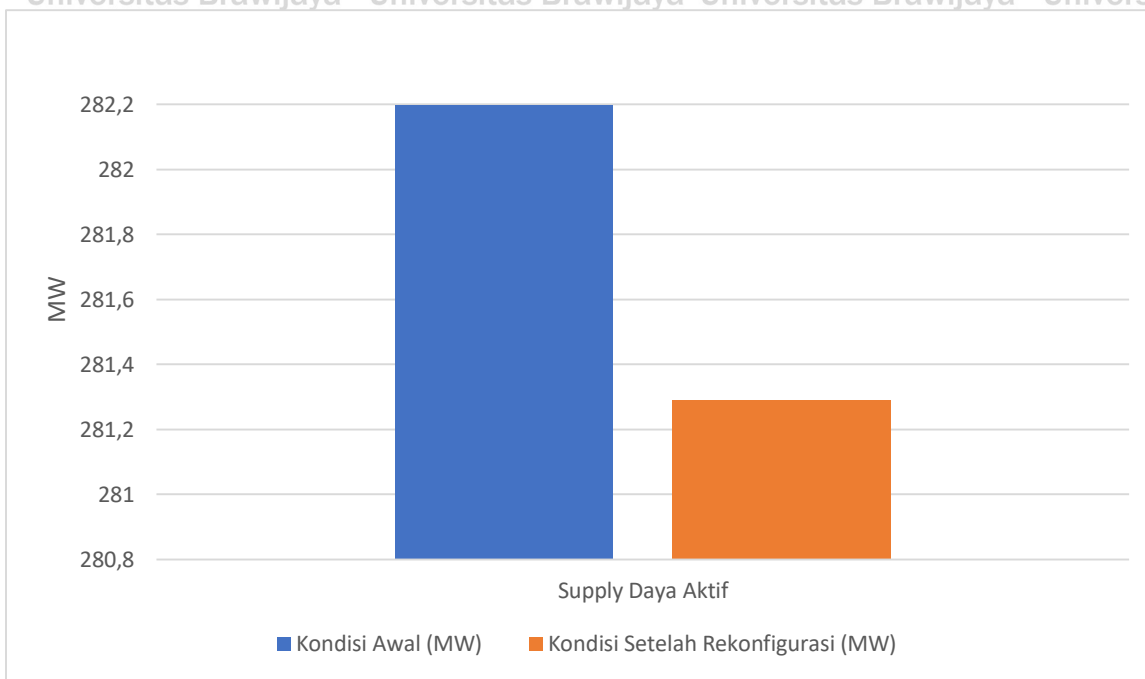
Tabel 4. 4
Perbandingan Besar Rugi-rugi Daya Reaktif

	Kondisi Awal (MVAR)	Kondisi Setelah Rekonfigurasi dengan Algoritma Genetika (MVAR)
Supply Daya Reaktif	347,0750	344,7120
Total Pemebebanan	131,2600	131,2600
Total Rugi-rugi Daya	215,8150	213,4520

Sumber : Hasil Perhitungan, 2018.

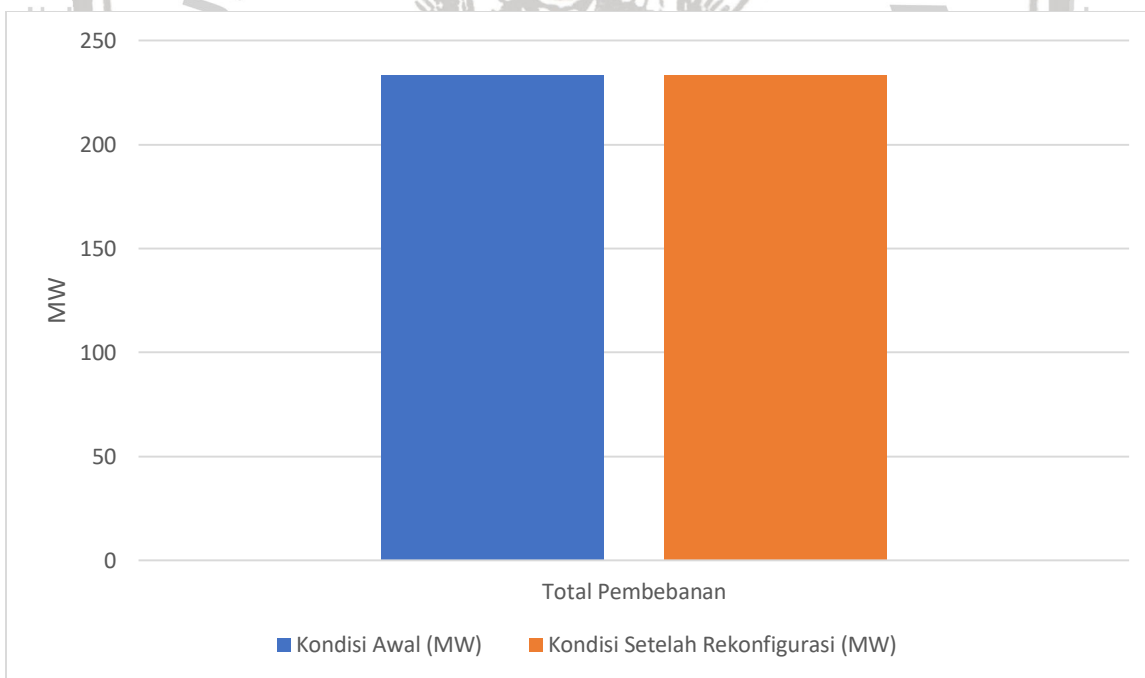
Secara teori dinyatakan bahwa rugi-rugi daya merupakan fungsi kuadrat arus beban, sehingga semakin jauh beban dari supply maka rugi-rugi daya yang terjadi semakin besar, maka dengan melakukan rekonfigurasi jaringan distribusi dapat diperoleh jarak penyaluran daya yang minimum ke masing-masing beban.

Dari hasil konfigurasi baru, hasil pencarian dari Algoritma Genetika, terlihat bahwa terjadi penurunan supply daya dari slack bus 1. Hal ini menunjukkan adanya penghematan daya pada jaringan tersebut atau dapat dikatakan jaringan tersebut menjadi lebih optimum.



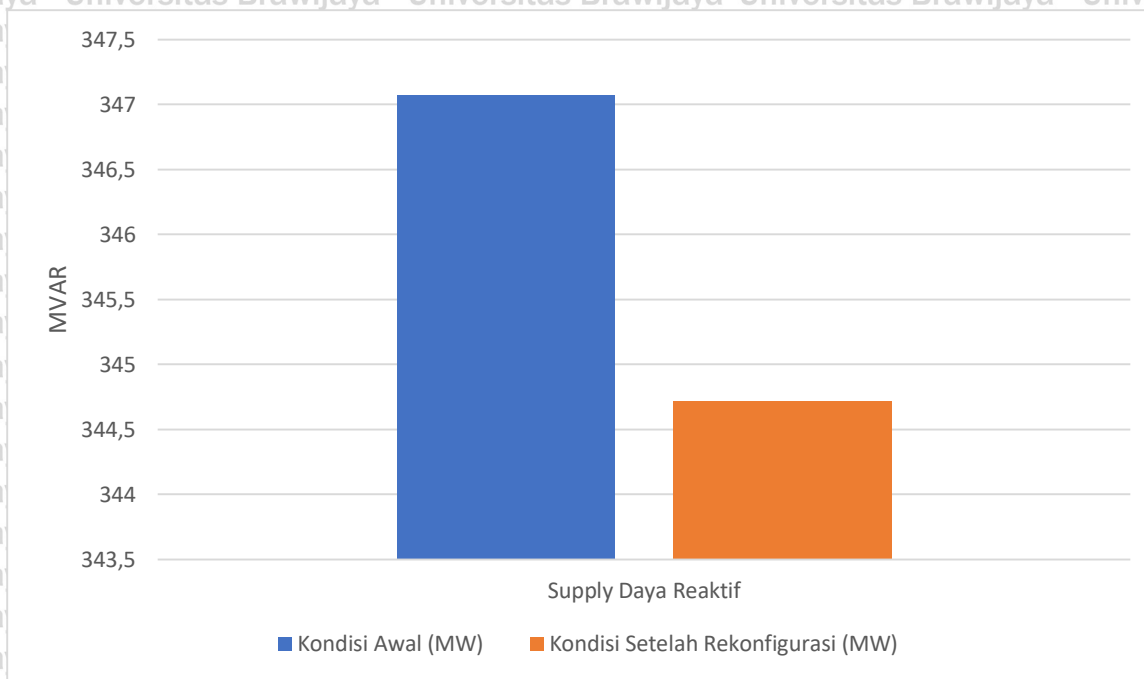
Gambar 4.3 Perbandingan Besar Supply Daya Aktif

Sumber : Hasil Perhitungan, 2018.



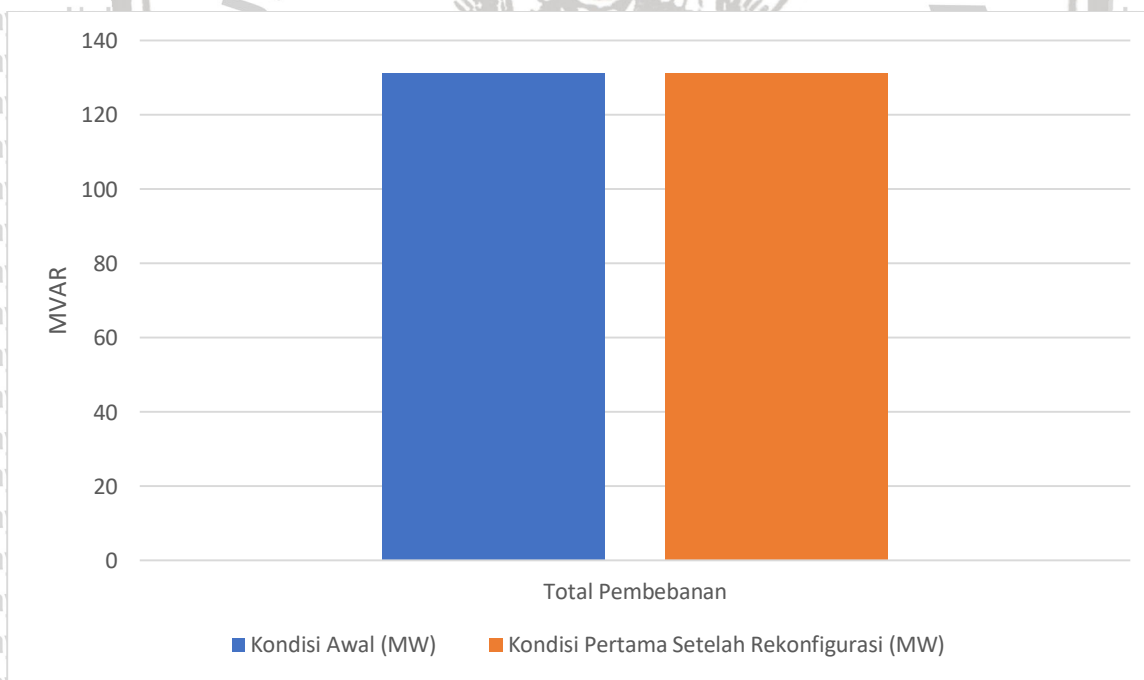
Gambar 4.4 Perbandingan Besar Total Pembebanan

Sumber : Hasil Perhitungan, 2018.



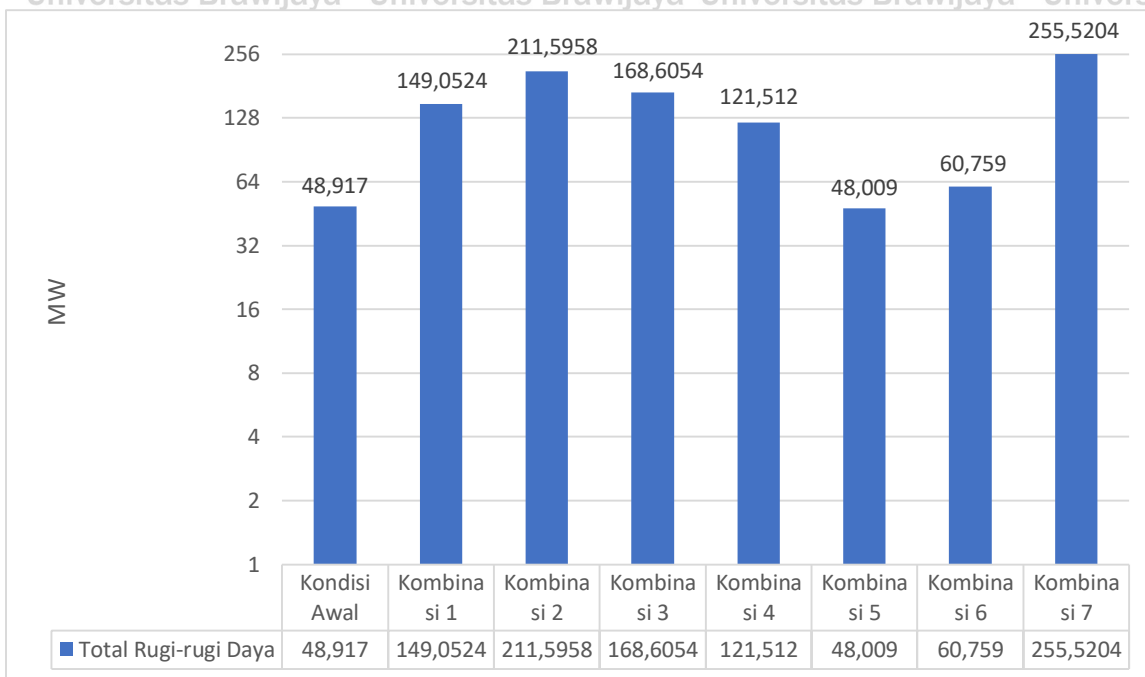
Gambar 4.5 Perbandingan Besar Supply Daya Reaktif

Sumber : Hasil Perhitungan, 2018.



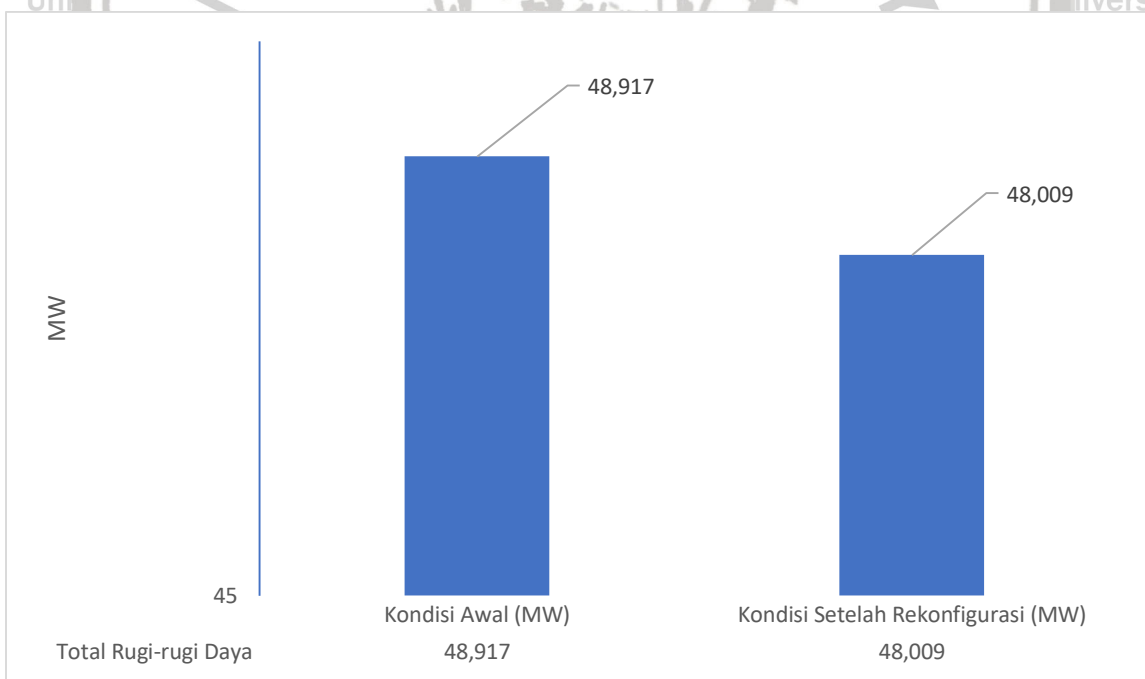
Gambar 4.6 Perbandingan Besar Total Pembebanan

Sumber : Hasil Perhitungan, 2018.



Gambar 4.7 Perbandingan Besar Total Rugi-rugi Daya Sesuai Kombinasi Switch dengan Kondisi Awal

Sumber : Hasil Perhitungan, 2018.



Gambar 4.8 Perbandingan Besar Total Rugi-rugi Daya Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi

Sumber : Hasil Perhitungan, 2018.

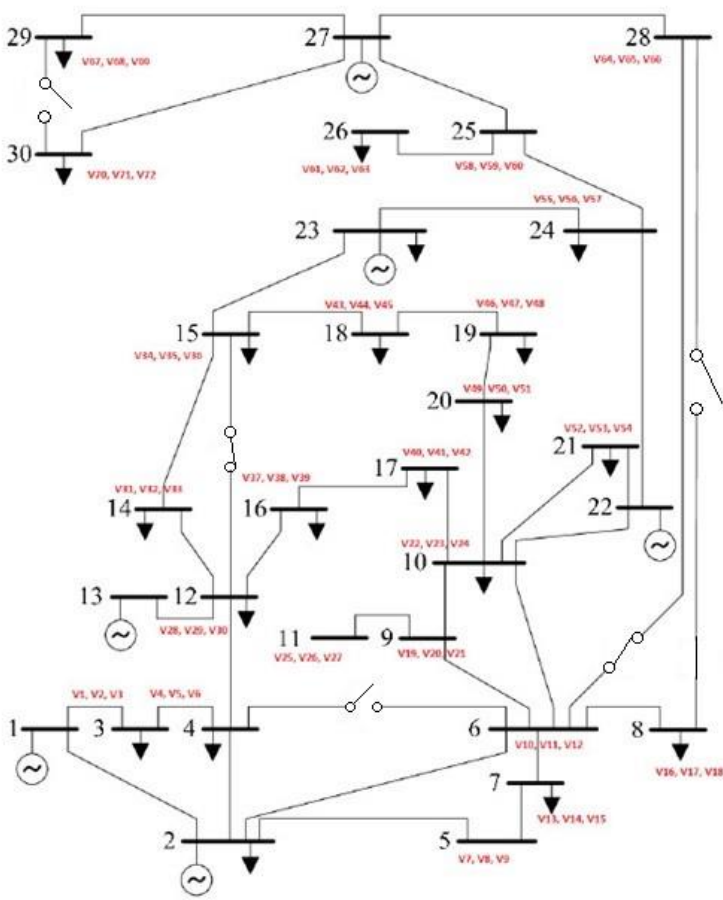


BAB V
PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Rekonfigurasi jaringan distribusi dapat dilakukan dengan tujuan mengurangi rugi-rugi daya total. Secara prinsip, rekonfigurasi merupakan cara untuk meminimumkan jarak antara beban dan suplai daya sehingga didapatkan rugi-rugi daya yang minimum pula.
2. Dari hasil simulasi didapatkan penurunan rugi-rugi daya yang cukup signifikan setelah dilakukannya rekonfigurasi jaringan. Sebelum dilakukannya rekonfigurasi jaringan total rugi-rugi dayanya mencapai 48,9170 MW, sedangkan setelah rekonfigurasi jaringan total rugi-rugi dayanya menjadi 48,0090 MW.



Gambar 5.1 Sistem Jaringan Distribusi IEEE 30 Bus Setelah di Rekonfigurasi

Sumber : Penulis, 2018.



3. Dengan demikian dapat diketahui bahwa metode Algoritma Genetika dapat digunakan sebagai salah satu solusi untuk memecahkan masalah pengoptimalan jaringan, dalam hal ini meminimalkan rugi-rugi daya.

5.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah agar dilakukan pengembangan jaringan yang lebih besar dan kompleks. Penggunaan varian Algoritma Genetika yang lebih baru juga harus dipertimbangkan agar Algoritma Genetika yang diimplementasikan dapat bekerja lebih efektif dan optimal.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

- Afrianita, Reri., Laksono, H.D. (2007). *Studi Aliran Daya Dengan Metoda Newton Raphson*, Padang, Universitas Andalas Padang.
- Chambers, L.D. (1999). *Practical Handbook of Genetic Algorithms Complex Coding System Volume III*, London, CRC Press.
- Haupt, L. Randy., Haupt, Sue Ellen. (2004). *Practical Genetic Algorithm*, Canada, John Willey & Sons, Inc.
- Lentino, Kalvin. (2015). *Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Perumahan Dinas PT. Petrokimia Gresik (Persero) Untuk Meminimalkan Rugi-Rugi Daya*, Malang, Universitas Brawijaya.
- Mismail, Budiono. (1982). *Analisa Sistem Tenaga*, Malang, Lembaga Penerbitan Universitas Brawijaya.
- Pabla, A.S. (1994). *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Jakarta, Erlangga.
- Shahidehpour, Mohammad., Wang, Yaoyu. (2003). *Communication and Control in Electric Power Systems: Application of Parallel and Distributed Processing*, Wiley-IEEE Press.
- Stevenson, William D. (1993). *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Jakarta, Erlangga.
- Suhadi. (2008). *Teknik Distribusi Tenaga Listrik*, Jakarta, Departemen Pendidikan Nasional.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Kombinasi Switch Pada Running Ke - 1

num_line =

41

loses_row =

1.0e+04 *

0.0149

0.0169

0.0169

0.0256

0.0259

0.3847

0.3847

5.7816

loses_row =

1.0e+03 *

0.1491

0.1686

0.1686

0.2555

0.2587

0.3216

5.2220

5.2220

loses_row =

1.0e+03 *

0.1491

0.1686

0.1686

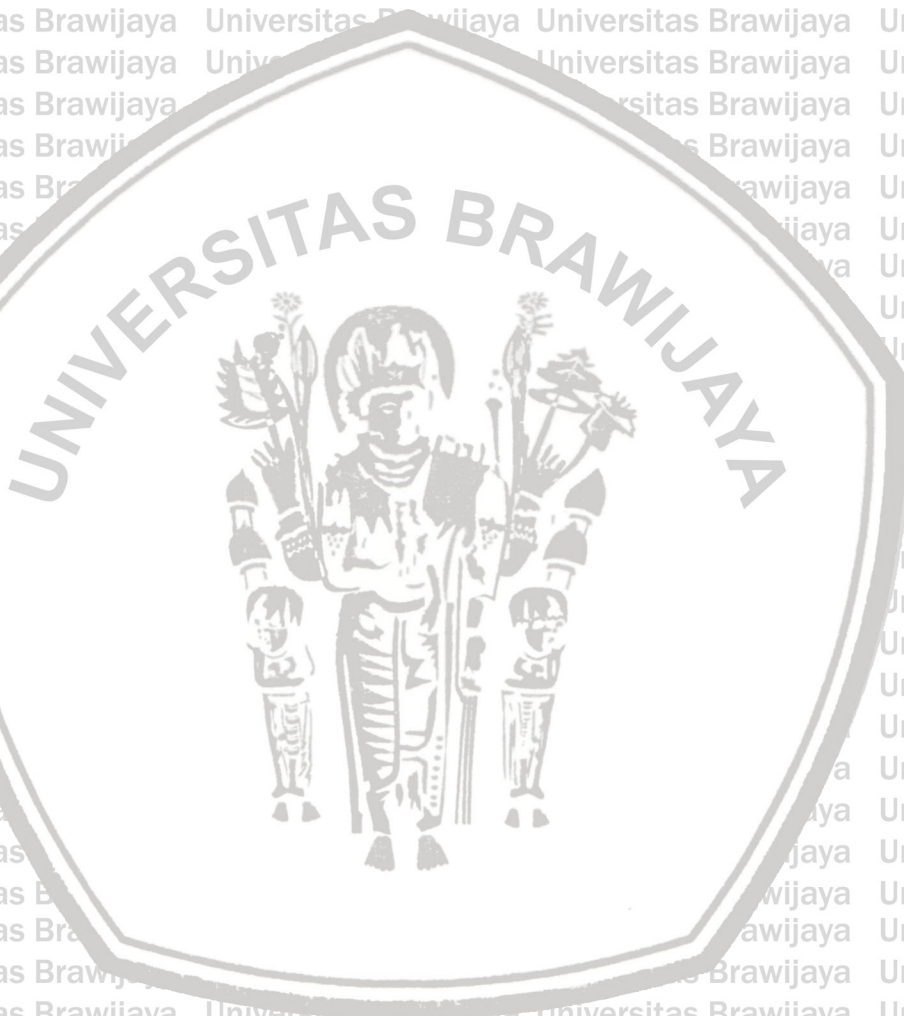
0.2555

0.2587

0.3216

5.2220

5.2220



40

loses_row =

1.0e+03 *

0.1491

0.1686

0.1686

0.2555

0.2587

0.3216

5.2220

5.2220

loses_row =

1.0e+03 *

0.1491

0.1686

0.1686

0.2555

0.2587

0.3216

5.2220

5.2220

loses_row =

1.0e+03 *

0.1491

0.1686

0.1686

0.2555

0.2587

0.3216

5.2220

5.2220

loses_row =

1.0e+03 *

0.1491

0.1686

0.1686

0.2555

0.2587

0.3216

5.2220

5.2220

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Loses Total = 149.0524 MW
 Switch antara bus29 dan bus30 : Terbuka
 Switch antara bus12 dan bus15 : Tertutup
 Switch antara bus6 dan bus28 : Tertutup
 Switch antara bus8 dan bus28 : Terbuka
 Switch antara bus4 dan bus6 : Tertutup

>>

Lampiran 2. Hasil Kombinasi Switch Pada Running Ke - 2

num_line =
 41

loses_row =
 1.0e+04 *
 0.0212
 0.0256
 0.0259
 0.4414
 0.5265
 0.5752
 0.7037
 1.1490

loses_row =
 1.0e+05 *
 0.0021
 0.0026
 0.0026
 0.0026
 0.0419
 0.0731
 0.0779
 3.6234

loses_row =
 1.0e+04 *
 0.0212
 0.0256
 0.0256
 0.0256
 0.0256



42

0.0256
0.0259
1.1202

loses_row =
211.5958
211.5958
255.5204
255.5204
255.5204
255.5204
255.5204
255.5204

loses_row =
211.5958
211.5958
211.5958
211.5958
255.5204
255.5204
255.5204
255.5204

loses_row =
211.5958
211.5958
211.5958
211.5958
211.5958
211.5958
211.5958
211.5958

Loses Total = 211.5958 MW
Switch antara bus29 dan bus30 : Tertutup
Switch antara bus12 dan bus15 : Tertutup
Switch antara bus6 dan bus28 : Tertutup
Switch antara bus8 dan bus28 : Terbuka
Switch antara bus4 dan bus6 : Tertutup

>>

Lampiran 3. Hasil Kombinasi Switch Pada Running Ke - 3

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



num_line =
41

loses_row =
1.0e+04 *
0.0256
0.0259
0.0322
0.3236
0.4191
0.5265
1.1490
1.7204

loses_row =
1.0e+03 *
0.1686
0.2555
0.2587
0.2587
0.2604
0.3216
5.2220
7.3109

loses_row =
1.0e+03 *
0.1686
0.2555
0.2587
0.2587
0.2587
0.2587
5.2220

loses_row =
1.0e+03 *



44

0.1686
0.2555
0.2587
0.2587
0.2587
0.2587
0.2587
0.2587
5.2220

loses_row =
1.0e+03 *

0.1686
0.2555
0.2587
0.2587
0.2587
0.2587
0.2587
0.2587
5.2220

loses_row =
1.0e+03 *

0.1686
0.2555
0.2587
0.2587
0.2587
0.2587
0.2587
0.2587
5.2220

loses_row =
1.0e+03 *

0.1686
0.2555
0.2587
0.2587
0.2587
0.2587
0.2587
5.2220

Loses Total = 168.6054 MW
Switch antara bus29 dan bus30 : Terbuka

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Switch antara bus12 dan bus15 : Terbuka
 Switch antara bus6 dan bus28 : Tertutup
 Switch antara bus8 dan bus28 : Tertutup
 Switch antara bus4 dan bus6 : Tertutup

>>

Lampiran 4. Hasil Kombinasi Switch Pada Running Ke - 4

num_line =

41

loses_row =

1.0e+05 *

0.0026

0.0116

0.0704

0.0704

0.5782

0.6746

3.6234

3.6234

loses_row =

1.0e+03 *

0.1215

0.1491

0.2587

0.3216

5.2649

5.7525

7.0372

7.0372

loses_row =

1.0e+03 *

0.1215

0.1491

0.1491

0.2555

0.2587

0.3216

0.3216

7.0372



```

loses_row =
121.5120
121.5120
149.0524
149.0524
149.0524
149.0524
255.5204
255.5204

```

```

loses_row =
121.5120
121.5120
121.5120
121.5120
149.0524
149.0524
149.0524
149.0524

```

```

loses_row =
121.5120
121.5120
121.5120
121.5120
121.5120
121.5120
121.5120
121.5120

```

Loses Total = 121.512 MW
Switch antara bus29 dan bus30 : Terbuka
Switch antara bus12 dan bus15 : Tertutup
Switch antara bus6 dan bus28 : Terbuka
Switch antara bus8 dan bus28 : Tertutup
Switch antara bus4 dan bus6 : Tertutup

>>

Lampiran 5. Hasil Kombinasi Switch Pada Running Ke - 5

```

num_line =

```



41

loses_row =

1.0e+05 *

0.0006

0.0012

0.0015

0.0017

0.0026

0.0071

0.5782

3.6234

loses_row =

1.0e+03 *

0.0555

0.1215

0.1491

0.1686

0.3216

5.2220

5.2220

5.2649

loses_row =

1.0e+03 *

0.0555

0.1215

0.1491

0.1686

0.3216

5.2220

5.2220

5.2649

loses_row =

1.0e+03 *

0.0555

0.1215

0.1491

0.1686

0.3216

5.2220

5.2220



48

5.2649

loses_row =

1.0e+03 *

0.0555

0.1215

0.1491

0.1686

0.3216

5.2220

5.2220

5.2649

loses_row =

1.0e+03 *

0.0555

0.1215

0.1491

0.1686

0.3216

5.2220

5.2220

5.2649

loses_row =

1.0e+03 *

0.0555

0.1215

0.1491

0.1686

0.3216

5.2220

5.2220

5.2649

Loses Total = 48.0090 MW

Switch antara bus29 dan bus30 : Terbuka

Switch antara bus12 dan bus15 : Terbuka

Switch antara bus6 dan bus28 : Tertutup

Switch antara bus8 dan bus28 : Tertutup

Switch antara bus4 dan bus6 : Terbuka

>>

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 6. Hasil Kombinasi Switch Pada Running Ke - 6

num_line =

41

loses_row =

1.0e+05 *

0.0012

0.0015

0.0026

0.0385

0.0522

0.0526

0.8325

5.9473

loses_row =

1.0e+04 *

0.0061

0.0061

0.0122

0.0149

0.0149

0.0256

0.7311

1.7204

loses_row =

60.7590

60.7590

60.7590

60.7590

121.5120

121.5120

149.0524

149.0524

loses_row =

60.7590

60.7590

60.7590

60.7590



50

60.7590
60.7590
60.7590
60.7590

Loses Total = 60.759 MW

Switch antara bus29 dan bus30 : Tertutup
Switch antara bus12 dan bus15 : Tertutup
Switch antara bus6 dan bus28 : Terbuka
Switch antara bus8 dan bus28 : Tertutup
Switch antara bus4 dan bus6 : Tertutup

>>

Lampiran 7. Hasil Kombinasi Switch Pada Running Ke - 7

num_line =

41

loses_row =

1.0e+04 *

0.0256

0.0256

0.0256

0.0259

0.0707

0.5265

0.7311

6.7458

loses_row =

255.5204

255.5204

255.5204

255.5204

255.5204

255.5204

258.6667

258.6667

loses_row =

255.5204

255.5204

255.5204

255.5204



Loses Total = 255.5204 MW
Switch antara bus29 dan bus30 : Tertutup
Switch antara bus12 dan bus15 : Tertutup
Switch antara bus6 dan bus28 : Tertutup
Switch antara bus8 dan bus28 : Tertutup
Switch antara bus4 dan bus6 : Tertutup

>>



Lampiran 8. Hasil Loadflow dengan Newton Raphson

Newton Raphson Loadflow Analysis

Bus No	V	Angle	Generation		Load	
	p.u.	Degree	MW	Mvar	MW	MVar
1	1,0600	0,0000	281,2890	344,7120	0,0000	0,0000
2	0,9094	-3,8826	-0,2620	0,0750	21,7000	12,7000
3	0,8293	-6,5001	-0,1020	0,0370	2,4000	1,2000
4	0,7764	-8,2366	-1,3520	-0,1580	7,6000	1,6000
5	0,8097	-8,3742	0,0160	0,0110	9,4200	1,9000
6	0,7341	-9,9589	-1,4930	-0,1410	0,0000	0,0000
7	0,7531	-10,0667	0,1450	0,0130	22,0800	10,0900
8	0,7107	-10,9339	0,3210	0,1180	30,0000	30,0000
9	0,6225	-21,1767	-0,2580	0,0550	10,0000	6,0000
10	0,5843	-26,8149	0,1690	0,3480	5,8000	2,0000
11	0,6225	-21,1767	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12	0,6107	-25,8708	-0,0910	0,4900	11,0200	7,5500
13	0,6107	-25,8708	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14	0,5834	-28,2568	0,2110	-0,0150	6,2000	1,6000
15	0,5756	-28,2290	0,2250	0,0130	8,2000	2,5000
16	0,5403	-31,5749	1,1620	0,0970	30,0500	10,8000
17	0,5613	-28,8870	0,2930	0,0920	9,0000	5,8000
18	0,5563	-29,9385	0,1160	-0,0010	3,2000	0,9000
19	0,5506	-30,3557	0,3700	0,0120	9,5000	3,4000
20	0,5575	-29,6300	0,0700	0,0080	2,2000	0,7000
21	0,5586	-28,4387	0,5950	-0,1370	17,0500	10,1200
22	0,5665	-27,3856	0,0110	0,0010	0,0000	0,0000
23	0,5581	-28,4608	0,1180	0,0160	3,2000	1,6000
24	0,5431	-27,8830	0,3190	0,1290	8,7000	6,7000
25	0,5532	-25,2487	-0,0000	0,0010	0,0000	0,0000
26	0,5204	-26,6456	0,1560	0,0630	3,5000	2,3000
27	0,5760	-22,8541	-0,0830	0,1590	0,0000	0,0000
28	0,7078	-10,9261	-0,6650	-0,0960	0,0000	0,0000
29	0,5064	-25,2735	0,1240	0,0350	2,4000	0,9000
30	0,4496	-26,5823	0,7940	0,8630	10,0600	10,9000
Total	48,9170	215,8150	282,1970	347,0750	233,2800	131,2600



Line Flow and Losses

Bus	P		Q		Bus	P		Q		Line Loss	
	MW	MVar	MW	MVar		MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar
1	2	219,1700	219,1700	2	1	-172,5340	-176,7500	14,1640	42,4200		
1	3	125,5420	125,5420	3	1	-84,6510	-89,2140	9,9400	36,3280		
2	4	54,7770	54,7770	4	2	-45,1220	-43,4660	3,7120	11,3110		
3	4	88,0510	88,0510	4	3	-79,3660	-80,0610	2,7830	7,9910		
2	5	37,7950	37,7950	5	2	-36,4320	-30,8940	1,6430	6,9020		
2	6	71,5530	71,5530	6	2	-57,2190	-51,9970	6,4440	19,5550		
4	6	62,8100	62,8100	6	4	-57,9550	-57,6750	1,4760	5,1360		
5	7	29,0050	29,0050	7	5	-25,9250	-26,2240	1,1030	2,7810		
6	7	-3,8600	-15,7470	7	6	3,9900	16,1470	0,1300	0,4000		
6	8	30,3920	32,3860	8	6	-29,9520	-30,8480	0,4390	1,5370		
6	9	42,7430	43,5820	9	6	-42,7430	-29,2000	0,0000	14,3820		
6	10	22,3690	23,1000	10	6	-22,3690	-12,4330	0,0000	10,6670		
9	11	0,0000	0,0000	11	9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		
9	10	32,4850	23,2550	10	9	-32,4850	-18,7240	0,0000	4,5300		
4	12	56,1050	58,9580	12	4	-56,1050	-30,8270	0,0000	28,1320		
12	13	0,0000	0,0000	13	12	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		
12	14	7,2930	3,1110	14	12	-7,0860	-2,6800	0,2080	0,4310		
12	15	15,5330	8,7480	15	12	-14,9690	-7,6360	0,5640	1,1110		
12	16	22,1670	11,9080	16	12	-20,5630	-8,5340	1,6050	3,3740		
14	15	1,0960	1,0650	15	14	-1,0810	-1,0510	0,0150	0,0140		
16	17	-8,3250	-2,1690	17	16	8,5340	2,6570	0,2090	0,4880		
15	18	5,5650	2,4300	18	15	-5,4460	-2,1870	0,1190	0,2430		
18	19	2,3620	1,2860	19	18	-2,3470	-1,2550	0,0150	0,0300		
19	20	-6,7830	-2,1330	20	19	2,2460	2,2460	0,0570	0,1130		
10	20	9,2380	3,5370	20	10	-2,9380	-2,9380	0,2680	0,5990		
10	17	17,6190	9,3500	17	10	-8,3650	-8,3650	0,3780	0,9850		
10	21	17,8640	11,8720	21	10	-10,8620	-10,8620	0,4690	1,0090		
10	22	4,5010	4,7470	22	10	-4,5590	-4,5590	0,0910	0,1880		
21	23	0,9400	0,8790	23	21	-0,8780	-0,8780	0,0010	0,0010		
15	23	2,5100	3,7700	23	15	-3,6450	-3,6450	0,0620	0,1250		
22	24	4,4220	4,5600	24	22	-4,3350	-4,3350	0,1450	0,2250		
23	24	0,3050	2,9390	24	23	-2,8630	-2,8630	0,0370	0,0760		
24	25	-3,8360	0,6280	25	24	-0,4590	-0,4590	0,0970	0,1690		
25	26	3,4960	2,4640	26	25	-2,2370	-2,2370	0,1520	0,2270		
25	27	-7,4290	-2,0040	27	25	2,4080	2,4080	0,2110	0,4040		
28	27	21,2760	25,7750	27	28	-16,9440	-16,9440	0,0000	8,8310		
27	29	6,3330	6,3640	29	27	-5,3550	-5,3550	0,5340	1,0090		
27	30	7,2200	8,3320	30	27	-6,1230	-6,1230	1,1730	2,2080		
29	30	3,5230	4,4900	30	29	-3,2180	-3,9140	0,3050	0,5760		
8	28	0,2730	0,9670	28	8	-0,2720	-0,9630	0,0010	0,0040		
6	28	22,0370	26,2110	28	6	-21,6690	-24,9070	0,3680	1,3030		
Total Loss										48,9170	215,8150



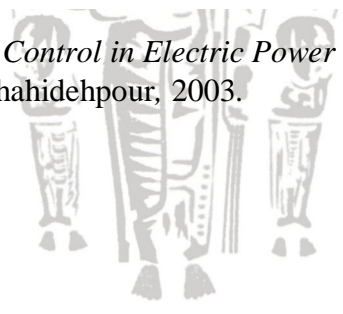
Lampiran 9. Data Lengkap IEEE 30 Bus System

Line No.	From Bus	To Bus	Line Impedance		Half Line Charging Susceptance (p.u.)	MVA Rating
			Resistance (p.u.)	Reactance (p.u.)		
1	1	2	0.0192	0.0575	0.0264	130
2	1	3	0.0452	0.1652	0.0204	130
3	2	4	0.0570	0.1737	0.0184	65
4	3	4	0.0132	0.0379	0.0042	130
5	2	5	0.0472	0.1983	0.0209	130
6	2	6	0.0581	0.1763	0.0187	65
7	4	6	0.0119	0.0414	0.0045	90
8	5	7	0.0460	0.1160	0.0102	70
9	6	7	0.0267	0.0820	0.0085	130
10	6	8	0.0120	0.0420	0.0045	32
11	6	9	0	0.2080	0	65
12	6	10	0	0.5560	0	32
13	9	11	0	0.2080	0	65
14	9	10	0	0.1100	0	65
15	4	12	0	0.2560	0	65
16	12	13	0	0.1400	0	65
17	12	14	0.1231	0.2559	0	32
18	12	15	0.0662	0.1304	0	32
19	12	16	0.0945	0.1987	0	16
20	14	15	0.2210	0.1997	0	16
21	16	17	0.0524	0.1923	0	16
22	15	18	0.1073	0.2185	0	16
23	18	19	0.0639	0.1292	0	16
24	19	20	0.0340	0.0680	0	16
25	10	20	0.0936	0.2090	0	32



26	10	17	0.0324	0.0845	0	32
27	10	21	0.0348	0.0749	0	32
28	10	22	0.0727	0.1499	0	32
29	21	22	0.0116	0.0236	0	32
30	15	23	0.1000	0.2020	0	16
31	22	24	0.1150	0.1790	0	16
32	23	24	0.1320	0.2700	0	16
33	24	25	0.1885	0.3292	0	16
34	25	26	0.2544	0.3800	0	16
35	25	27	0.1093	0.2087	0	16
36	28	27	0	0.3960	0	65
37	27	29	0.2198	0.4153	0	16
38	27	30	0.3202	0.6027	0	16
39	29	30	0.2399	0.4533	0	26
40	8	28	0.0636	0.2000	0.0214	32
41	6	28	0.0169	0.0599	0.0065	32

Sumber : *Communication and Control in Electric Power Systems: Application of Parallel and Distributed Processing*, Shahidehpour, 2003.



Bus No.	Bus Voltage		Generation		Load		Reactive Power Limits	
	Magnitude (p.u.)	Phase Angle (degrees)	Real Power (p.u.)	Reactive Power (p.u.)	Real Power (p.u.)	Reactive Power (p.u.)	Q_{min} (p.u.)	Q_{max} (p.u.)
1	1.06	0.000	1.3848	-0.0279	0.000	0.000	-	-
2	1.045	0.000	0.4	0.5	0.217	0.127	-0.2	0.6
3	1.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.012	-	-
4	1.060	0.000	0.000	0.000	0.076	0.016	-	-
5	1.010	0.000	0.000	0.37	0.942	0.19	-0.15	0.625
6	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
7	1.000	0.000	0.000	0.000	0.228	0.109	-	-
8	1.010	0.000	0.000	0.373	0.3	0.3	-0.15	0.50
9	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
10	1.000	0.000	0.000	0.000	0.058	0.02	-	-
11	1.082	0.000	0.000	0.162	0.000	0.000	-0.10	0.40
12	1.000	0.000	0.000	0.000	0.112	0.075	-	-
13	1.071	0.000	0.000	0.106	0.000	0.000	-0.15	0.45
14	1.000	0.000	0.000	0.000	0.062	0.016	-	-
15	1.000	0.000	0.000	0.000	0.082	0.025	-	-
16	1.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.018	-	-
17	1.000	0.000	0.000	0.000	0.09	0.058	-	-
18	1.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.009	-	-
19	1.000	0.000	0.000	0.000	0.095	0.034	-	-

20	1.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.007	-	-
21	1.000	0.000	0.000	0.000	0.175	0.112	-	-
22	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
23	1.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.016	-	-
24	1.000	0.000	0.000	0.000	0.087	0.067	-	-
25	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
26	1.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.023	-	-
27	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
28	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
29	1.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.009	-	-
30	1.000	0.000	0.000	0.000	0.106	0.019	-	-

Sumber : *Communication and Control in Electric Power Systems: Application of Parallel and Distributed Processing*, Shahidehpour, 2003.

