

**OPTIMASI PENEMPATAN *TIE SWITCH* SISTEM DISTRIBUSI RADIAL
20 KV UNIVERSITAS TADULAKO UNTUK MINIMASI RUGI DAYA
BERBASIS ALGORITMA GENETIKA**



SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S1 Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Tadulako

Disusun Oleh :

**I NYOMAN ERIK WIDANA
F441 21 070**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TADULAKO
PALU
2025**

**OPTIMIZATION OF TIE-SWITCH PLACEMENT IN THE 20 KV RADIAL
DISTRIBUTION SYSTEM OF TADULAKO UNIVERSITY FOR POWER
LOSS MINIMIZATION BASED ON AGENETIC ALGORITHM**



UNDERGRADUATE THESIS

*Submitted as a partial fulfilment of the requirements for Bachelor Degree at
Electrical Engineering Study Program, Departemen of Electrical Engineering
Faculty of Engineering, Tadulako University*

Compiled by :

**I NYOMAN ERIK WIDANA
F441 21 070**

**ELECTRICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
TADULAKO UNIVERSITY
PALU
2025**



HALAMAN PENGESAHAN

**OPTIMASI PENEMPATAN TIE SWITCH SISTEM DISTRIBUSI
RADIAL 20 KV UNIVERSITAS TADULAKO UNTUK MINIMASI RUGI
DAYA BERBASIS ALGORITMA GENETIKA**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

INYOMAN ERIK WIDANA

F44121070

SKRIPSI

Telah dipertahankan didepan Majelis Penguji dan dinyatakan diterima sebagai salah satu
persyaratan untuk memperoleh gelar Strata Satu (S1) Teknik Elektro

Pada tanggal 28 November 2025

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Tadulako,



Ir. Andi Arham Adam, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 19740323 199903 1 002

Ketua Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Tadulako,



Dr. Ahmad Antares Adam, S.T., M.Eng.Sc.
NIP. 19680420 199412 1 001

HALAMAN PERSETUJUAN

Pada hari Jumat, Tanggal 28 Bulan November Tahun 2025 Pembimbing Skripsi pada Program Studi S1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, berdasarkan berita acara nomor: 22577/UN28.6.TE/KA.00.00/PP/2025, Tanggal 28, Bulan November, Tahun 2025 . Menyatakan menerima dan menyetujui skripsi yang telah diujikan terhadap mahasiswa berikut :

I NYOMAN ERIK WIDANA**F44121070**

Judul :

**“OPTIMASI PENEMPATAN TIE SWITCH SISTEM DISTRIBUSI
RADIAL 20 KV UNIVERSITAS TADULAKO UNTUK MINIMASI RUGI
DAYA BERBASIS ALGORITMA GENETIKA “**

Menyetujui:

Pembimbing Utama



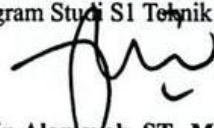
Ir. Yulius S. Pirade, ST., M.Pw
NIP. 19670712 199702 1 001

Pembimbing Pendamping



Ratih Mar'atus Sholihah, SST., MT
NIP.19910711 202203 2 006

Palu, 28 November 2025
Ketua Program Studi S1 Teknik Elektro,



Dr. Ir. Alamsyah, ST., M.T
NIP. 19740414 200212 1 001

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : I Nyoman Erik Widana
No. Stambuk : F441 21 070
Judul Skripsi : Optimasi Penempatan Tie Switch Sistem Distribusi Radial
20 kV Universitas Tadulako Untuk Minimasi Rugi Daya
Berdasarkan Algoritma Genetika

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah skripsi ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Palu, 28 November 2025



I Nyoman Erik Widana

NIM. F441 21 070

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi dengan judul “Optimasi Penempatan Tie Switch Sistem Distribusi Radial 20 kV Universitas Tadulako Untuk Minimasi Rugi Daya Berbasis Algoritma Genetika” dapat penulis susun dan selesaikan dengan baik. Penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.

Keberhasilan skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak yang telah memberikan masukan, bimbingan dan berbagai dukungan lainnya. Pada kesempatan ini tak lupa penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :.

1. Bapak **Ir. Andi Arham Adam, S.T., M.Sc., Ph.D.**, sebagai Dekan Fakultas Teknik, Universitas Tadulako
2. Ibu **Dr. Ir. Yuli Asmi Rahman, ST., M.Eng.**, sebagai Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Tadulako dan Dosen Wali serta Dosen Penguji yang telah membimbing dan memberikan saran-saran yang bermanfaat bagi penulis.
3. Bapak **Dr. Ahmad Antares Adam, ST., M.Eng.Sc.**, Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako,

4. Bapak **Dr. Ir. Alamsyah, ST., MT.**, Selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
5. Ibu **Nurhani Amin, S.Pd., MT.**, sebagai Ketua KDK Teknik Energi Elektrik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.
6. Bapak **Ir. Yulius S. Pirade, ST., M.Pw.**, Selaku pembimbing utama yang sudah meluangkan waktu membantu memberikan saran bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Ibu **Ratih Mar'atus Sholihah, SST., MT.**, sebagai Dosen Pembimbing pendamping yang selalu membimbing dan memberikan saran-saran yang bermanfaat bagi penulis.
8. Bapak **Ir. Maryanto Masarrang, ST., MT.**, dan Bapak **Martdiansyah, ST., MT.**, sebagai Dosen Penguji yang selalu memberikan saran-saran yang membangun kepada penulis.
9. Seluruh dosen pengajar di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan pendidikan dan pengetahuan yang sangat berarti kepada penulis.
10. Seluruh staf/laboran/teknisi di laboratorium Jurusan Teknik Elektro yang telah berpartisipasi dan memberi dukungan dalam pembuatan skripsi ini.
11. Seluruh staf akademik dan administrasi Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan semangat dan bantuannya selama ini.

12. Kepada kedua orang tua tercinta, Ibu **Niluh Yudani** serta Bapak **I Nyoman Wirka**. Terima kasih atas segala pengorbanan dan tulus kasih yang diberikan, serta doa yang tak pernah berhenti dilangitkan. Semoga mama dan papa sehat, panjang umur dan bahagia selalu.
13. Adik-adikku tercinta, **I Ketut Wahyu** dan **Niluh Harumdani**, yang selalu menjadi sumber semangat dan keceriaan di tengah penatnya perjuangan ini. Terima kasih telah menjadi bagian dari kekuatan yang mendorongku menyelesaikan perjalanan ini. Semoga kelak kalian bisa meraih cita-cita dengan lebih hebat lagi .
14. Untuk Keluarga besar **Himpuna Mahasiswa Elektro Universitas Tadulako (HME UNTAD) dan Electrical Research Group (ERG HME UNTAD)** Yang tidak bisa penulis sebutkan satu-satu, semoga selalu menjadi wadah penerapan Tri Dharma perguruan tinggi sebagai sebuah nilai yang wajib di tunaikan seorang mahasiswa, Elektro (“ The Best Choice ”).
15. Untuk saudara dan saudari seperjuangan **ARESTER 2021**, yang selalu menemani dan memberikan dukungan serta motivasinya. baik dalam perkuliahan atau dalam menjalankan kegiatan di Himpunan, semoga teman-teman semua Panjang umur dan sehat selalu . ARESTER 2021 (“ Satu ”)
16. Untuk Keluarga besar **Laboratorium Listrik Dasar Dan Pengukuran (LLDP)** yakni Bapak **Ir. Irwan Mahmudi, ST., MT**, Ibu **Ratih Mar’atus Sholihah, SST., MT**, dan ibu **Lutfiyana A. Ansar, A.MD** ,

Yang sudah seperti menjadi orang tua angkat penulis yang tanpa lelah terus memberikan motivasi dan arahan yang sangat bermanfaat bagi penulis, serta teman-teman asisten laboratorium yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu , semoga apa yang teman- teman cita-citakan dapat tercapai.

17. Untuk Keluarga besar **PT. Denkindo Central Elektrik (PT. DCE)** yaitu **Bapak Irwan, Kak Arwan , Kak Sofyan, Kak Dika , Kak Mulki** dan seluruh rekan kerja yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang sudah menjadi bagian dalam cerita panjang tumbuh dan berkembang dalam penerapan penalaran keilmuan teknik elektro dan memberikan gambaran sebenarnya dunia kerja Teknik kepada penulis, semoga **PT. DCE** dapat menjadi Perusahaan yang terus berkembang dan selalu memberikan manfaat bagi sekitarnya.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberikan balasan yang berlipat ganda kepada semua pihak yang telah turut membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Palu, 28 November 2025

Penulis,



I Nyoman Erik Widana

F441 21 070

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERSETUJUAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
DAFTAR SIMBOL DAN NOTASI MATEMATIS	xvii
ABSTRAK.....	xviii
<i>ABSTRAK</i>	xix
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Penulisan	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	8
2.1 Tinjauan Pustaka	8
2.2 Landasan Teori	12
2.2.1 Sistem Distribusi	12
2.2.2 Sistem Distribusi Radial.....	14
2.2.3 Aliran Daya	18
2.2.4 Algoritma Genetika	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Bahan dan Alat Penelitian	27
3.1.1 Bahan Penelitian.....	27
3.1.2 Alat Penelitian.....	27
3.2 Cara Penelitian	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Hasil simulasi aliran daya sistem distribusi radial 20 kV Universitas Tadulako.....	37
4.2 Optimasi Penempatan <i>Tie Switch</i> Sistem Distribusi Radial 20 kV Universitas Tadulako.....	44
4.2.1.....Fungsi Objektif	44
4.2.2 Kendala Sistem (<i>Constraint</i>).....	46

4.2.3 Tahapan algoritma genetika	49
4.2.4 Pengaruh Jumlah Populasi dan Iterasi terhadap Kinerja Algoritma Genetika	55
4.3 Hasil rugi-rugi daya setelah rekonfigurasi jaringan	56
4.3.1 Rugi-rugi daya saat terjadi rekonfigurasi jaringan tanpa algoritma genetika	56
4.3.2 Hasil rugi-rugi daya menggunakan optimasi algoritma genetika	58
4.4 Pengaruh penempatan <i>tie switch</i> terhadap kemampuan sistem dalam memulihkan suplai beban setelah gangguan	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem pendistribusian tenaga Listrik	13
Gambar 2. 2 Jaringan Radial Tipe Pohon	15
Gambar 2. 3 Jaringan radial dengan tie dan switch pemisah	16
Gambar 2. 4 Jaringan radial tipe pusat beban	17
Gambar 2. 5 Jaringan radial tipe phase area	17
Gambar 2. 6 Gen, Kromosom dan Populasi.....	22
Gambar 2. 7 Kawin Silang Fitnes	23
Gambar 2. 8 Penukaran gen antara parent	23
Gambar 2. 9 Sebelum dan sesudah mutasi.....	24
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian (Flowchart).....	28
Gambar 4. 1 Diagram satu garis sistem distribusi radial 20 kV Universitas Tadulako	36
Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Tegangan sistem distribusi 20 kV Universitas tadulako	40
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan rugi-rugi daya Aktif sistem distribusi 20 kV Universitas tadulako.....	42
Gambar 4. 4 Grafik perbandingan rugi-rugi daya reaktif sistem distribusi 20 kV Universitas tadulako.....	43
Gambar 4. 5 Kode program fungsi objektif untuk menentukan rugi daya terkecil pada tiap iterasi.	45
Gambar 4. 6 kode program perhitungan rugi daya aktif pada saluran distribusi menggunakan MATLAB.....	46

Gambar 4. 7 kode program Batasan sehingga sistem tetap dalam kondisi radial (1 tie swith aktif).	47
Gambar 4. 8 kode program batas tegangan operasi.	48
Gambar 4. 9 Kode program perbaikan gen pada proses kawin silang	52
Gambar 4. 10 Grafik performa konvergensi algoritma genetika pada percobaan 20 generasi	54
Gambar 4. 11 Grafik perbandingan pemilihan tie switch antara rekomendasi GA dan manual	60
Gambar 4. 12 Grafik profil tegangan terendah pada tiap skenario gangguan setelah pemulihan beban	63
Gambar 4. 13 Grafik persentase tie swtitch dalam menyelesaikan gangguan	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Persamaan dan perbedaan dengan penelitian sebelumnya	11
Tabel 4. 1 Hasil Simulasi Tegangan sistem distribusi radial 20 kV Universitas Tadulako	38
Tabel 4. 2 Hasil Simulasi Rugi-rugi daya Sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako	41
Tabel 4. 3 Parameter pengujian iterasi GA dalam skenario gangguan bus 6 ke 7	49
Tabel 4. 4 Populasi awal yang dibangkitkan	51
Tabel 4. 5 Evaluasi fitness masing-masing individu	51
Tabel 4. 6 Proses Seleksi individu terpilih (Roulette Wheel)	51
Tabel 4. 7 Proses kawin silang (pertukaran gen antar induk)	52
Tabel 4. 8 Proses mutasi	52
Tabel 4. 9 Hasil mutasi dan evaluasi ulang (load flow)	53
Tabel 4. 10 Hasil total iterasi optimasi tie switch menggunakan algoritma genetika	53
Tabel 4. 11 Pengaruh Jumlah Populasi dan Iterasi terhadap Kinerja Algoritma Genetika	55
Tabel 4. 12 Hasil Simulasi rugi-rugi daya saat terjadi rekonfigurasi jaringan menggunakan tie switch	56
Tabel 4. 13 Hasil Simulasi rugi-rugi daya menggunakan optimasi algoritma genetika	58
Tabel 4. 14 Hasil Simulasi Skenario Pemulihan Pasca Gangguan terhadap Nilai Jatuh Tegangan dan Jumlah Beban Padam	61

DAFTAR SINGKATAN

TS	= <i>Tie switch</i>
SUTM	= Saluran Udara Tegangan Menengah
SUTR	= Saluran Udara Tegangan Rendah
SUTET	= Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi
TM	= Tegangan menengah
A	= Ampere
BCBV	= <i>Bus Current to Bus Voltage</i>
BIBC	= <i>Bus Injection to Branch Current</i>
DLF	= <i>Distribution Load Flow</i>
ETAP	= Electrical Transient Analyzer Program
MATLAB	= <i>Matrix Laboratory</i> (Perangkat lunak komputasi numerik)
GA	= <i>Genetic Algorithm</i>
kW	= kiloWatt (1.000 Watt)
MW	= MegaWatt
kV	= kiloVolt (1.000 Volt)
MVar	= MegaVolt Ampere Reactive
LF	= <i>Load Flow</i>
P	= Daya Aktif (Watt)
Q	= Daya Reaktif (Var)
Ploss	= <i>Power Loss</i> (Rugi Daya Aktif)
Qloss	= <i>Reactive Power Loss</i> (Rugi Daya Reaktif)
Z	= Impedansi
R	= Resistansi (Ω)
X	= Reaktansi (Ω)
SPLN	= Standar Perusahaan Listrik Negara
IEC	= <i>International Electrotechnical Commission</i> (Komisi Elektroteknik Internasional)

DAFTAR SIMBOL DAN NOTASI MATEMATIS

V_i	= Tegangan pada bus ke-i (Volt)
V_{nom}	= Tegangan nominal sistem (Volt)
I_i	= Arus pada bus ke-i (Ampere)
R_{ij}	= Resistansi saluran antara bus i dan j (Ohm)
X_{ij}	= Reaktansi saluran antara bus i dan j (Ohm)
Z_{ij}	= Impedansi saluran antara bus i dan j (Ohm)
P_i	= Daya aktif pada bus ke-i (Watt)
Q_i	= Daya reaktif pada bus ke-i (Var)
$P_{loss, total}$	= Total rugi daya aktif seluruh sistem (kW)
$Q_{loss, total}$	= Total rugi daya reaktif seluruh sistem (kVar)
g_i	= Gen ke-i dalam kromosom <i>Genetic Algorithm</i> , mewakili status <i>tie switch</i> (0 = terbuka, 1 = tertutup)
$F(x)$	= Fungsi objektif (<i>Objective Function</i>)
n	= Jumlah bus atau jumlah gen dalam kromosom
ΔV	= Jatuh tegangan (<i>Voltage Drop</i>) pada saluran (Volt)
$Popsize$	= Jumlah populasi dalam <i>Genetic Algorithm</i>
$Gensize$	= Jumlah gen dalam setiap kromosom
P_c	= <i>Probabilitas crossover</i>
P_m	= <i>Probabilitas mutasi</i>
$Fitness$	= Nilai kebugaran kromosom (ukuran kualitas solusi terhadap fungsi objektif)

ABSTRAK

Efisiensi penyaluran energi pada sistem distribusi sangat dipengaruhi oleh besarnya rugi daya yang terjadi selama penyaluran ke konsumen. Pada penelitian ini, sistem yang dianalisis adalah perencanaan sistem distribusi radial 20 kV Universitas Tadulako, menggunakan data perencanaan sebagai dasar pemodelan. Rugi daya yang tinggi menurunkan kualitas pelayanan dan mengurangi keandalan sistem, terutama saat terjadi gangguan, sehingga diperlukan penempatan *tie switch* yang optimal. Perhitungan aliran daya dilakukan menggunakan metode *Distribution Load Flow* (DLF) berbasis *Backward Forward Sweep* pada MATLAB, yang telah divalidasi menggunakan *test system* 6 Bus melalui ETAP dan MATLAB. *Genetic Algorithm* (GA) digunakan dengan representasi kromosom biner berisi empat kandidat *tie switch*, dengan evaluasi *fitness* berdasarkan minimasi rugi daya aktif serta batas radialitas dan tegangan sesuai IEC 60038. Hasil simulasi aliran daya di MATLAB dan ETAP menunjukkan *deviasi* tegangan hanya 0,1% dengan rugi daya 16,19 kW–12,55 kVar (MATLAB) dan 15,2 kW–11,8 kVar (ETAP), sehingga model dinyatakan akurat untuk proses optimasi. GA terbukti efektif dalam menentukan *tie switch* terbaik pada setiap skenario gangguan, di mana 31 dari 39 kasus (79,5%) berhasil dipulihkan penuh, sementara 8 kasus (20,5%) mengalami padam sebagian. Kombinasi jumlah populasi dan iterasi 10 sampai dengan 15 memberikan waktu komputasi optimal, yaitu 0,18 sampai dengan 0,36 detik, sehingga metode ini efisien dan layak digunakan dalam perencanaan sistem distribusi.

Kata kunci: **Rugi Daya, Tie Switch, Genetic Algorithm, DLF, Sistem Distribusi 20 kV.**

ABSTRAK

The efficiency of energy delivery in a distribution system is strongly influenced by the magnitude of power losses that occur during transmission to consumers. In this study, the analyzed system is the planned 20 kV radial distribution network of Universitas Tadulako, using planning data as the basis for system modeling. High power losses reduce service quality and system reliability, especially during fault conditions, thereby requiring optimal placement of tie switches. Power flow calculations were performed using the Distribution Load Flow (DLF) method based on the Backward–Forward Sweep technique in MATLAB, which was validated using a 6-Bus test system through ETAP and MATLAB. The Genetic Algorithm (GA) was implemented using binary chromosomes consisting of four tie-switch candidates, with fitness evaluation based on minimizing active power losses while satisfying radiality constraints and voltage limits according to IEC 60038. The MATLAB and ETAP load flow simulations show a voltage deviation of only 0.1%, with power losses of 16.19 kW–12.55 kVar (MATLAB) and 15.2 kW–11.8 kVar (ETAP), confirming that the model is accurate for optimization purposes. GA proved effective in determining the optimal tie switch for each fault scenario, where 31 out of 39 cases (79.5%) were fully restored, while 8 cases (20.5%) experienced partial outages. A population size and iteration count of 10 to 15 provided optimal computational performance, with execution times ranging from 0.18 to 0.36 seconds, indicating that the method is efficient and suitable for distribution system planning.

Keywords: *Power Loss, Tie Switch, Genetic Algorithm, DLF, 20 kV Distribution System.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem distribusi tenaga listrik adalah salah satu sistem penyaluran energi listrik dari gardu induk atau sumber menuju konsumen akhir. Sistem ini dalam tahap pembangunannya banyak mempertimbangkan aspek efisiensi dan keandalan sistem (Daman Suswanto, 2009). Hal ini juga berlaku pada sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako. Sistem distribusi 20 kV yang ada saat ini di Universitas Tadulako masih memiliki beberapa kelemahan, seperti rendahnya fleksibilitas dalam alih daya, tingginya potensi rugi-rugi daya, serta kurang optimalnya penyaluran daya ke seluruh beban kampus. Dalam kasus ini kosekuensi dari rugi-rugi daya tinggi ialah jatuh tegangan sistem akan meningkat, yang dimana hal ini dapat menyebabkan terganggunya kinerja sistem tenaga listrik (Rahman et al., 2022), selain itu, pertumbuhan beban listrik akibat pembangunan gedung baru dan peningkatan aktivitas akademik menuntut sistem distribusi yang lebih andal dan efisien. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan ulang sistem distribusi untuk mengoptimalkan konfigurasi jaringan serta menentukan lokasi *tie switch* yang tepat guna meningkatkan efisiensi energi dan keandalan pasokan listrik secara menyeluruh. (Hendrik Kenedy Tupan, 2017).

Tie Switch merupakan Saklar yang berfungsi untuk mengubah aliran daya antar saluran atau *fedder*. Penempatan *tie switch* yang tepat akan dapat membantu menurunkan rugi rugi daya dan meningkatkan kualitas tegangan (Karaaom et al., 2020) . Selain itu juga, dapat mempercepat pemulihan sistem yang sedang

mengalami gangguan sehingga pemadaman dapat diminimalisir dan hanya terjadi pada area gangguan saja (Hendrik Kenedy Tupan, 2017) . Akan tetapi, penentuan titik *tie switch* yang optimal menjadi sebuah tantangan, karena terdapat banyak variasi kemungkinan konfigurasi .

Penentuan titik lokasi *tie switch* secara konvensional sering kali kurang efisien seiring dengan kompleksnya suatu jaringan distribusi. Sehingga, perlu adanya metode yang lebih efektif dan adaptif dalam penentuan lokasinya, seperti metode *Genetic Algorithm* (GA). GA adalah algoritma optimasi berbasis populasi yang meniru mekanisme evolusi alam (Goldberg, 1989). Keunggulan metode ini terletak pada kinerjanya yang lebih efisien untuk perencanaan suatu sistem jaringan yang kompleks (Sannomiya H. Iima, 1992) .

Oleh karena itu, penggunaan metode *Genetic Algorithm* dalam penentuan lokasi *tie switch* yang ideal pada sistem distribusi 20 kV di Universitas Tadulako menjadi tujuan dalam penelitian ini. Penempatan *tie switch* yang ideal diharapkan dapat mengurangi rugi rugi daya yang terjadi pada masing-masing salurannya dan melokalisir gangguan pada daerah gangguan saja melalui perpindahan segmen jaringan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di jelaskan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana aliran daya sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako berdasarkan data perencanaan sebelum dilakukan optimasi penempatan *tie switch* ?
2. Bagaimana menentukan titik-titik optimal untuk penempatan *tie switch* pada *single line* perencanaan sistem distribusi 20 kV di Universitas Tadulako menggunakan metode *Genetic Algorithm* ?
3. Bagaimana efektivitas *Genetic Algorithm* dalam menghasilkan konfigurasi penempatan *tie switch* yang optimal untuk minimasi kerugian daya ?
4. Bagaimana pengaruh penempatan *tie switch* terhadap kemampuan sistem dalam memulihkan suplai beban setelah gangguan agar luas area padam dapat diminimalkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui profil tegangan pada setiap bus, dan Rugi-rugi daya pada saluran distribusi sebelum dilakukan pemasangan *tie switch* .
2. Menentukan lokasi optimal penempatan *tie switch* pada *single line* diagram perencanaan sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako menggunakan metode *Genetic Algorithm*.
3. Mengevaluasi efektivitas *Genetic Algorithm* dalam mengoptimalkan konfigurasi sistem dari segi minimasi kerugian daya

4. Mengetahui dan menganalisis pengaruh penempatan *tie switch* terhadap kemampuan sistem distribusi dalam memulihkan suplai beban setelah terjadi gangguan, sehingga luas area padam dapat diminimalkan

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi teknis mengenai kondisi awal sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako, seperti profil tegangan bus dan rugi-rugi daya pada saluran, yang berguna sebagai dasar evaluasi sebelum dilakukan optimasi.
2. Menawarkan solusi optimasi penempatan *tie switch* menggunakan metode Genetic Algorithm, yang dapat membantu meminimalkan kerugian daya serta meningkatkan efisiensi sistem distribusi tenaga listrik.
3. Memberikan rekomendasi teknis terkait penempatan *tie switch* yang strategis, guna meningkatkan keandalan sistem, mempercepat proses pemulihan beban saat terjadi gangguan, dan mengurangi luas area padam.
4. Membantu meminimalkan luas area padam pada jaringan distribusi 20 kV Universitas Tadulako, sehingga meningkatkan kontinuitas suplai listrik dan keandalan sistem secara keseluruhan.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus, maka batasan-batasan yang diterapkan adalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian terbatas pada sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako berdasarkan data perencanaan dan konfigurasi jaringan dalam bentuk diagram satu garis (*single line diagram*).
2. Optimasi hanya difokuskan pada penempatan *tie switch*, tanpa mempertimbangkan penambahan kapasitor, penggantian konduktor dan aspek sistem proteksi.
3. Simulasi dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB untuk penerapan metode *Genetic Algorithm* sedangkan perangkat lunak ETAP digunakan untuk simulasi aliran daya (load flow) dan validasi hasil optimasi
4. Evaluasi terhadap kualitas suplai listrik dibatasi pada parameter tegangan, daya.

1.6 Sistematika Penulisan

Agar pembahasan dalam laporan skripsi ini tersusun secara sistematis dan mudah dipahami, maka sistematika penulisan disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Menjelaskan tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Tinjauan pustaka bertujuan untuk mengembangkan pemahaman dan wawasan yang menyeluruh tentang penelitian yang sedang dilakukan, serta berisi informasi-informasi tentang hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya untuk menjadikan acuan dalam penelitian ini.

Landasan teori memuat tentang teori-teori setiap komponen yang akan digunakan untuk di proyeksikan dalam penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Menjelaskan tentang alat dan bahan-bahan yang digunakan dalam melaksanakan atau melakukan penelitian, serta cara penelitian (langkah-langkah) dalam melakukan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi pembahasan hasil yang didapatkan dari simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP dan MATLAB .

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan pengerjaan tugas akhir dan saran-saran untuk pengembangan diwaktu mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

Pada bagian ini berisi tentang referensi yang dijadikan rujukan penelitian.

LAMPIRAN

Bagian ini berisi data tambahan dan pendukung penelitian yang dianggap terlalu panjang atau detail untuk dimasukkan ke dalam isi bab utama

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Ada beberapa penelitian sebelumnya yang telah dibuat dan berkaitan dengan penelitian ini, beberapa diantaranya yaitu :

(Karaaom et al., 2020) Dalam penelitian berjudul “*Optimal Allocation of Tie Switch in Distribution Systems for Energy Loss Reduction Using Particle Swarm Optimization*” mengusulkan sebuah metode rekonfigurasi jaringan distribusi yang efisien dengan mengimplementasikan alokasi *tie switch* secara optimal menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk meminimalkan rugi energi akibat ketidakseimbangan daya dalam sistem distribusi. Penelitian ini didasarkan pada meningkatnya penetrasi *Distributed Generation* (DG) yang apabila tidak dipasang secara tepat, dapat menyebabkan aliran daya balik (*reverse power flow*) dan meningkatkan rugi daya sistem. Simulasi dilakukan menggunakan MATLAB dan DIGSILENT PowerFactory pada sistem distribusi 22 kV milik *Provincial Electricity Authority* (PEA) di Thailand. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini mampu menurunkan rugi energi dari 61,02 MWh menjadi 36,38 MWh per hari, atau setara dengan pengurangan sebesar 40,38%.

(Priyatama et al., 2024) Penelitian berjudul “Rekonfigurasi Jaringan dan Penambahan Trafo Sisip pada Jaringan Radial menggunakan Algoritma Genetika” ini mengangkat permasalahan utama pada sistem distribusi radial, yaitu terjadinya penurunan tegangan (*drop voltage*) pada bus yang letaknya jauh dari sumber daya

listrik. Penurunan tegangan ini berdampak negatif terhadap kualitas tegangan yang diterima oleh pelanggan. Penelitian ini mengusulkan dua pendekatan untuk mengatasi hal tersebut, yaitu rekonfigurasi jaringan dan penambahan trafo sisip, dengan dukungan metode optimasi berbasis algoritma genetika. Algoritma genetika dipilih karena kemampuannya dalam menemukan solusi optimal untuk masalah pencarian konfigurasi jaringan yang kompleks dan bersifat non-linear. Dalam penelitian ini, algoritma genetika digunakan untuk menentukan susunan saluran (*switch*) yang aktif dan non-aktif dengan tujuan memaksimalkan tegangan minimum pada seluruh jaringan. Proses optimasi diawali dengan pembangkitan populasi awal, yang masing-masing individu merepresentasikan konfigurasi jaringan berbeda. Selanjutnya, dilakukan simulasi aliran daya menggunakan metode *Backward Forward Sweep* untuk mendapatkan nilai tegangan pada tiap bus. Nilai tegangan tersebut menjadi dasar untuk menghitung fungsi kebugaran (*fitness function*), di mana semakin tinggi tegangan minimum yang dicapai, semakin baik nilai kebugarannya. Setelah evaluasi fungsi kebugaran, individu terbaik dipilih melalui proses seleksi turnamen, lalu dilakukan proses persilangan (*crossover*) untuk membentuk solusi baru, serta mutasi untuk menjaga keberagaman populasi dan menghindari konvergensi prematur. Elitisme juga diterapkan, yaitu mempertahankan individu terbaik agar tidak hilang dalam proses generasi berikutnya. Melalui iterasi hingga 1000 kali, algoritma genetika berhasil menemukan konfigurasi jaringan yang menghasilkan peningkatan tegangan signifikan: sebesar 0,012008 p.u (0,241 kV) pada jaringan tegangan menengah dan sebesar 0,009332 p.u (3,732 V) pada jaringan tegangan rendah. Setelah

rekonfigurasi, dilakukan penambahan trafo sisip pada titik tegangan terendah dengan variasi kapasitas, dan hasilnya menunjukkan bahwa semakin besar kapasitas trafo sisip, semakin tinggi peningkatan tegangan.

(Luo et al., 2022) Dalam Penelitiannya berjudul “*Bi-Level Coordinated Planning of Sectionalizing Switches and Tie Lines Considering Operation Mode Adjustment*” membahas perencanaan terkoordinasi penempatan *sectionalizing switch* (SS) dan *tie line* (TL) untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem distribusi listrik. SS dan TL berfungsi penting dalam mempercepat penanganan gangguan dan menyesuaikan mode operasi jaringan. Model dua tingkat yang diusulkan bertujuan untuk meminimalkan biaya investasi, kerugian akibat gangguan, dan rugi daya. Pada tingkat atas ditentukan jumlah dan lokasi SS serta TL, sementara tingkat bawah menyesuaikan operasi sistem agar rugi daya lebih kecil. *Metode Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) digunakan untuk pencarian solusi *optimal*, dan *Second-Order Cone Programming* (SOCP) digunakan untuk menyederhanakan perhitungan. Pengujian pada sistem RBTS menunjukkan hasil yang efektif dan stabil.

Tabel 2. 1 Persamaan dan perbedaan dengan penelitian sebelumnya

(Karaaom et al., 2020), “ <i>Optimal Allocation of Tie Switch in Distribution Systems for Energy Loss Reduction Using Particle Swarm Optimization</i> ”		
Persamaan	Perbedaan	
	Penelitian Terdahulu	Penelitian Penulis
1. Bertujuan untuk minimasi rugi daya. 2. Menggunakan MATLAB untuk Simulasi dan perangkat lunak. 3. Bertujuan untuk mengoptimasikan penempatan <i>tie switch</i> .	1. Menggunakan <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO) untuk metode optimasi . 2. Menggunakan data aktual harian sebagai bahan penelitian. 3. Sistem yang di optimasikan berskala kota atau daerah.	1. Menggunakan Algoritma Genetika (<i>Genetic Algorithm / GA</i>) untuk metode optimasi. 2. Menggunakan data perencanaan sebagai bahan penelitian. 3. Sistem yang di optimasikan berskala lokal (Universitas Tadulako).
(Priyatama et al., 2024), “ Rekonfigurasi Jaringan dan Penambahan Trafo Sisi pada Jaringan Radial menggunakan Algoritma Genetika ”		
Persamaan	Perbedaan	
	Penelitian Terdahulu	Penelitian Penulis
1. Menggunakan algoritma genetika sebagai metode optimasi	1. Bertujuan untuk memaksimalkan tegangan minimum pada seluruh jaringan. 2. Berfokus pada konfigurasi <i>switch</i> (saluran) dan penambahan trafo sisi. 3. Menggunakan metode <i>backward forward sweep</i> untuk metode simulasi aliran daya.	1. Bertujuan untuk meminimalisir rugi daya pada jaringan distribusi. 2. Berfokus pada penempatan <i>tie switch</i> . 3. Menggunakan metode algoritma topologi jaringan untuk simulasi aliran daya.
(Luo et al., 2022), “ Bi-Level Coordinated Planning of Sectionalizing Switches and Tie Lines Considering Operation Mode Adjustment ”		

Persamaan	Perbedaan	
	Penelitian Terdahulu	Penelitian Penulis
1. Bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan system. 2. Menganalisa Lokasi penempatan <i>Tie Switch</i> .	1. Menggunakan metode Bi-level model menggunakan <i>Binary PSO</i> dan <i>SOCP</i> . 2. Mempertimbangkan biaya investasi. 3. Sistem yang di Analisa Sistem RBTS (Bus 2 dan Bus 4).	1. Menggunakan metode Algoritma Genetika. 2. Sistem yang di Analisa yaitu system lokal distribusi 20 kV Universitas Tadulako.

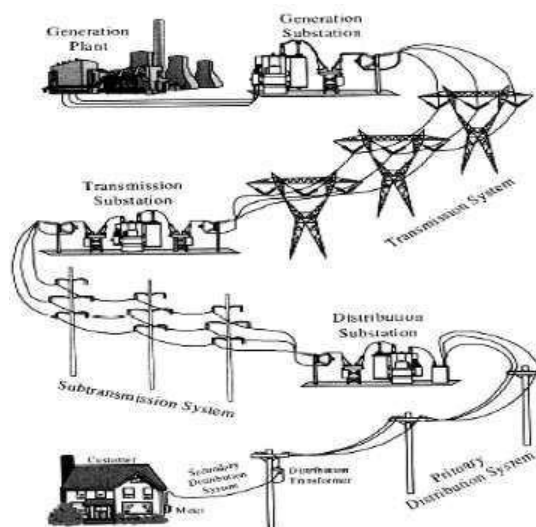
Dari beberapa tinjauan pustaka pada tabel diatas, Analisa yang penulis terapkan dalam penelitian ini memiliki kelebihan yaitu fokus pada minimasi rugi daya pada sistem distribusi radial dengan pendekatan berbasis data perencanaan. Analisa tersebut memberikan potensi untuk peningkatan efisiensi energi yang lebih signifikan dan pada gilirannya dapat mengurangi biaya operasional dalam jangka panjang. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan metode yang lebih terarah dan aplikatif dalam konteks sistem distribusi lokal, seperti yang ada di Universitas Tadulako, yang berbeda dengan cakupan penelitian lain yang lebih umum.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Distribusi

Sistem penyaluran tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik ke konsumen (beban), merupakan hal penting untuk dipelajari. Mengingat penyaluran tenaga listrik ini, prosesnya melalui beberapa tahap, yaitu dari pembangkit tenaga listrik penghasil energi listrik, disalurkan ke jaringan transmisi (SUTET) langsung ke gardu induk. Dari gardu induk tenaga listrik

disalurkan ke jaringan distribusi primer (SUTM), dan melalui gardu distribusi langsung ke jaringan distribusi sekunder (SUTR), tenaga listrik dialirkan ke konsumen. Dengan demikian sistem distribusi tenaga listrik berfungsi membagikan tenaga listrik kepada pihak pemakai melalui jaringan tegangan rendah (SUTR), sedangkan suatu saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan ekstra tinggi ke pusat-pusat beban dalam daya yang besar (melalui jaringan distribusi). Pada gambar 1 dibawah ini dapat dilihat, bahwa tenaga listrik yang dihasilkan dan dikirimkan ke konsumen melalui Pusat Pembangkit Tenaga Listrik, Gardu Induk, Saluran Transmisi, Gardu Induk, Saluran Distribusi, dan kemudian ke beban (konsumen tenaga listrik).



Gambar 2. 1 Sistem pendistribusian tenaga Listrik

(Sumber : Daman Suswanto, 2009)

2.2.2 Sistem Distribusi Radial

Bila antara titik sumber dan titik bebannya hanya terdapat satu saluran (*line*), tidak ada alternatif saluran lainnya. Bentuk Jaringan ini merupakan bentuk dasar, paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu, dan dicabang-cabang ke titik-titik beban yang dilayani. Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya penca- bangan-pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir sepanjang saluran menjadi tidak sama besar. Oleh karena kerapatan arus (beban) pada setiap titik sepanjang saluran tidak sama besar, maka luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak harus sama. Maksudnya, saluran utama (dekat sumber) yang menanggung arus beban besar, ukuran penampangnya relatif besar, dan saluran cabang-cabangnya makin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil, ukurannya lebih kecil pula.

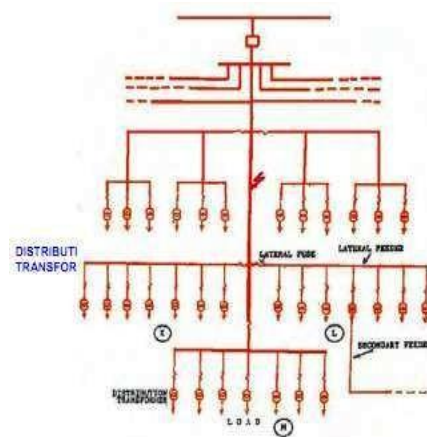
Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah:

- a. Bentuknya sederhana.
- b. Biaya investasinya relatif murah.
- c. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
- d. Kontinuitas pelayanan daya tidak terjamin, sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami "*black out*" secara total.

Untuk melokalisir gangguan, pada bentuk radial ini biasanya diperlengkapi dengan peralatan pengaman berupa *fuse*, *sectionalizer*, *recloser*, atau alat pemutus beban lainnya, tetapi fungsinya hanya membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah/dibelakang titik gangguan, selama gangguan belum teratasi. Jaringan distribusi radial memiliki beberapa modifikasi, yaitu :

a. Bentuk Jaringan Radial Tipe Pohon

Bentuk ini merupakan bentuk yang paling dasar. Satu saluran utama dibentang menurut kebutuhannya, selanjutnya dicabangkan dengan saluran cabang (lateral penyulang) dan lateral penyulang ini dicabang-cabang lagi dengan sublateral penyulang (anak cabang). Sesuai dengan kerapatan arus yang ditanggung masing-masing saluran, ukuran penyulang utama adalah yang terbesar, ukuran lateral adalah lebih kecil dari penyulang utama, dan ukuran sublateral adalah yang terkecil.

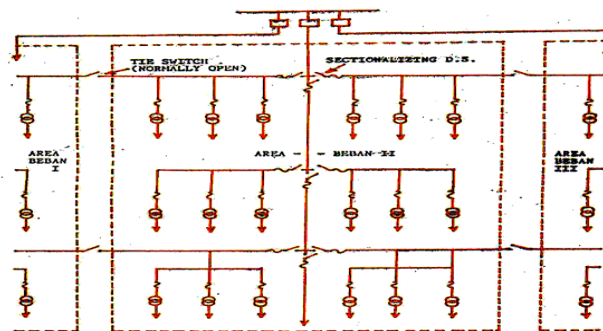


Gambar 2. 2 Jaringan Radial Tipe Pohon

(Sumber : Suhadi Tri Wrahatnolo, 2008)

b. Bentuk jaringan radial dengan *tie* dan *switch* pemisah

Bentuk ini merupakan modifikasi bentuk dasar dengan menambahkan *tie* dan *switch* pemisah, yang diperlukan untuk mempercepat pemulihan pelayanan bagi konsumen, dengan cara menghubungkan area- area yang tidak terganggu pada penyulang yang bersangkutan, dengan penyulang di sekitarnya. Dengan demikian bagian penyulang yang terganggu dilokalisir, dan bagian penyulang lainnya yang "sehat" segera dapat dioperasikan kembali, dengan cara melepas switch yang terhubung ke titik gangguan, dan menghubungkan bagian penyulang yang sehat ke penyulang di sekitarnya.

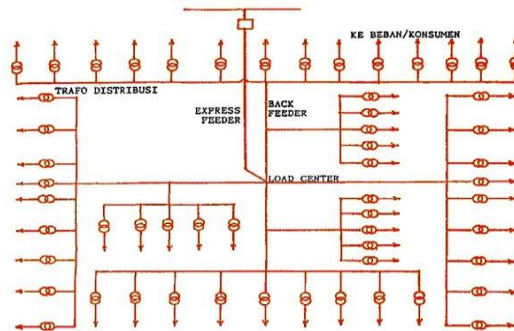


Gambar 2. 3 Jaringan radial dengan *tie* dan *switch* pemisah

(Sumber: Suhadi Tri Wrahatnolo, 2008)

c. Bentuk jaringan radial tipe pusat beban

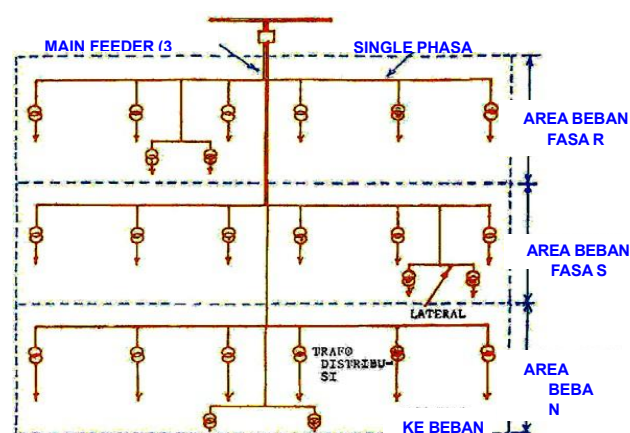
Bentuk ini mencatu daya dengan menggunakan penyulang utama (*main feeder*) yang disebut "*express feeder*" langsung ke pusat beban, dan dari titik pusat beban ini disebar dengan menggunakan "*back feeder*" secara radial.



Gambar 2. 4 Jaringan radial tipe pusat beban
(Sumber : Suhadi Tri Wrahatnolo, 2008)

d. Bentuk jaringan radial dengan phase area

Pada bentuk ini masing-masing fasa dari jaringan bertugas melayani daerah beban yang berlainan. Bentuk ini akan dapat menimbulkan akibat kondisi sistem 3 fasa yang tidak seimbang (simetris), bila digunakan pada daerah beban yang baru dan belum mantap pembagian bebannya. Karenanya hanya cocok untuk daerah beban yang stabil dan penambahan maupun pembagian bebannya dapat diatur merata dan simetris pada setiap fasanya.



Gambar 2. 5 Jaringan radial tipe phase area
(Sumber : Suhadi Tri Wrahatnolo, 2008)

2.2.3 Aliran Daya

a. Pengertian

Studi aliran daya di dalam sistem tenaga listrik merupakan studi yang penting. Studi aliran daya mengungkapkan kinerja dan aliran daya (nyata dan reaktif) untuk keadaan tertentu tatkala sistem bekerja saat tunak (*steady state*). Studi aliran daya juga memberikan informasi mengenai beban saluran transmisi di sistem, tegangan di setiap lokasi evaluasi regulasi kinerja sistem tenaga listrik dan bertujuan untuk menentukan besarnya daya nyata (*real power*), daya reaktif (*reactive power*) di berbagai titik pada sistem daya yang dalam keadaan berlangsung atau diharapkan untuk operasi normal. (Otniel & Busaeri, 2019)

b. Rugi-rugi Daya

Rugi-rugi daya adalah hilangnya pasokan daya pada proses pengiriman daya listrik dari sumber ke beban (konsumen) melalui penghantar yang disebabkan oleh arus yang tinggi dan impedansi kawat penghantar yang di gunakan, pada penelitian ini menggunakan kabel tipe AAAC-S dengan luas penampangan 70 mm yang memiliki impedansi resistansi sebesar 0,4608 Ohm dan reaktansi sebesar 0,3572 Ohm per kilometernya (Impedansi kawat penghantar menurut SPLN 64 1995, [s.d.]). Susut daya Listrik untuk saluran tiga fasa di nyatakan oleh persamaan :

$$PL = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \dots\dots\dots (1)$$

Dengan :

PL = Susut daya (Watt)

R = Tahanan kawat per fasa (Ω / Km)

$I = \text{Arus beban (A)}$

$L = \text{Panjang Saluran (Km)}$

c. Algoritma Aliran Daya Berbasis Topologi Jaringan

Load flow atau analisis aliran daya merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis tegangan, arus, serta rugi-rugi daya dalam sistem tenaga listrik dalam kondisi *steady state*. Dalam sistem distribusi, terutama yang bersifat radial dan tiga fasa tidak seimbang, metode konvensional seperti Newton-Raphson atau Gauss-Seidel sering kali kurang efisien. Oleh karena itu, dikembangkanlah metode aliran daya berbasis topologi jaringan yang lebih sesuai untuk karakteristik sistem distribusi.

Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Jen-Hao Teng (2000) dan dikenal sebagai *Network Topology-Based Load Flow Method* dan dikembangkan lagi oleh (Suyanto et al., 2016). Prinsip dasarnya adalah menggunakan struktur jaringan radial untuk membentuk dua matriks utama, yaitu:

1. Matriks BIBC (*Bus Injection to Branch Current*)

BIBC membentuk hubungan antara arus injeksi pada bus dengan arus pada cabang jaringan. Matriks ini diperoleh dari struktur topologi sistem menggunakan *branch-path incidence matrix* (K-Matrix). Adapun aturan pembentukan K-Matrix adalah :

- a) $K(i,j) = +1$, jika cabang ke- i berada pada jalur dari bus- j menuju bus referensi dan arah arusnya searah dengan aliran daya ,
- b) $K(i,j) = -1$, jika arahnya berlawanan dengan arah aliran arus menuju bus referensi.

- c) $K(i,j) = 0$, jika cabang ke-I tidak dilalui oleh arus yang berasal dari bus ke-j .

Formulasi umum yang digunakan:

$$I_{branch} = BIBC \cdot I_{inj} \dots\dots\dots (2)$$

2. Matriks BCBV (*Branch Current to Bus Voltage*)

Matriks ini menunjukkan hubungan antara arus cabang dengan perubahan tegangan pada tiap bus, dihitung berdasarkan impedansi cabang.

Tegangan pada bus dihitung dengan persamaan:

$$\Delta V_{bus} = BCBV \cdot I_{branch} \dots\dots\dots (3)$$

3. Matriks DLF (*Distribution Load Flow Matrix*)

Dengan menggabungkan matriks BIBC dan BCBV, diperoleh:

$$\Delta V_{bus} = DLF \cdot I_{inj} \dots\dots\dots (4)$$

Dan

$$DLF = BCBV \cdot BIBC \dots\dots\dots (5)$$

Matriks DLF ini memungkinkan perhitungan langsung tegangan berdasarkan arus injeksi tanpa harus menyusun dan membalik matriks admittansi sistem seperti pada metode konvensional. (Jen Hao Teng, 1999)

2.2.4 Algoritma Genetika

a. Pengertian

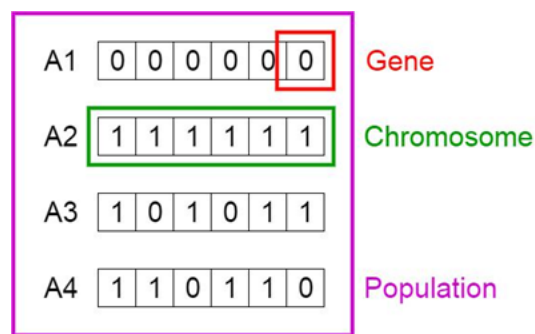
Algoritma genetika merupakan cabang dari algoritma evolusi merupakan metode adaptif yang biasa digunakan untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam sebuah masalah optimasi. Algoritma ini didasarkan pada proses genetik yang ada dalam makhluk hidup, yaitu perkembangan generasi dalam sebuah populasi yang alami, secara lambat laun akan mengikuti prinsip seleksi alam. Peletak prinsip dasar sekaligus pencipta algoritma genetika adalah John Holland dari Universitas Michigan pada tahun 1960. Algoritma genetika menggunakan analogi secara langsung dari kebiasaan yang alami yaitu seleksi alam. Algoritma ini bekerja dengan sebuah populasi yang terdiri dari individu-individu yang masing-masing individu merepresentasikan sebuah solusi yang mungkin bagi permasalahan yang ada. Dalam kaitan ini, individu dilambangkan dengan sebuah nilai fitness yang akan digunakan untuk mencari solusi terbaik dari permasalahan yang ada (Yandra Arkeman, 2012).

b. Proses Umum Algoritma Genetika

Tujuan dari algoritma genetika adalah mencari *fitness value* dari individu di suatu populasi. Proses keseluruhan merupakan proses iterasi dari generasi ke generasi, dimana setiap generasi menghasilkan keturunan atau *offspring*, dimana setiap keturunan mempunyai individu yang baik dibandingkan orang-tua atau *parent*. Keturunan individu yang terbaik akan terpilih lagi menjadi parent pada generasi berikutnya. Proses ini terus menerus sampai fitness value dapat ditemukan. Terdapat 5 fase dalam algoritma genetika, yaitu sebagai berikut :

1. Inisialisasi Populasi

Proses dimulai dengan menginisialisasi beberapa individu atau disebut dengan populasi. Setiap individu adalah suatu solusi atau *fitness value* yang ingin dicari. Setiap individu merupakan sekumpulan dari *Genes* atau gen atau disebut dengan *Chromosome* (kromosom). Di algoritma genetika, sekumpulan gen ini direpresentasikan dengan kode biner.



Gambar 2. 6 Gen, Kromosom dan Populasi

(Sumber : Gia Muhamad Agusta, 2018)

2. Fungsi Fitnes

Fungsi fitnes menentukan seberapa fit nilai dari suatu individu. Fungsi ini menghasilkan score atau *fitness value* yang dicari dari setiap individu.

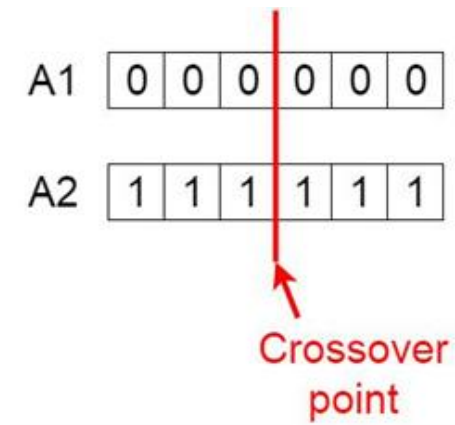
3. Seleksi

Pada fase ini individu yang memiliki nilai paling fit dibiarkan untuk menjadi parent pada generasi berikutnya. Salah satu metode yang paling populer pada fase ini adalah metode roulette.

4. Kawin silang

Fase ini adalah fase paling signifikan pada algoritma genetika. Setiap pasangan individu yang dijadikan parent kemudian disilangkan untuk membentuk individu baru. Teknik persilangan digunakan dengan

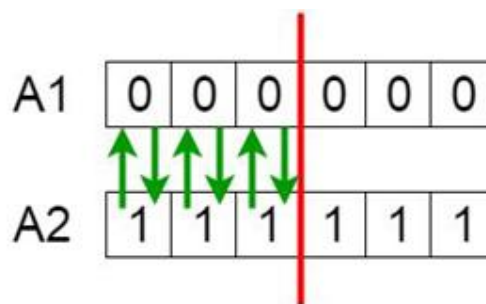
menentukan *crossover point* secara random didalam kromosom. Contoh dapat dilihat pada gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2. 7 Kawin Silang Fitnes

(Sumber : Gia Muhamad Agusta, 2018)

Keturunan akan ‘terlahir’ dengan menukar gen diantara parent sampai titik *crossover point*.



Gambar 2. 8 Penukaran gen antara parent

(Sumber : Gia Muhamad Agusta, 2018)

Setelah penukaran, keturunan baru dimasukan ke populasi.

5. Mutasi

Setelah keturunan baru dibuat, beberapa gen pada setiap individu dilakukan mutasi dengan probabilitas tertentu, biasanya dengan probabilitas yang rendah. Mutasi dapat dilihat pada gambar 2.9 . Mutasi dilakukan untuk

mengendalikan keberagaman dalam populasi dan mencegah konvergensi yang terlalu dini.

Before Mutation						
A5	1	1	1	0	0	0
After Mutation						
A5	1	1	0	1	1	0

Gambar 2. 9 Sebelum dan sesudah mutasi

(Sumber : Gia Muhamad Agusta, 2018)

Algoritma akan berhenti ketika populasi telah konvergen, tidak lagi memproduksi keturunan yang signifikan dari generasi sebelumnya. Dengan kata lain pada tahap ini algoritma genetika telah memberikan solusi dari masalah yang didefinisikan.

c. Fungsi objektif optimasi algoritma genetika

Dalam proses optimasi penempatan *tie switch* pada sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako, digunakan fungsi objektif yang bertujuan untuk meminimalkan total rugi daya ($P_{loss, total}$) pada jaringan distribusi. Semakin kecil rugi daya yang terjadi, maka semakin efisien sistem dalam menyalurkan energi listrik dari sumber ke beban. Nilai rugi daya total dihitung berdasarkan hasil analisis aliran daya (*load flow*) untuk setiap konfigurasi jaringan yang dihasilkan oleh algoritma. Nilai fungsi objektif $f(x)$ tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai fitness (*fitness value*), yang menjadi ukuran kualitas setiap individu (konfigurasi *tie switch*). Karena tujuan optimasi adalah meminimalkan rugi daya, maka fungsi *fitness* didefinisikan

berbanding terbalik terhadap total rugi daya. Dengan demikian, semakin kecil nilai rugi daya yang dihasilkan, semakin besar pula nilai *fitness* yang diperoleh. Individu dengan nilai *fitness* tertinggi dianggap paling optimal dan memiliki peluang lebih besar untuk dipilih, dikombinasikan (*crossover*), serta dimutasi dalam proses evolusi berikutnya hingga diperoleh konfigurasi *tie switch* dengan rugi daya minimum dan kinerja sistem yang optimal.

d. Larangan pada algoritma genetika

Dalam optimasi sistem distribusi tenaga listrik menggunakan algoritma genetika (GA), selain mempertimbangkan fungsi objektif untuk meminimalkan rugi daya, diperlukan juga *constraint* (larangan) agar solusi yang diperoleh tetap memenuhi kondisi teknis dan operasional sistem distribusi. *Constraint* ini berfungsi membatasi ruang pencarian solusi agar konfigurasi yang dihasilkan tidak hanya optimal secara matematis, tetapi juga layak diterapkan secara teknis. Adapun *constraint* utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kondisi Radial Sistem

Sistem distribusi tenaga listrik umumnya beroperasi dalam bentuk radial, yaitu memiliki satu jalur utama dari sumber menuju beban tanpa membentuk loop tertutup. Kondisi ini penting untuk memastikan Sistem tetap stabil dan mudah dikendalikan, Arus gangguan mudah dilokalisasi, Koordinasi proteksi tetap terjaga. Oleh karena itu, selama proses rekonfigurasi menggunakan algoritma genetika, konfigurasi yang menyebabkan terbentuknya loop akan dianggap tidak valid dan dieliminasi dari populasi.

2. Batas Tegangan (*Voltage Limits*)

Tegangan pada setiap bus harus berada dalam rentang yang diizinkan agar kualitas daya tetap terjaga dan peralatan listrik tidak mengalami gangguan. Konfigurasi yang menghasilkan tegangan di luar batas +5% dan – 10 % dianggap melanggar *constraint* dan akan diberi nilai *fitness* rendah agar tidak terpilih dalam proses evolusi berikutnya, Batasan tegangan ini mengacu pada standar IEC 60038 terkait standar tegangan sistem tenaga kelistrikan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bahan dan Alat Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian “Optimasi Penempatan *Tiew Swicth* Sistem Distribusi Radial 20 kV Universitas Tadulako Untuk Minimasi Rugi Daya Berbasis Algoritma Genetika” adalah sebagai berikut :

3.1.1 Bahan Penelitian

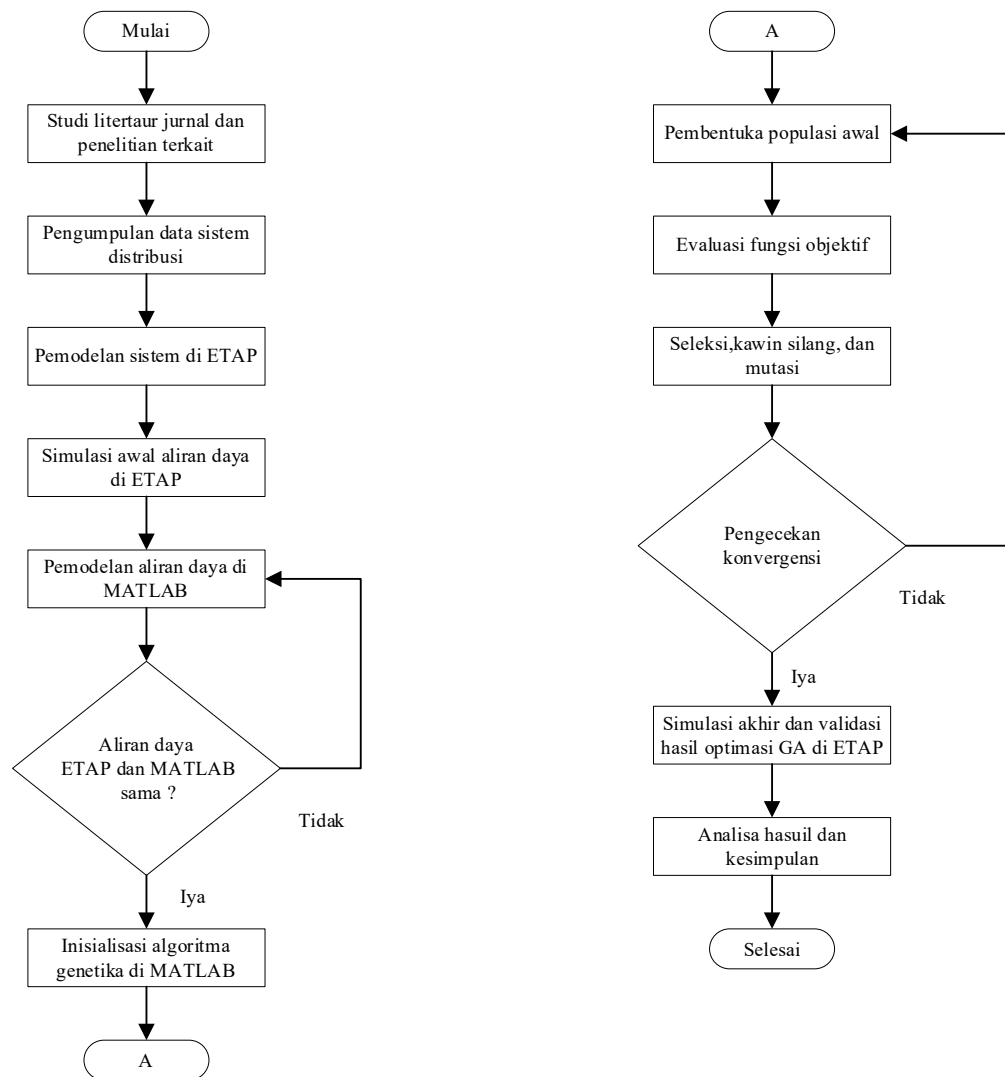
- a. Diagram Satu Garis (*Single Line Diagram*) *Master Plan* Kelistrikan Untad 2025-2045
- b. Data Perencanaan berupa data Beban, Data saluran (*line* atau *feeder*), dan Data Bus.

3.1.2 Alat Penelitian

- a. Laptop
- b. Software ETAP (*Electrical Trancient and Analylis Program*) 21.0.1
- c. Software MATLAB (*Matrix Laboratory*)

3.2 Cara Penelitian

Adapun diagram alir (*flowchart*) rencana penelitian yang dilakukan adalah :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian (*Flowchart*)

a. Mulai

Tahapan ini merupakan awal dari seluruh proses penelitian optimasi penempatan *tie switch* pada sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako. Pada

tahap ini dilakukan persiapan awal berupa penentuan tujuan, ruang lingkup, dan perangkat lunak yang akan digunakan, yaitu ETAP dan MATLAB.

b. Studi Literatur Jurnal dan Penelitian Terkait

Tahapan ini dilakukan untuk memperoleh dasar teori yang kuat mengenai sistem distribusi tenaga listrik, metode aliran daya *Distribution Load Flow (DLF)*, serta algoritma genetika (GA) sebagai metode optimasi. Selain itu, dilakukan juga peninjauan terhadap penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik untuk memperkuat metode yang digunakan.

c. Pengumpulan Data Sistem Distribusi

Pada tahap ini dikumpulkan seluruh data yang dibutuhkan untuk proses pemodelan, seperti data bus, data saluran (resistansi dan reaktansi), data beban, serta data status *switch*. Data ini menjadi dasar dalam membangun model sistem pada ETAP dan MATLAB.

d. Pemodelan Sistem di ETAP

Data sistem distribusi yang telah dikumpulkan kemudian dimasukkan ke dalam perangkat lunak ETAP untuk membentuk model jaringan distribusi 20 kV. Model ini mencakup bus, saluran, beban, dan posisi *switch* sesuai data perencanaan sistem Universitas Tadulako.

e. Simulasi Awal Aliran Daya

Setelah model selesai dibangun di ETAP, dilakukan simulasi aliran daya untuk mengetahui kondisi awal sistem sebelum dilakukan optimasi. Hasil simulasi

berupa profil tegangan setiap bus, serta rugi daya aktif dan reaktif pada setiap saluran.

f. Pemodelan Aliran Daya di MATLAB

Tahap ini dilakukan untuk memverifikasi hasil simulasi ETAP menggunakan metode *Distribution Load Flow (DLF)* di MATLAB. Perhitungan dilakukan dengan membentuk matriks BIBC dan BCBV untuk menghitung arus serta tegangan bus berdasarkan metode *Backward-Forward Sweep*. Hasil simulasi MATLAB dibandingkan dengan hasil ETAP. Apabila nilai rugi daya dan profil tegangan memiliki selisih yang kecil, maka model sistem dinyatakan valid dan dapat digunakan untuk tahap optimasi.

g. Inisialisasi Parameter *Genetic Algorithm* (GA)

Setelah model tervalidasi, ditentukan parameter-parameter awal algoritma genetika seperti ukuran populasi, jumlah generasi, probabilitas *crossover*, dan probabilitas mutasi. Parameter ini berfungsi untuk mengatur proses evolusi dalam mencari solusi terbaik.

h. Pembentukan Populasi Awal (Konfigurasi *Tie Switch*)

Pada tahap ini, algoritma genetika membentuk populasi awal yang berisi sejumlah *kromosom*. Setiap kromosom mewakili satu konfigurasi penempatan *tie switch* yang berbeda pada sistem distribusi.

i. Evaluasi Fungsi Objektif Tiap Kromosom

Setiap kromosom dievaluasi dengan menjalankan simulasi aliran daya menggunakan metode DLF. Nilai total rugi daya sistem dihitung sebagai fungsi objektif. Kromosom dengan rugi daya lebih kecil memiliki nilai *fitness* yang lebih baik. Jika *load flow* tidak konvergen, maka kromosom diberi penalti agar tidak terpilih pada generasi berikutnya.

j. Proses Seleksi, *Crossover*, dan Mutasi

Kromosom dengan nilai *fitness* terbaik dipilih untuk proses seleksi. Selanjutnya dilakukan *crossover* untuk menghasilkan kromosom baru melalui pertukaran gen antar individu. Mutasi dilakukan secara acak untuk menjaga keragaman populasi dan mencegah solusi terjebak pada optimum lokal.

k. Pengecekan Konvergensi atau Iterasi Maksimum

Pada tahap ini dilakukan pemeriksaan apakah algoritma genetika telah mencapai konvergensi, yaitu kondisi di mana nilai *fitness* terbaik tidak berubah secara signifikan antar generasi. Jika belum konvergen, maka proses kembali ke tahap pembentukan populasi baru untuk dilakukan evolusi ulang.

l. Output Hasil Optimasi dan Verifikasi Hasil Akhir di ETAP

Setelah algoritma genetika mencapai konvergensi, diperoleh hasil optimasi berupa posisi *tie switch* terbaik, nilai rugi daya minimum, serta profil tegangan sistem setelah rekonfigurasi jaringan. Konfigurasi *tie switch* hasil optimasi dari MATLAB kemudian diuji kembali di ETAP untuk memastikan hasil simulasi tetap valid dan konsisten. Apabila hasil ETAP sesuai dengan hasil MATLAB, maka hasil optimasi dinyatakan berhasil.

m. Selesai

Tahapan ini menandai akhir dari seluruh proses penelitian. Hasil akhir berupa konfigurasi *tie switch* optimal, penurunan rugi daya total, serta peningkatan profil tegangan jaringan distribusi 20 kV Universitas Tadulako

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas simulasi sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako menggunakan perangkat lunak MATLAB dan ETAP. Simulasi dilakukan untuk menganalisis aliran daya pada dua kondisi, yaitu kondisi normal tanpa gangguan dan kondisi setelah rekonfigurasi jaringan akibat adanya gangguan antar bus. Rekonfigurasi jaringan dilakukan berdasarkan hasil optimasi penempatan *tie switch* menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA). Hasil simulasi pada kondisi awal atau sebelum optimasi mencakup rugi-rugi daya saluran serta profil tegangan pada setiap bus dalam sistem distribusi. Nilai rugi daya total sistem ini dijadikan acuan dalam proses optimasi penempatan *tie switch* dengan tujuan meminimalkan rugi daya aktif total.

Proses optimasi dilakukan dengan metode *Genetic Algorithm* (GA) sebagaimana telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Metode ini digunakan untuk menentukan kombinasi posisi *tie switch* yang menghasilkan rugi daya total paling kecil, dengan tetap mempertahankan konfigurasi sistem dalam kondisi radial serta memastikan tegangan berada dalam batas standar yang diizinkan. Fungsi objektif yang digunakan adalah meminimalkan total rugi daya aktif (P_{loss} total) pada jaringan distribusi 20 kV Universitas Tadulako. Data yang digunakan merupakan data perencanaan sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako, yang meliputi data saluran berupa nilai resistansi dan reaktansi pada setiap saluran, serta data beban berupa daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada tiap bus. Data tersebut digunakan

dalam perhitungan aliran daya menggunakan metode *Distribution Load Flow (DLF)*. Kode program DLF yang digunakan pada penelitian ini telah divalidasi menggunakan sistem *simple radial distribution system 6 bus* pada MATLAB dan ETAP, sehingga keakuratan perhitungan aliran daya dapat dipastikan.

Pada lampiran 2 Gambar *Layout* sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako telah dilakukan penambahan saluran *tie switch* pada beberapa titik strategis jaringan. Dalam proses perencanaannya, penentuan lokasi *tie switch* tidak hanya mempertimbangkan efisiensi teknis, tetapi juga mengacu pada syarat dan ketentuan pembangunan jaringan tegangan menengah sesuai standar PLN (SPLN) dan (PERMEN ESDM No.10 Tahun 2021) tentang keselamatan tenaga kelistrikan, agar desain yang dihasilkan tetap aman, efisien, serta sesuai dengan ketentuan teknis yang berlaku. Selain itu, *layout* yang telah dilengkapi *tie switch* ini juga menjadi acuan penting dalam pembuatan single line diagram di ETAP dan penyusunan program perhitungan aliran daya di MATLAB, sehingga konfigurasi jaringan yang dianalisis dapat merepresentasikan kondisi aktual sistem distribusi secara lebih akurat.

Secara teknis, beberapa pertimbangan utama dalam penentuan lokasi *tie switch* antara lain:

1. Efisiensi jaringan

Penempatan *tie switch* difokuskan pada area antar *feeder* yang berdekatan untuk mengurangi rugi daya dan kebutuhan konduktor tambahan, sekaligus menekan biaya instalasi. Pertimbangan ini sesuai dengan yang mengharuskan desain memperhatikan efisiensi material serta optimalisasi

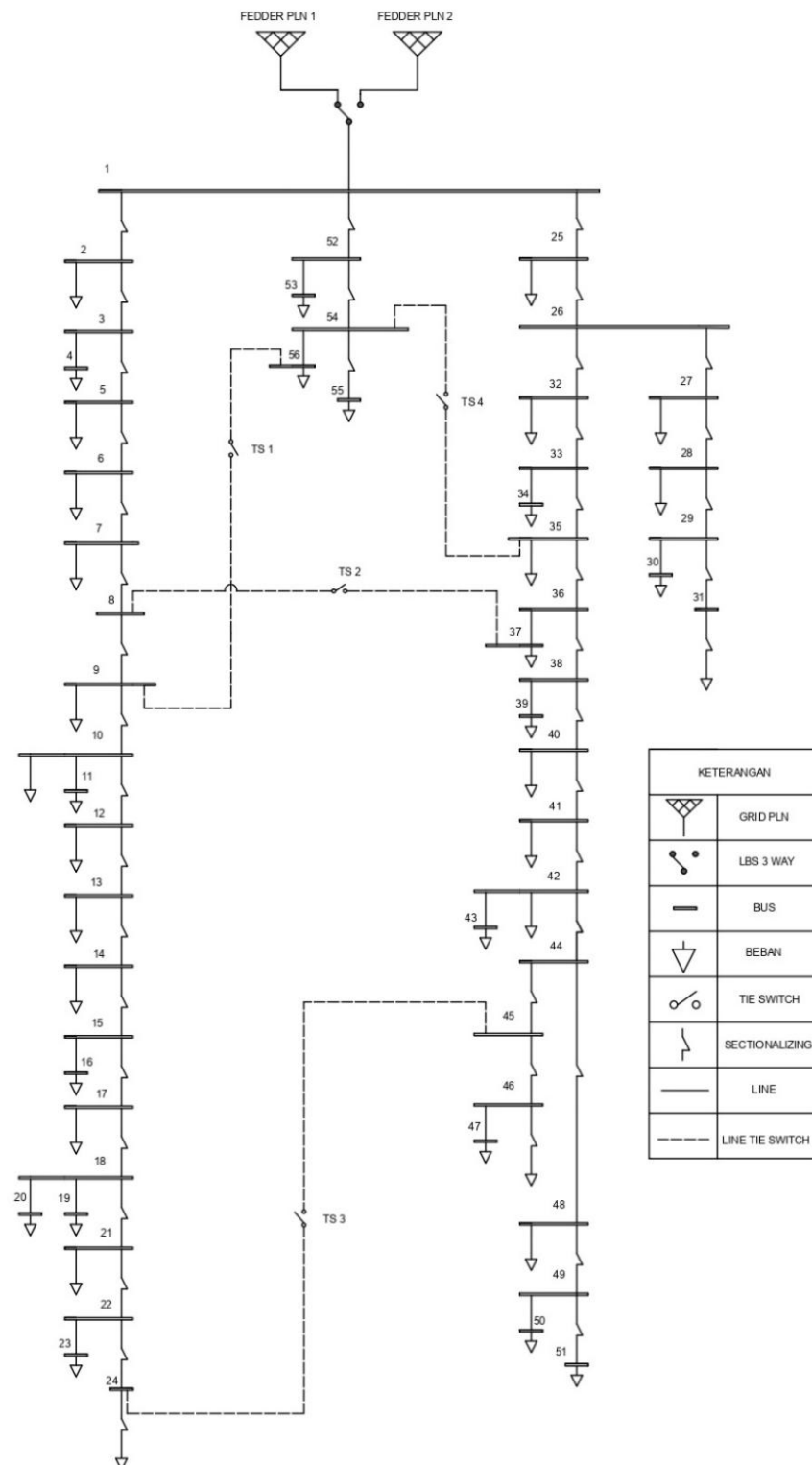
aturan teknis konstruksi jaringan tegangan menengah (PLN Buku 5) konfigurasi jaringan.

2. Keamanan dan aksesibilitas

Lokasi *tie switch* ditempatkan pada jalur utama kampus yang tidak melintasi area gedung atau lokasi padat aktivitas manusia. Hal ini memenuhi persyaratan jarak aman dan ruang bebas minimum antara jaringan tegangan menengah dengan bangunan sebagaimana diatur dalam teknis konstruksi jaringan tegangan menengah (PLN Buku 5) dan PERMEN No 10 tahun 2021, sehingga memudahkan inspeksi serta pemeliharaan jaringan tanpa menimbulkan risiko keselamatan.

3. Kesesuaian dengan rancangan sistem

Posisi *tie switch* ditentukan berdasarkan konfigurasi sistem yang dirancang, sehingga dalam penempatannya tidak banyak merubah konfigurasi jaringan yang telah rancang sebelumnya.



Gambar 4. 1 Diagram satu garis sistem distribusi radial 20 kV Universitas

Tadulako

Pada gambar 4.1 Sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako dimodelkan terdiri atas 56 bus. Pada sistem ini, bus 1 berperan sebagai *bus swing (slack bus)* yang berfungsi sebagai titik referensi tegangan. Bus dengan nilai daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) tertentu dikategorikan sebagai bus beban (*PQ bus*), yaitu bus yang melayani konsumsi daya listrik oleh pelanggan atau gardu distribusi. Sementara itu, bus yang tidak memiliki beban ($P = 0$ dan $Q = 0$) diklasifikasikan sebagai bus cabang atau titik percabangan saluran, yang berfungsi sebagai jalur penghubung antar bus. Struktur sistem ini bersifat radial, di mana aliran daya berasal dari *bus swing* dan mengalir menuju bus-bus beban melalui bus cabang.

Dalam Simulasi dan perhitungan, parameter utama yang diamati adalah profil tegangan pada tiap-tiap bus dan rugi daya aktif total sistem. Sistem dianggap telah mencapai kondisi optimal apabila tegangan pada tiap bus berada dalam rentang 0,90–1,05 p.u. (+5% dan -10 %) dari tegangan nominal sesuai dengan standar IEC 60038 *Standar voltages*, dan rugi daya aktif total sistem menunjukkan nilai paling minimal setelah proses optimasi.

4.1 Hasil simulasi aliran daya sistem distribusi radial 20 kV Universitas Tadulako

Hasil simulasi sistem dasar atau sebelum dilakukan optimasi penempatan *tie switch* menunjukkan profil tegangan pada setiap bus serta rugi-rugi daya pada masing-masing saluran. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui kondisi awal sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako berdasarkan data perencanaan yang meliputi data bus, saluran, dan beban. Perhitungan aliran daya dilakukan menggunakan metode *Distribution Load Flow (DLF)* berbasis *Backward-Forward*

Sweep untuk memperoleh besaran tegangan, serta rugi daya aktif dan reaktif pada setiap saluran. Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan dua perangkat lunak, yaitu ETAP dan MATLAB. Simulasi di ETAP digunakan sebagai acuan referensi karena memiliki tingkat keandalan tinggi dan banyak digunakan dalam analisis sistem tenaga listrik. Sementara itu, program *load flow* berbasis DLF di MATLAB dikembangkan secara mandiri untuk mendukung proses optimasi penempatan *tie switch* menggunakan algoritma genetika (GA).

Perbandingan antara hasil simulasi ETAP dan MATLAB dilakukan untuk memvalidasi tingkat keakuratan program *load flow* yang digunakan pada tahap optimasi. Adapun hasil perhitungan aliran daya sebelum optimasi yang mencakup nilai tegangan tiap bus, rugi daya aktif dan reaktif antar bus, serta rugi daya total sistem disajikan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 berikut.

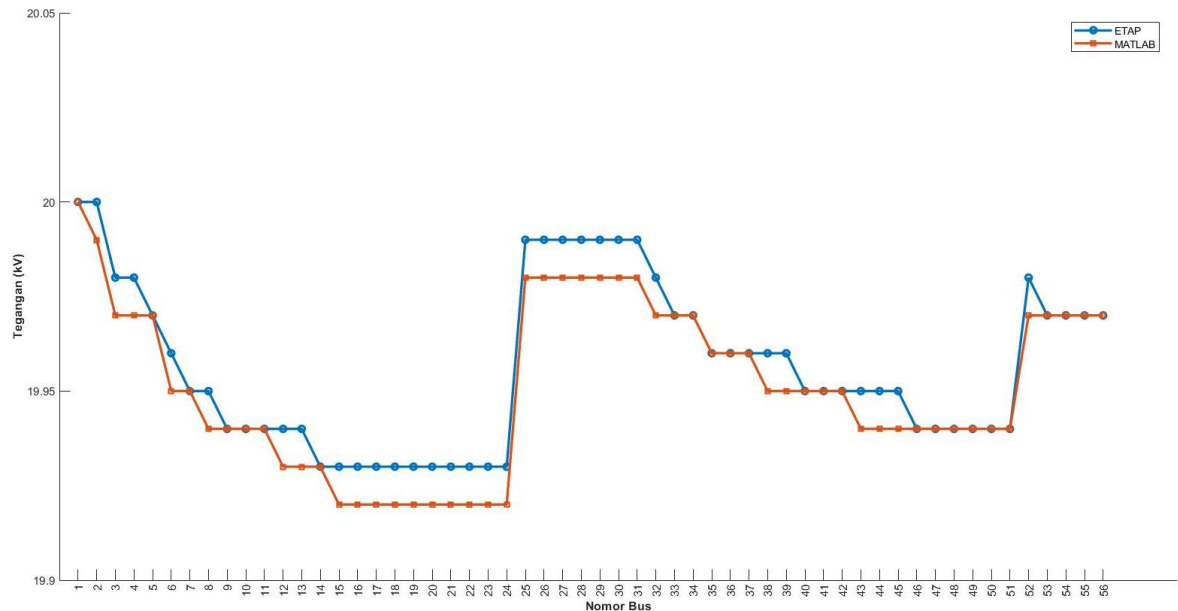
Tabel 4. 1 Hasil Simulasi Tegangan sistem distribusi radial 20 kV Universitas

Tadulako

BUS	ETAP		MATLAB		ERORR	
	VOLTAGE (kV)	ANGLE (deg)	VOLTAGE (kV)	ANGLE (deg)	VOLTAGE (%)	ANGLE (%)
1	20	0	20	0	0,0	0
2	20	0	19,99	0	0,1	0
3	19,98	0	19,97	0	0,1	0
4	19,98	0	19,97	0	0,1	0
5	19,97	0	19,97	0	0,0	0
6	19,96	0	19,95	0	0,1	0
7	19,95	0	19,95	0	0,0	0
8	19,95	-0,09	19,94	-0,1	0,1	10
9	19,94	-0,1	19,94	-0,1	0,0	0
10	19,94	-0,1	19,94	-0,1	0,0	0
11	19,94	-0,1	19,94	-0,1	0,0	0
12	19,94	-0,1	19,93	-0,1	0,1	0
13	19,94	-0,1	19,93	-0,1	0,1	0
14	19,93	-0,1	19,93	-0,1	0,0	0
15	19,93	-0,1	19,92	-0,1	0,1	0
16	19,93	-0,1	19,92	-0,1	0,1	0
17	19,93	-0,1	19,92	-0,1	0,1	0
18	19,93	-0,1	19,92	-0,1	0,1	0
19	19,93	-0,1	19,92	-0,1	0,1	0

BUS	ETAP		MATLAB		ERORR	
	VOLTAGE (kV)	ANGLE (deg)	VOLTAGE (kV)	ANGLE (deg)	VOLTAGE (%)	ANGLE (%)
20	19,93	-0,1	19,92	-0,1	0,1	0
21	19,93	-0,1	19,92	-0,1	0,1	0
22	19,93	-0,1	19,92	-0,1	0,1	0
23	19,93	-0,1	19,92	-0,1	0,1	0
24	19,93	-0,1	19,92	-0,1	0,1	0
25	19,99	0	19,98	0	0,1	0
26	19,99	0	19,98	0	0,1	0
27	19,99	0	19,98	0	0,1	0
28	19,99	0	19,98	0	0,1	0
29	19,99	0	19,98	0	0,1	0
30	19,99	0	19,98	0	0,1	0
31	19,99	0	19,98	0	0,1	0
32	19,98	0	19,97	0	0,1	0
33	19,97	0	19,97	0	0,0	0
34	19,97	0	19,97	0	0,0	0
35	19,96	0	19,96	0	0,0	0
36	19,96	0	19,96	0	0,0	0
37	19,96	0	19,96	0	0,0	0
38	19,96	0	19,95	0	0,1	0
39	19,96	0	19,95	0	0,1	0
40	19,95	0	19,95	0	0,0	0
41	19,95	-0,1	19,95	-0,1	0,0	0
42	19,95	-0,1	19,94	-0,1	0,1	0
43	19,95	-0,1	19,94	-0,1	0,1	0
44	19,95	-0,1	19,94	-0,1	0,1	0
45	19,94	-0,1	19,94	-0,1	0,0	0
46	19,94	-0,1	19,94	-0,1	0,0	0
47	19,94	-0,1	19,94	-0,1	0,0	0
48	19,94	-0,1	19,94	-0,1	0,0	0
49	19,94	-0,1	19,94	-0,1	0,0	0
50	19,94	-0,1	19,94	-0,1	0,0	0
51	19,94	-0,1	19,94	-0,1	0,0	0
52	19,98	0	19,97	0	0,1	0
53	19,97	0	19,97	0	0,0	0
54	19,97	0	19,97	0	0,0	0
55	19,97	0	19,97	0	0,0	0
56	19,97	0	19,97	0	0,0	0

Dibawah ini merupakan grafik perbandingan hasil simulasi aliran daya berupa rating tegangan tiap bus pada sistem distribusi radial 20 kV Universitas Tadulako menggunakan *software* ETAP dan MATLAB.



Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Tegangan sistem distribusi 20 kV Universitas tadulako

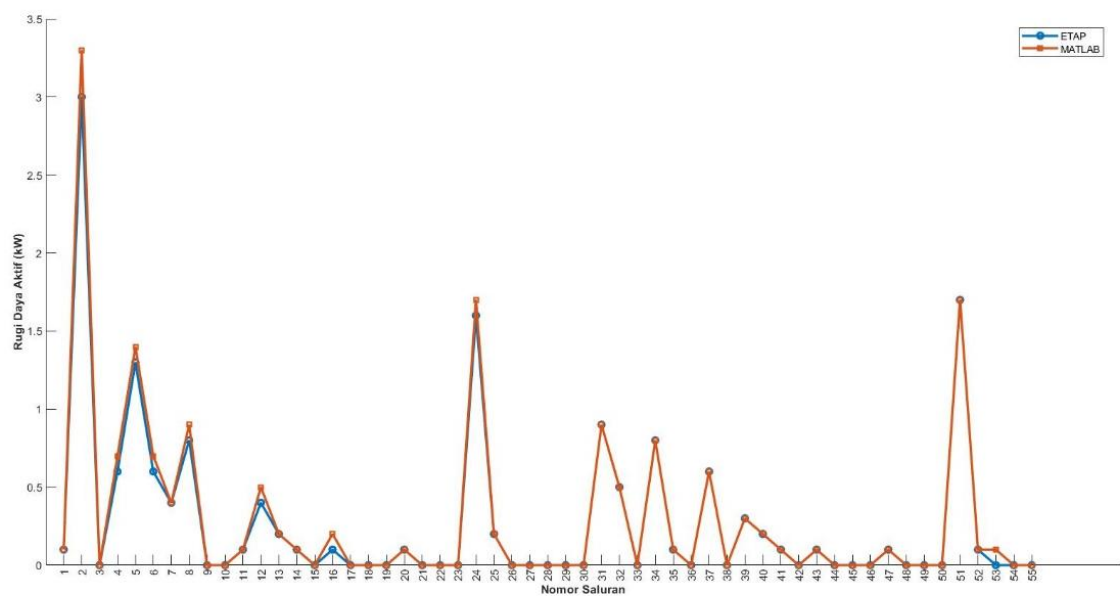
Berdasarkan hasil perbandingan antara simulasi ETAP dan MATLAB pada sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako, diperoleh nilai *deviasi* profil tegangan yang sangat kecil, yaitu di bawah 0.1%. Nilai tegangan pada setiap bus menunjukkan pola yang sama, dimana terjadi penurunan tegangan bertahap seiring dengan bertambahnya jarak bus dari sumber. Hasil ini menunjukkan bahwa metode *Distribution Load Flow (DLF)* yang diterapkan di MATLAB mampu merepresentasikan kondisi sistem distribusi dengan tingkat akurasi yang tinggi dan dapat digunakan untuk proses optimasi penempatan *tie switch*.

Tabel 4. 2 Hasil Simulasi Rugi-rugi daya Sistem distribusi 20 kV Universitas

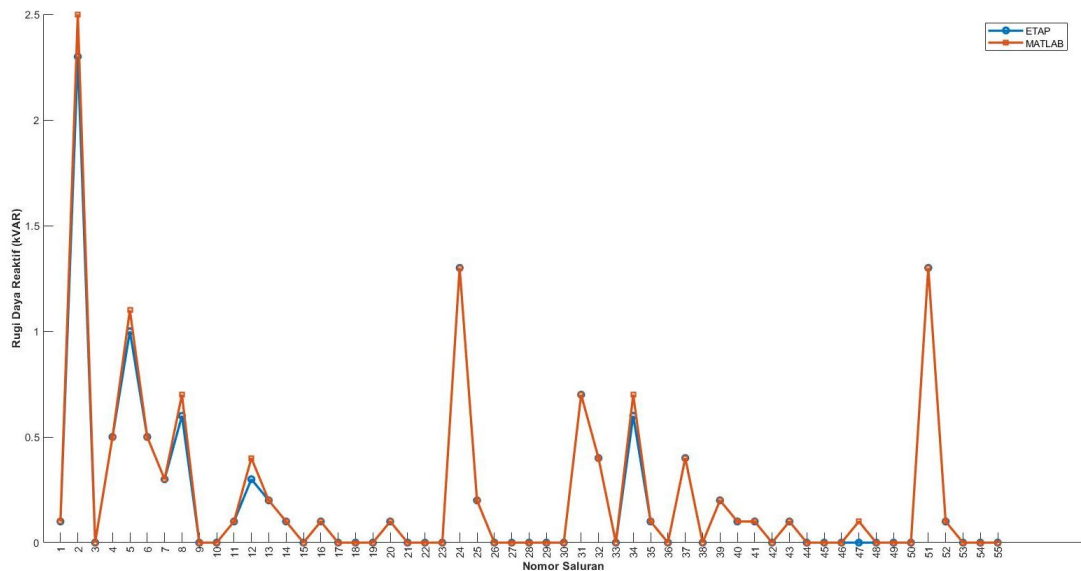
Tadulako

BUS		SALURAN	ETAP		MATLAB		ERORR	
DARI	KE		Plosses (kW)	Qlosses (kVar)	Plosses (kW)	Qlosses (kVar)	Plosses (%)	Qlosses (%)
1	2	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
2	3	2	3,0	2,3	3,3	2,5	8,5	9,4
3	4	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	5	4	0,6	0,5	0,7	0,5	10,4	3,8
5	6	5	1,3	1,0	1,4	1,1	9,7	10,7
6	7	6	0,6	0,5	0,7	0,5	14,3	7,4
7	8	7	0,4	0,3	0,4	0,3	0,0	3,2
8	9	8	0,8	0,6	0,9	0,7	8,0	11,8
9	10	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	11	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	12	11	0,1	0,1	0,1	0,1	28,6	9,1
12	13	12	0,4	0,3	0,5	0,4	20,0	23,1
13	14	13	0,2	0,2	0,2	0,2	13,0	11,1
14	15	14	0,1	0,1	0,1	0,1	11,1	42
15	16	15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	17	16	0,1	0,1	0,2	0,1	33,3	16,7
17	18	17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	19	18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	20	19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	21	20	0,1	0,1	0,1	0,1	16,7	0,0
21	22	21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	23	22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	24	23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	25	24	1,6	1,3	1,7	1,3	3,6	1,6
25	26	25	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	25,0
26	27	26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	28	27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	29	28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	30	29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	31	30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	32	31	0,9	0,7	0,9	0,7	0,0	0,0
32	33	32	0,5	0,4	0,5	0,4	4,2	8,1
33	34	33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
33	35	34	0,8	0,6	0,8	0,7	4,8	7,7
35	36	35	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	25,0
36	37	36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36	38	37	0,6	0,4	0,6	0,4	7,1	9,1
38	39	38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
38	40	39	0,3	0,2	0,3	0,2	3,4	13,0
40	41	40	0,2	0,1	0,2	0,1	17,6	23,1
41	42	41	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	42,9
42	43	42	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
42	44	43	0,1	0,1	0,1	0,1	28,6	9,1
44	45	44	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
45	46	45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
46	47	46	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
44	48	47	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	100,0
48	49	48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
49	50	49	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

BUS		SALURAN	ETAP		MATLAB		ERORR	
DARI	KE		Plosses (kW)	Qlosses (kVar)	Plosses (kW)	Qlosses (kVar)	Plosses (%)	Qlosses (%)
49	51	50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	52	51	1,7	1,3	1,7	1,3	1,8	0,8
52	53	52	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
52	54	53	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
54	55	54	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
54	56	55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL			15,2	11,8	16,19	12,55	6,1	6,0



Gambar 4. 3 Grafik perbandingan rugi-rugi daya Aktif sistem distribusi 20 kV



Gambar 4. 4 Grafik perbandingan rugi-rugi daya reaktif sistem distribusi 20 kV Universitas tadulako

Berdasarkan hasil perbandingan rugi daya aktif dan reaktif antara simulasi ETAP dan MATLAB, diperoleh total rugi daya aktif sebesar 15,2 kW pada ETAP dan 16,19 kW pada MATLAB, serta rugi daya reaktif sebesar 11,8 kVar pada ETAP dan 12,55 kVar pada MATLAB. Perbedaan hasil tersebut menunjukkan deviasi sebesar 6,1% untuk rugi daya aktif dan 6,0 % untuk rugi daya reaktif. Nilai ini masih berada dalam batas toleransi perhitungan aliran daya distribusi radial. Dengan demikian, metode *Distribution Load Flow* pada MATLAB dapat dinyatakan valid dan layak digunakan sebagai dasar proses optimasi sistem.

4.2 Optimasi Penempatan *Tie Switch* Sistem Distribusi Radial 20 kV Universitas Tadulako

Optimasi penempatan *tie switch* pada sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA). Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam menemukan solusi optimal pada permasalahan kompleks yang melibatkan banyak variabel dan batasan, seperti konfigurasi jaringan distribusi yang harus tetap berbentuk radial dan tegangan sistem tetap berada di +5% dan -10 % sesuai standar IEC 60038 *Standar volatgaes* . Proses optimasi dilakukan dengan memanfaatkan hasil analisis aliran daya dari perangkat lunak MATLAB, di mana setiap konfigurasi jaringan dievaluasi berdasarkan besarnya rugi daya aktif yang terjadi. Hasil dari proses ini diharapkan mampu menentukan kombinasi *tie switch* terbaik yang dapat meminimalkan rugi daya sekaligus mempertahankan keandalan serta kontinuitas penyaluran daya listrik pada sistem distribusi kampus Universitas Tadulako.

4.2.1 Fungsi Objektif

Fungsi objektif dalam proses optimasi ini adalah meminimalkan total rugi daya aktif (P_{loss}) pada sistem distribusi radial Universitas Tadulako. Semakin kecil nilai P_{loss} pasca rekonfigurasi jaringan, semakin baik nilai *fitness*, sehingga pada tahap seleksi peluang terpilih untuk individu dengan nilai *fitness* yang baik akan semakin besar. Secara matematis fungsi objektif dapat di tuliskan sebagai :

$$\text{Minimize } P_{loss, total} = \sum_{i=1}^n I^2 R_i \dots \dots \dots (6)$$

Dimana :

Ploss, total	= Total rugi daya aktif pada sistem distribusi (kW)
n	= Jumlah total saluran atau cabang dalam sistem distribusi
I_i	= Arus yang mengalir pada saluran ke-i (A)
R_i	= Resistansi saluran ke-i (Ω)

Secara kode program, fungsi objektif diimplementasikan untuk mencari nilai rugi daya total terkecil dari seluruh populasi pada setiap iterasi algoritma genetika. Potongan kode berikut menunjukkan proses penyimpanan solusi terbaik berdasarkan nilai total rugi daya aktif terkecil:

```
% Simpan solusi terbaik
if totPloss < target
    target = totPloss;
    best_buspair = bus_pair_list(pos_col);
    best_pos_col = pos_col;
    best_krom = s;
```

Gambar 4. 5 Kode program fungsi objektif untuk menentukan rugi daya terkecil pada tiap iterasi.

Dengan rumus perhitungan rugi-rugi daya aktif pada setiap saluran ke-i dihitung dengan metode *Backward-Forward Sweep (BFS)* untuk *Distribution Load Flow* menggunakan persamaan berikut:

$$P_{loss} = \frac{I^2 * R}{1000} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

P_{loss} = Rugi daya aktif pada satu saluran (kW)

I = Arus yang mengalir pada saluran (A)

R = Resistansi saluran (Ω)

Secara kode program , rumus perhitungan rugi-rugi daya dapat di tuliskan sebagai berikut:

```
%losses
lossesP = ((arus1.^2).*linedata(:,3))/1000;
```

Gambar 4. 6 kode program perhitungan rugi daya aktif pada saluran distribusi menggunakan MATLAB.

4.2.2 Kendala Sistem (*Constraint*)

Dalam proses optimasi, sistem harus tetap memenuhi beberapa batasan teknis (*constraints*) agar hasil optimasi tetap layak secara operasional. Adapun batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Kondisi Radial Sistem

Jaringan distribusi harus tetap dalam bentuk radial, artinya tidak boleh terjadi loop tertutup antar penyulang. Oleh karena itu, pada setiap skenario gangguan hanya satu *tie switch* yang dapat diaktifkan, sementara yang lain tetap terbuka. Ketentuan ini juga diterapkan di dalam kode MATLAB untuk menjamin kestabilan sistem dan menghindari arus sirkulasi. Secara matematis dapat di tuliskan sebagai :

$$Kromosom = [g_1, g_2, g_3, g_4] \dots \dots \dots (8)$$

Dengan

$$g_i \in \{0,1\}, \quad \sum_{i=1}^n g_i = 1 \dots \dots \dots (9)$$

Dimana :

Kromosom = Representasi solusi kandidat dalam algoritma genetika.

g_i = Gen ke-i, yang menyatakan status posisi *tie switch* pada jaringan distribusi.

Nilai *g_i* = 1 = menunjukkan *tie switch* aktif (terbuka atau digunakan untuk menggantikan saluran gangguan).

Nilai *g_i* = 0 = menunjukkan *tie switch* tidak aktif.

n = Jumlah total kandidat lokasi *tie switch* yang dapat dipilih.

Sehingga hanya satu gen yang bernilai 1 dan secara kode program untuk menjaga radialitas sistem dapat di tuliskan sebagai berikut :

```
%% --- Fungsi bantu: perbaikiGen ---
function krom = perbaikiGen(krom, genSize)
    % pastikan hanya 1 gen aktif
    if sum(krom) == 0
        pos = randi(genSize);
        krom(pos) = 1;
    elseif sum(krom) > 1
        aktif = find(krom==1);
        pilih = randsample(aktif,1);
        krom(:) = 0;
        krom(pilih) = 1;
    end
end
```

Gambar 4. 7 kode program Batasan sehingga sistem tetap dalam kondisi radial (1 *tie swith* aktif).

b. Batas Tegangan Bus

Tegangan pada setiap bus harus berada dalam +5 dan -10 % sesuai dengan standar *IEC 60038 standar voltages*, dari tegangan nominal (20 kV). Apabila hasil perhitungan *load flow* menunjukkan adanya tegangan yang melebihi batas atas atau bawah, maka konfigurasi tersebut diberikan penalti besar ($fitness = 1e6$) dan tidak dianggap sebagai solusi layak. Secara matematis untuk mendapatkan Solusi terbaik dengan tetap menjaga batas tegangan sistem di tuliskan sebagai berikut :

$$0.90 V_{nom} \leq V_i \leq 1.05 V_{nom} \dots \dots \dots (10)$$

Dimana :

V_i = Tegangan pada bus ke- i (kV atau p.u.)

V_{nom} = Tegangan nominal sistem distribusi (misalnya 20 kV)

Sehingga, berdasarkan fungsi matematis batas tegangan sistem, dapat di tuliskan kode programnya sebagai berikut :

```
batas_atas = 1.05 * tegangan;    % +5%
batas_bawah = 0.90 * tegangan;    % -10%
if any(Vend_R > batas_atas | Vend_R < batas_bawah)
    % Jika ada tegangan tidak aman â†’ beri penalti besar
    fitness(s) = 1e6;
else
    % Jika aman â†’ gunakan total losses sebagai fitness
    fitness(s) = totPloss;
end
```

Gambar 4. 8 kode program batas tegangan operasi.

4.2.3 Tahapan algoritma genetika

Proses optimasi penempatan *tie switch* pada sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako dilakukan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) yang diimplementasikan dalam perangkat lunak MATLAB. Tujuan utama optimasi ini adalah untuk menentukan kombinasi *tie switch* yang akan aktif sehingga meminimalkan total rugi daya aktif (P_{loss}) sistem, sambil tetap menjaga bentuk jaringan distribusi yang bersifat radial dan memastikan tegangan pada setiap bus berada dalam batas yang diizinkan.

Setiap individu dalam populasi GA direpresentasikan dalam bentuk kromosom biner, dengan jumlah gen sesuai dengan banyaknya kandidat posisi *tie switch*. Setiap gen bernilai “1” jika *tie switch* pada posisi tersebut diaktifkan, dan “0” jika dalam kondisi terbuka. Dalam penelitian ini, terdapat empat kandidat posisi *tie switch*, yaitu *tie switch* 1 pada bus 9–56, *tie switch* 2 bus 8–37, *tie switch* 3 bus 24–45, dan *tie switch* 54–35, Proses optimasi diimplementasikan pada perangkat lunak MATLAB, dengan parameter algoritma sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Parameter pengujian iterasi GA dalam skenario gangguan bus 6 ke 7

Parameter	Nilai
Bus gangguan	[6 Ke 7]
Jumlah populasi	4
Jumlah gen per kromosom	4
Iterasi maksimum	20
Probabilitas crossover	0,5
Probabilitas mutasi	0,9

Tabel 4.3 parameter pengujian iterasi algoritma genetika (GA) dalam skenario gangguan yang terjadi pada bus 6 ke bus 7. Jumlah populasi yang digunakan sebanyak 4 kromosom, artinya terdapat empat individu solusi yang diuji secara bersamaan dalam setiap generasi. Setiap kromosom mewakili konfigurasi posisi *tie switch* yang berbeda pada sistem distribusi. Adapun jumlah gen per kromosom sebanyak 4, yang berarti setiap kromosom terdiri atas empat elemen biner (0 atau 1) yang merepresentasikan status dari empat kandidat *tie switch*, nilai “1” menunjukkan *tie switch* aktif, dan “0” menunjukkan tidak aktif. Iterasi maksimum ditetapkan sebanyak 20 generasi, yang menunjukkan bahwa proses evolusi kromosom dilakukan hingga 20 kali generasi untuk mencari solusi terbaik dengan rugi daya minimum. *Probabilitas crossover* sebesar 0,5 berarti terdapat peluang 50% bagi dua kromosom induk untuk saling bertukar gen pada proses reproduksi, sehingga menghasilkan kombinasi genetik baru yang berpotensi lebih optimal. Sementara itu, *probabilitas mutasi* sebesar 0,9 menunjukkan bahwa setiap gen memiliki peluang 90% untuk mengalami perubahan nilai (dari “0” menjadi “1” atau sebaliknya), yang berfungsi menjaga keragaman populasi dan mencegah algoritma terjebak pada solusi lokal..

Langkah-langkah berikut menunjukkan rekap iterasi pertama beserta kromosom, nilai rugi daya aktif (P_{loss}), reaktif (Q_{loss}), dan hasil evolusi algoritma hingga iterasi ke-20.

Inisialisasi populasi awal, di mana setiap *kromosom* memiliki satu *tie switch* aktif secara acak.

Tabel 4. 4 Populasi awal yang dibangkitkan

Kromosom	Representasi
Kromosom-1	[0 0 1 0]
Kromosom-2	[0 1 0 0]
Kromosom-3	[1 0 0 0]
Kromosom-4	[1 0 0 0]

Evaluasi fungsi objektif untuk menghitung total rugi daya aktif sistem berdasarkan hasil *load flow* dari setiap konfigurasi jaringan.

Tabel 4. 5 Evaluasi *fitness* masing-masing individu

Individu	Kromosom	P_loss (kW)	Q_loss (kVAr)
Individu-1	[0 0 1 0]	31.24	24.20
Individu-2	[0 1 0 0]	24.75	19.04
Individu-3	[1 0 0 0]	23.97	17.34
Individu-4	[1 0 0 0]	23.97	17.34

Seleksi individu terbaik menggunakan metode *Roulette Wheel Selection* berdasarkan nilai fitness (semakin kecil rugi daya maka semakin baik).

Tabel 4. 6 Proses Seleksi individu terpilih (*Roulette Wheel*)

Parent	Kromosom Terpilih	Representasi
Parent-1	Kromosom-1	[0 0 1 0]
Parent-2	Kromosom-4	[1 0 0 0]
Parent-3	Kromosom-3	[1 0 0 0]
Parent-4	Kromosom-4	[1 0 0 0]

Crossover dilakukan dengan probabilitas 0,5 untuk menukar posisi *tie switch* antar kromosom atau induk (*idx*) terpilih.

Tabel 4. 7 Proses kawin silang (pertukaran gen antar induk)

Induk 1	Induk 2	Posisi Cut Out	Anak-1	Anak-2
[0 0 1 0]	[1 0 0 0]	2	[0 0 0 0]	[1 0 1 0]

```

%% --- Fungsi bantu: perbaikiGen ---
function krom = perbaikiGen(krom, genSize)
    % pastikan hanya 1 gen aktif
    if sum(krom) == 0
        pos = randi(genSize);
        krom(pos) = 1;
    elseif sum(krom) > 1
        aktif = find(krom==1);
        pilih = randsample(aktif,1);
        krom(:) = 0;
        krom(pilih) = 1;
    end
end

```

Gambar 4. 9 Kode program perbaikan gen pada proses kawin silang

Jika suatu kromosom memiliki lebih dari satu titik aktif atau tidak ada titik yang aktif, maka kromosom tersebut akan diacak ulang hingga hanya satu posisi yang aktif. Dengan demikian, kromosom anak pada Tabel 4.8 mengalami proses pengacakan ulang dan menghasilkan kromosom anak 1 = [0 1 0 0] dan anak 2 = [1 0 0 0].

Tabel 4. 8 Proses mutasi

Individu	Kromosom Sebelum	Posisi mutasi	Kromosom Sesudah
Individu-1	[0 1 0 0]	3	[0 0 1 0]
Individu-2	[1 0 0 0]	0	[1 0 0 0]
Individu-3	[1 0 0 0]	0	[1 0 0 0]
Individu-4	[1 0 0 0]	0	[1 0 0 0]

Mutasi dilakukan dengan probabilitas 0,9 untuk mengganti posisi *tie switch* aktif secara acak, agar algoritma tidak terjebak pada solusi lokal.

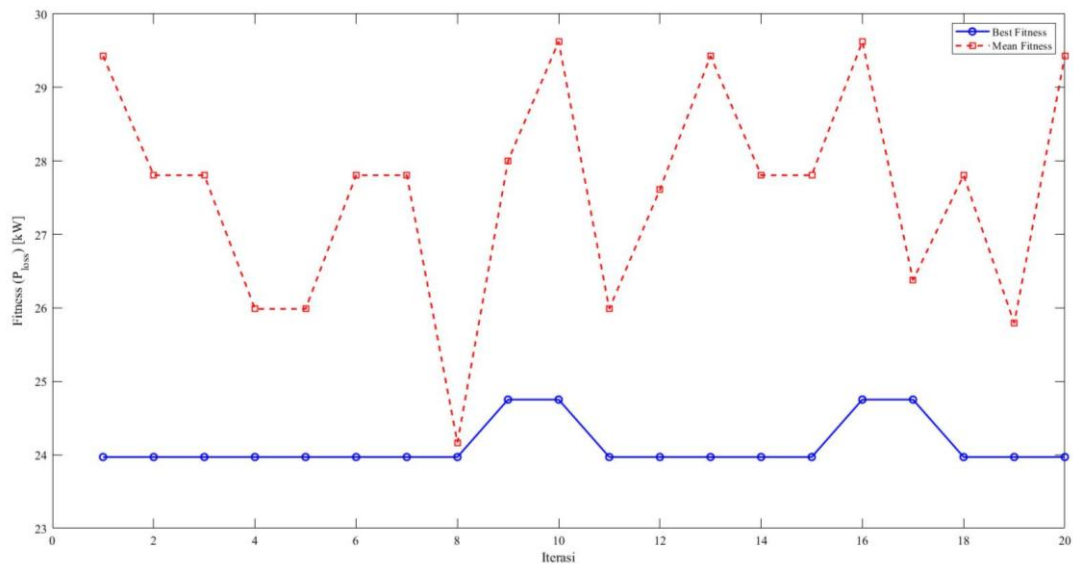
Tabel 4. 9 Hasil mutasi dan evaluasi ulang (*load flow*)

Mutan	Kromosom	P_loss (kW)	Q_loss (kVAr)
Mutan-1	[0 0 1 0]	31.24	24.20
Mutan-2	[1 0 0 0]	23.97	17.34
Mutan-3	[1 0 0 0]	23.97	17.34
Mutan-4	[1 0 0 0]	23.97	17.34

Proses iteratif dilakukan hingga diperoleh konfigurasi dengan rugi daya total minimum yang memenuhi semua batasan sistem.

Tabel 4. 10 Hasil total iterasi optimasi *tie switch* menggunakan algoritma genetika

Iterasi	Kromosom Terbaik	Best Fitness (kW)	Mean Fitness (kW)
1	[1 0 0 0]	23,97	29,43
2	[1 0 0 0]	23,97	27,81
3	[1 0 0 0]	23,97	27,81
4	[1 0 0 0]	23,97	25,99
5	[1 0 0 0]	23,97	25,99
6	[1 0 0 0]	23,97	27,81
7	[1 0 0 0]	23,97	27,81
8	[1 0 0 0]	23,97	24,17
9	[0 1 0 0]	24,75	28,00
10	[0 1 0 0]	24,75	29,63
11	[1 0 0 0]	23,97	25,99
12	[1 0 0 0]	23,97	27,61
13	[1 0 0 0]	23,97	29,43
14	[1 0 0 0]	23,97	27,81
15	[1 0 0 0]	23,97	27,81
16	[0 1 0 0]	24,75	29,63
17	[1 0 0 0]	24,75	28,00
18	[1 0 0 0]	23,97	25,99
19	[1 0 0 0]	23,97	27,81
20	[1 0 0 0]	23,97	27,81



Gambar 4. 10 Grafik performa konvergensi algoritma genetika pada percobaan 20 generasi

Pada Gambar 4.10 ditunjukkan performa konvergensi *Genetic Algorithm* (GA) dalam optimasi penempatan *tie switch* pada sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako. Dari iterasi 1 hingga 8, *Best Fitness* stabil pada 23,97 kW, kemudian pada iterasi 9 dan 10 naik menjadi 24,75 kW karena variasi kromosom, sebelum kembali stabil pada 23,97 kW dari iterasi 11 hingga 20. Hal ini menandakan algoritma telah mencapai konvergensi pada iterasi ke-11, dengan *Best Fitness* tetap konstan hingga akhir iterasi ke-20. *Mean Fitness* mengalami *fluktuasi* di awal, dari 29,43 kW turun ke 24,17–29,63 kW, namun secara bertahap mendekati nilai *Best Fitness*. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar populasi mulai berkonsentrasi pada solusi yang mendekati optimal. Dengan kromosom terbaik [1 0 0 0], sistem distribusi berhasil memperoleh kondisi operasi yang lebih efisien,

dengan rugi daya yang lebih rendah, menandakan posisi *tie switch* yang dipilih GA dapat meminimalkan *losses* pada jaringan distribusi.

4.2.4 Pengaruh Jumlah Populasi dan Iterasi terhadap Kinerja Algoritma Genetika

Pada skenario gangguan yang terjadi antara bus 6 dan bus 7, dilakukan Pengujian dengan memvariasikan jumlah populasi dan jumlah iterasi agar dapat mengetahui pengaruh kedua parameter tersebut terhadap waktu komputasi serta titik konvergensi generasi. Tabel 4.11 menyajikan hasil pengujian GA dengan variasi jumlah populasi sebanyak 4, 10, dan 15 serta variasi jumlah iterasi sebesar 5, 10, 15, 20, dan 25 pada sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako yang mengalami gangguan antara bus 6 dan bus 7.

Tabel 4. 11 Pengaruh Jumlah Populasi dan Iterasi terhadap Kinerja Algoritma Genetika

Jumlah populasi	Iterasi	waktu komputasi (s)	Titik Fitness terbaik pada generasi ke
4	5	0.0526	2
10		0.1025	1
15		0.1332	1
4	10	0.0818	2
10		0.1814	1
15		0.2810	1
4	15	0.1488	4
10		0.2465	1
15		0.3571	1
4	20	0.1711	3
10		0.3166	1
15		0.4634	1
4	25	0.1426	2
10		0.3229	1
15		0.4871	1

Pada tabel 4.11 jumlah populasi yang lebih besar cenderung meningkatkan waktu komputasi karena jumlah evaluasi *fitness* meningkat. Sementara itu, jumlah iterasi yang lebih banyak memberikan kesempatan GA untuk mengeksplorasi ruang solusi lebih luas, sehingga titik *fitness* terbaik dapat tercapai pada generasi awal maupun menengah, tergantung kombinasi parameter populasi dan iterasi. Dengan demikian, pemilihan jumlah populasi dan iterasi perlu disesuaikan agar memperoleh keseimbangan antara efisiensi waktu komputasi dan kualitas solusi.

4.3 Hasil rugi-rugi daya setelah rekonfigurasi jaringan

4.3.1 Rugi-rugi daya saat terjadi rekonfigurasi jaringan tanpa algoritma genetika

Simulasi rekonfigurasi jaringan dilakukan pada empat posisi *tie switch* yang berbeda, yaitu *tie switch* 1 (9–56), *tie switch* 2 (8–37), *tie switch* 3 (24–45), dan *tie switch* 4 (54–35). Masing-masing konfigurasi diuji terhadap gangguan pada beberapa saluran (*line data*) untuk melihat perubahan rugi daya aktif (*Plosses*) dan rugi daya reaktif (*Qlosses*) pada sistem. Simulasi pada tabel 4.12 menunjukkan bahwa beberapa *tie switch* menghasilkan rugi daya yang relatif tinggi.

Tabel 4. 12 Hasil Simulasi rugi-rugi daya saat terjadi rekonfigurasi jaringan menggunakan *tie switch*

ETAP										
BUS FAULT		TIE SWITCH 1 (9- 56)		TIE SWITCH 2 (8 - 37)		TIE SWITCH 3 (24 - 45)		TIE SWITCH 4 (54 - 35)		TIE SWITCH DENGAN LOSSES TERKECIL
DARI	KE	Plosses (kW)	Qlosses (kVar)	Plosses (kW)	Qlosses (kVar)	Plosses (kW)	Qlosses (Kvar)	Plosses (kW)	Qlosses (kVar)	
1	2	27,2	19,5	27,3	21	36,3	28,1	-	-	56 Ke 9

ETAP										
BUS FAULT		TIE SWITCH 1 (9- 56)		TIE SWITCH 2 (8 - 37)		TIE SWITCH 3 (24 - 45)		TIE SWITCH 4 (54 - 35)		TIE SWITCH DENGAN LOSSES TERKECIL
DARI	KE	Plosses (kW)	Qlosses (kVar)	Plosses (kW)	Qlosses (kVar)	Plosses (kW)	Qlosses (Kvar)	Plosses (kW)	Qlosses (kVar)	
2	3	27	19,3	27,1	20,9	36	27,9	-	-	56 Ke 9
3	5	24,6	17,7	25,1	19,3	35,5	25,2	-	-	56 Ke 9
5	6	23,2	16,8	23,9	18,4	30,4	23,6	-	-	56 Ke 9
6	7	22,3	16,2	23,1	17,8	29,1	22,5	-	-	56 Ke 9
7	8	20,6	15	21,5	16,6	26,4	20,4	-	-	56 Ke 9
8	9	20,6	15	-	-	26,4	20,4	-	-	56 Ke 9
9	12	-	-	-	-	22,1	17,1	-	-	45 ke 24
12	13	-	-	-	-	21,1	16,3	-	-	45 ke 24
13	14	-	-	-	-	20,5	15,9	-	-	45 ke 24
14	15	-	-	-	-	19,3	15	-	-	45 ke 24
15	17	-	-	-	-	17,7	13,7	-	-	45 ke 24
17	18	-	-	-	-	16	12,4	-	-	45 ke 24
18	21	-	-	-	-	15,9	12,3	-	-	45 ke 24
21	22	-	-	-	-	15	11,6	-	-	45 ke 24
22	24	-	-	-	-	15,1	11,7	-	-	45 ke 24
1	25	-	-	37,6	28,9	52,7	40,9	28,7	22,3	54 ke 35
25	26	-	-	28,4	21,9	37,3	28,9	22,2	17,2	54 ke 35
26	32	-	-	27,1	20,9	35,1	27,2	21,4	16,6	54 ke 35
32	33	-	-	25,8	19,9	33	25,6	20,5	15,9	54 ke 35
33	35	-	-	24,1	18,6	30	23,2	19,4	15	54 ke 35
35	36	-	-	22,9	17,6	28	21,7	-	-	8 ke 37
36	38	-	-	-	-	27,7	21,5	-	-	24 ke 45
38	40	-	-	-	-	26	20,2	-	-	24 ke 45
40	41	-	-	-	-	23,6	18,3	-	-	24 ke 45
41	42	-	-	-	-	22,5	17,4	-	-	24 ke 45
42	44	-	-	-	-	19,6	15,2	-	-	24 ke 45
44	45	-	-	-	-	16	12,4	-	-	24 ke 45
1	52	25	18,9	-	-	-	-	20,3	15,7	35 ke 54
52	54	17,4	13,4	-	-	-	-	16,1	12,5	35 ke 54
54	56	-	-	16,5	12,7	-	-	-	-	9 ke 56

Dari hasil simulasi menggunakan *software* ETAP diperoleh bahwa *tie switch* 3 (24–45) menghasilkan rugi daya tertinggi, yaitu sebesar 52,7 kW dan 40,9

kVar pada kondisi gangguan di bus 1 ke 25. Nilai rugi daya yang besar ini menunjukkan adanya aliran arus yang tinggi dan ketidakseimbangan distribusi beban pada jaringan tersebut. Hasil inilah yang akan di bandingkan dengan hasil optimasi menggunakan GA, untuk membuktikan kebenaran atau validasi dari hasil optimasi menggunakan GA melalui parameter rugi daya terendah .

4.3.2 Hasil rugi-rugi daya menggunakan optimasi algoritma genetika

Simulasi ini dilakukan dengan skenario rekonfigurasi jaringan gangguan pada masing-masing saluran (*line*), kemudian dilakukan rekonfigurasi jaringan dengan cara mengaktifkan *tie switch* yang sesuai dengan rekomendasi hasil optimasi menggunakan algoritma genetika. Dari hasil yang diperoleh, setiap kondisi gangguan hanya diaktifkan satu *tie switch* untuk mengembalikan kontinuitas suplai pada sistem distribusi radial 20 kV Universitas Tadulako. Hasil simulasi ditunjukan Tabel 4.13 , pada tabel tersebut juga diperoleh perbandingan rugi daya aktif (*Plosses*) dan rugi daya reaktif (*Qlosses*) antara hasil perhitungan menggunakan ETAP dan MATLAB.

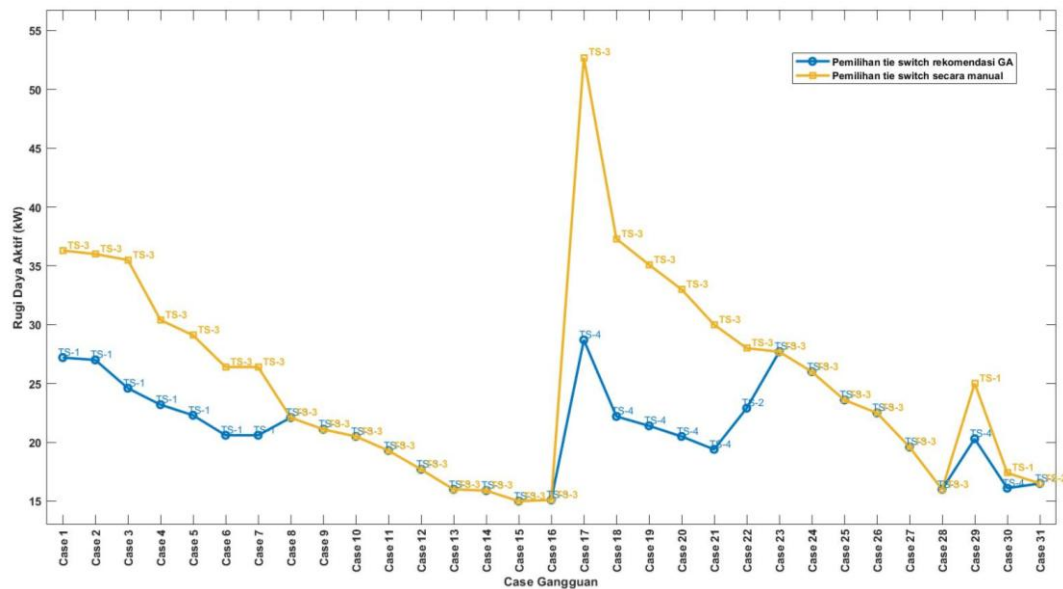
Tabel 4. 13 Hasil Simulasi rugi-rugi daya menggunakan optimasi algoritma genetika

BUS FAULT		TIE SWITCH ON	ETAP		MATLAB		EROR	
DARI	KE		Plosses (Kw)	Qlosses (Kvar)	Plosses (Kw)	Qlosses (Kvar)	Plosses (%)	Qlosses (%)
1	2	56 Ke 9	27,2	19,5	29,1	20,8	6,5	6,3
2	3	56 Ke 9	27	19,3	28,9	20,6	6,6	6,3
3	5	56 Ke 9	24,6	17,7	26,4	18,9	6,8	6,3
5	6	56 Ke 9	23,2	16,8	24,9	17,9	6,8	6,1
6	7	56 Ke 9	22,3	16,2	23,9	17,3	6,7	6,4
7	8	56 Ke 9	20,6	15	22,09	16,09	6,7	6,8
8	9	56 Ke 9	20,6	15	22,02	16,09	6,4	6,8
9	12	45 ke 24	22,1	17,1	23,7	18,3	6,8	6,6

BUS FAULT		TIE SWITCH ON	ETAP		MATLAB		EROR	
DARI	KE		Plosses (Kw)	Qlosses (Kvar)	Plosses (Kw)	Qlosses (Kvar)	Plosses (%)	Qlosses (%)
12	13	45 ke 24	21,1	16,3	22,6	17,5	6,6	6,9
13	14	45 ke 24	20,5	15,9	22,06	17,09	7,1	7,0
14	15	45 ke 24	19,3	15	20,7	16,09	6,8	6,8
15	17	45 ke 24	17,7	13,7	18,8	14,6	5,9	6,2
17	18	45 ke 24	16	12,4	17,01	13,1	5,9	5,3
18	21	45 ke 24	15,9	12,3	16,8	13,06	5,4	5,8
21	22	45 ke 24	15	11,6	15,8	12,3	5,1	5,7
22	24	45 ke 24	15,1	11,7	15,9	12,3	5,0	4,9
1	25	54 ke 35	28,7	22,3	30	23,2	4,3	3,9
25	26	54 ke 35	22,2	17,2	23,3	18,09	4,7	4,9
26	32	54 ke 35	21,4	16,6	22,4	17,4	4,5	4,6
32	33	54 ke 35	20,5	15,9	21,57	16,7	5,0	4,8
33	35	54 ke 35	19,4	15	20,3	15,8	4,4	5,1
35	36	8 ke 37	22,9	17,6	24,4	18,8	6,1	6,4
36	38	24 ke 45	27,7	21,5	29,8	23,1	7,0	6,9
38	40	24 ke 45	26	20,2	28,04	21,7	7,3	6,9
40	41	24 ke 45	23,6	18,3	25,4	19,6	7,1	6,6
41	42	24 ke 45	22,5	17,4	24,2	18,7	7,0	7,0
42	44	24 ke 45	19,6	15,2	21,05	16,31	6,9	6,8
44	45	24 ke 45	16	12,4	17,08	13,24	6,3	6,3
1	52	35 ke 54	20,3	15,7	21,3	16,5	4,7	4,8
52	54	35 ke 54	16,1	12,5	17,1	13,2	5,8	5,3
54	56	9 ke 56	16,5	12,7	17,5	13,5	5,7	5,9
Rata - rata							6,07	6,01

Nilai rugi daya yang dihasilkan oleh MATLAB cenderung sedikit lebih besar dibandingkan hasil ETAP, dengan rata-rata error sebesar 6,07 % untuk rugi daya aktif dan 6,01 % untuk rugi daya reaktif. Perbedaan kecil ini disebabkan oleh perbedaan metode perhitungan numerik antara kedua perangkat lunak, namun hasilnya masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Secara umum, pola hasil simulasi menunjukkan konsistensi antara ETAP dan MATLAB, yang menandakan bahwa algoritma genetika yang diterapkan berhasil menentukan lokasi *tie switch* optimal dengan baik seperti pada gambar grafik 4.11.

Gambar 4. 11 Grafik perbandingan pemilihan *tie switch* antara rekomendasi GA dan manual



Berdasarkan hasil perbandingan pada Grafik 4.11, metode Algoritma Genetika (GA) mampu menentukan posisi *tie switch* yang menghasilkan rugi daya paling rendah dibandingkan dengan metode manual yang dilakukan melalui percobaan satu per satu. Hal ini menunjukkan bahwa proses optimasi yang dilakukan GA lebih efisien dalam menemukan kombinasi *switching* terbaik tanpa perlu melakukan pengujian menyeluruh secara manual yang membutuhkan waktu lebih banyak dibandingkan dengan optimasi dengan algoritma genetika. Pada beberapa kondisi gangguan tertentu, hanya terdapat satu *tie switch* yang dapat dioperasikan, sehingga baik metode GA maupun metode manual memberikan hasil yang sama. Kondisi ini terjadi karena sistem jaringan pada kasus tersebut memiliki keterbatasan konfigurasi *switch* aktif yang memungkinkan untuk memperbaiki aliran daya. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa Algoritma Genetika

efektif dalam mencari lokasi *tie switch* optimal dengan rugi daya minimum, namun tetap bergantung pada konfigurasi fisik jaringan distribusi yang tersedia.

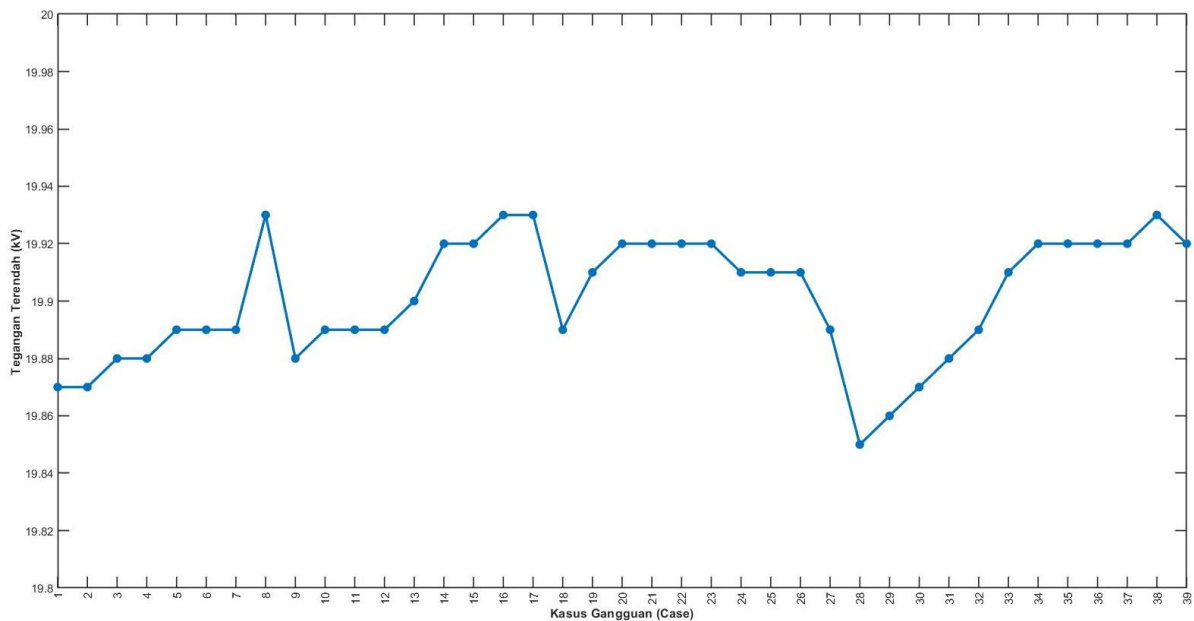
4.4 Pengaruh penempatan *tie switch* terhadap kemampuan sistem dalam memulihkan suplai beban setelah gangguan

Berdasarkan hasil simulasi skenario gangguan pada sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako, diketahui bahwa penempatan *tie switch* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan sistem dalam memulihkan suplai beban. Hasil simulasi tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.14, yang memperlihatkan hubungan antara lokasi gangguan, *tie switch* yang dioperasikan, nilai tegangan terendah setelah rekonfigurasi, serta jumlah beban yang tidak tersuplai.

Tabel 4. 14 Hasil Simulasi Skenario Pemulihan Pasca Gangguan terhadap Nilai Jatuh Tegangan dan Jumlah Beban Padam

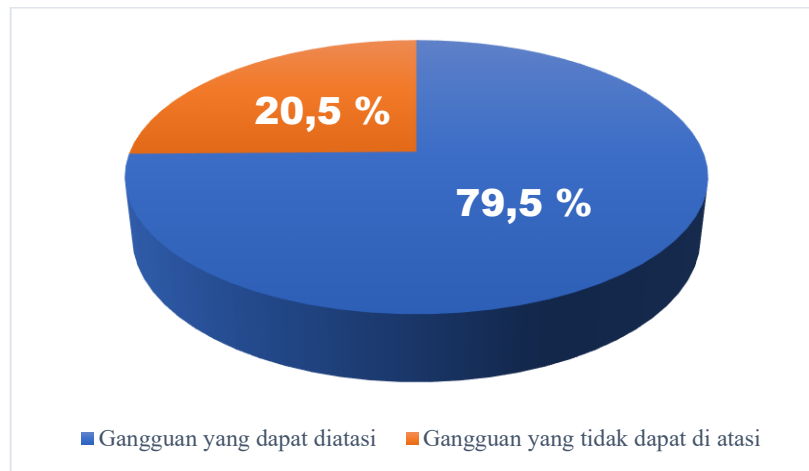
BUS FAULT			TIE SWITCH ON	TEGANGANGAN TERENDAH		BEBAN PADAM
NO	DARI	KE		kV	BUS	
Case 1	1	2	56 Ke 9	19,87	BUS 23	0
Case 2	2	3	56 Ke 9	19,87	BUS 23	0
Case 3	3	5	56 Ke 9	19,88	BUS 23	0
Case 4	5	6	56 Ke 9	19,88	BUS 23	0
Case 5	6	7	56 Ke 9	19,89	BUS 23	0
Case 6	7	8	56 Ke 9	19,89	BUS 23	0
Case 7	8	9	56 Ke 9	19,89	BUS 23	0
Case 8	9	10	-	19,93	BUS 23	2
Case 9	9	12	45 ke 24	19,88	BUS 12	0
Case 10	12	13	45 ke 24	19,89	BUS 13	0
Case 11	13	14	45 ke 24	19,89	BUS 14	0
Case 12	14	15	45 ke 24	19,89	BUS 15	0
Case 13	15	17	45 ke 24	19,90	BUS 17	0

BUS FAULT			TIE SWITCH ON	TEGANGANGAN TERENDAH		BEBAN PADAM
NO	DARI	KE		kV	BUS	
Case 14	17	18	45 ke 24	19,92	BUS 18	0
Case 15	18	21	45 ke 24	19,92	BUS 21	0
Case 16	21	22	45 ke 24	19,93	BUS 51	0
Case 17	22	24	45 ke 24	19,93	BUS 23	0
Case 18	1	25	54 ke 35	19,89	BUS 51	0
Case 19	25	26	54 ke 35	19,91	BUS 51	0
Case 20	26	27	-	19,92	BUS 23	4
Case 21	27	28	-	19,92	BUS 23	3
Case 22	28	29	-	19,92	BUS 23	2
Case 23	29	31	-	19,92	BUS 23	1
Case 24	26	32	54 ke 35	19,91	BUS 51	0
Case 25	32	33	54 ke 35	19,91	BUS 51	0
Case 26	33	35	54 ke 35	19,91	BUS 51	0
Case 27	35	36	8 ke 37	19,89	BUS 51	0
Case 28	36	38	24 ke 45	19,85	BUS 39	0
Case 29	38	40	24 ke 45	19,86	BUS 40	0
Case 30	40	41	24 ke 45	19,87	BUS 41	0
Case 31	41	42	24 ke 45	19,88	BUS 43	0
Case 32	42	44	24 ke 45	19,89	BUS 51	0
Case 33	44	45	24 ke 45	19,91	BUS 47	0
Case 34	45	46	-	19,92	BUS 23	2
Case 35	44	48	-	19,92	BUS 23	3
Case 36	48	49	-	19,92	BUS 23	2
Case 37	1	52	35 ke 54	19,92	BUS 51	0
Case 38	52	54	35 ke 54	19,93	BUS 51	0
Case 39	54	56	9 ke 56	19,92	BUS 23	0



Gambar 4. 12 Grafik profil tegangan terendah pada tiap skenario gangguan setelah pemulihan beban

Berdasarkan data pada grafik 4.12, nilai tegangan terendah pasca rekonfigurasi jaringan berada pada kisaran 19,85 kV hingga 19,93 kV. Tegangan ini masih berada dalam batas toleransi standar, yaitu tidak melebihi +5% dari tegangan nominal dan tidak kurang dari -10%, sehingga seluruh bus tetap berada dalam kondisi aman dari *undervoltage* maupun *overvoltage*. Hal ini menunjukkan bahwa pengoperasian *tie switch* mampu menjaga kestabilan tegangan pada seluruh bus hilir saat terjadi gangguan, sehingga kualitas pasokan daya tetap terjaga. *Tie switch* berfungsi efektif sebagai jalur alternatif yang mempertahankan profil tegangan sistem.



Gambar 4. 13 Grafik persentase *tie switch* dalam menyelesaikan gangguan

Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar grafik 4.13 jumlah beban padam, dari 39 kasus gangguan yang diuji, sebanyak 31 kasus (79,5 %) berhasil dipulihkan sepenuhnya tanpa beban padam, sedangkan 8 kasus (20,5 %) masih menyisakan beban padam sebagian akibat keterbatasan jalur *tie switch*. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian besar gangguan dapat diatasi melalui pengoperasian *tie switch* yang tepat, sehingga kontinuitas penyaluran daya tetap terjaga dan sistem distribusi tetap beroperasi dengan tingkat keandalan tinggi, sambil memastikan tegangan berada dalam batas +5% dan -10% dari nilai nominal.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan terhadap sistem distribusi radial 20 kV Universitas Tadulako menggunakan perangkat lunak MATLAB dan ETAP, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan DLF berbasis *Backward-Forward Sweep* menunjukkan profil tegangan tiap bus berada pada 19,92 kV sampai dengan 20 kV, dengan *deviasi* perhitungan dan simulasi menggunakan *software* MATLAB dan ETAP sebesar 0,1%. Serta rugi daya total sistem sebesar 16,19 kW dan 12,55 kVar (MATLAB) serta 15,2 kW dan 11,8 kVar (ETAP), sehingga model sistem dinyatakan valid untuk tahap optimasi.
2. *Genetic Algorithm* (GA) berhasil menentukan konfigurasi *tie switch* yang optimal melalui fungsi objektif minimasi rugi daya, sehingga diperoleh solusi *tie switch* yang aktif di beberapa skenario gangguan yaitu pada *tie switch* 1 untuk area (bus 1 ke 9) dan (bus 54 ke 56), *tie switch* 2 (bus 35 ke 36), *tie switch* 3 (bus 9 ke 24) dan (bus 36 ke 45), serta *tie switch* 4 (bus 25 ke 35) dan (bus 52 ke 54).
3. Jumlah populasi dan iterasi pada algoritma genetika berpengaruh terhadap waktu komputasi, semakin besar nilai populasi dan iterasi, semakin lama proses *running*. Pada populasi berjumlah 4, *fitness*

terbaik tidak langsung tercapai karena ruang pencarian terbatas. Kombinasi populasi dan iterasi 10–15 direkomendasikan untuk hasil optimal dan efisien dengan waktu komputasi selama (0,1814 detik sampai dengan 0,3571 detik) .

4. Penempatan *tie switch* yang strategis mampu meningkatkan kemampuan pemulihan beban tanpa membentuk *loop* pada sistem. Dari 39 kasus gangguan, 31 kasus (79,5%) berhasil dipulihkan penuh dan 8 kasus (20,5%) mengalami padam sebagian, Hasil ini menunjukkan bahwa penempatan *tie switch* berperan efektif dalam menjaga keandalan sistem distribusi .

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan data perencanaan sistem distribusi 20 kV Universitas Tadulako. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan data pengukuran aktual di lapangan (seperti arus, tegangan, dan faktor daya tiap bus) agar hasil simulasi dan optimasi lebih merepresentasikan kondisi nyata sistem distribusi.
2. Jumlah *tie switch* yang digunakan dalam penelitian ini masih terbatas pada empat titik kandidat. Penelitian berikutnya dapat menambah jumlah *tie switch* dan mempertimbangkan penempatan pada saluran cabang untuk meningkatkan keandalan sistem serta memperluas area yang dapat disuplai ulang saat terjadi gangguan.

3. Untuk meningkatkan kecepatan dan keakuratan pemulihan sistem, optimasi penempatan *tie switch* dapat dikombinasikan dengan sistem proteksi otomatis (misalnya *sectionalizer* dan *recloser*) serta integrasi dengan SCADA. Hal ini memungkinkan proses rekonfigurasi dilakukan secara otomatis saat gangguan terdeteksi.
4. Simulasi dalam penelitian ini masih menggunakan kondisi beban statis. Penelitian lanjutan disarankan memperhitungkan variasi beban terhadap waktu (beban puncak dan non puncak), sehingga hasil optimasi *tie switch* dapat lebih adaptif terhadap kondisi operasi nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- Daman Suswanto. (2009). *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*.
- Gia Muhamad Agusta. (2018). *Algoritma Genetika*.
- Goldberg, D. E. (1989). Genetic Algorithms in search, optiization, and machine learning. *Addison-Wesley Publishing Company*, 1.
- Hendrik Kenedy Tupan, R. N. N. W. (2017). Optimasi Penempatan Load Break Switch LBS pada Penyulang Karpan 2 Ambon menggunakan Metode Algoritma Genetika. *EECCIS*, 11.
- Iec. (2009). *IEC 60038 INTERNATIONAL STANDARD NORME INTERNATIONALE IEC standard voltages Tensions normales de la CEI*. <http://solargostaran.com>
- Jen Hao Teng. (1999). *A Network-Topology-based Three-Phase Load Flow for Distribution Systems*. 24.
- Karaaom, C., Jirapong, P., Thararak, P., & Tantrapon, K. (2020, março 1). Optimal Allocation of Tie Switch in Distribution Systems for Energy Loss Reduction Using Particle Swarm Optimization. *2020 8th International Electrical Engineering Congress, iEECON 2020*. <https://doi.org/10.1109/iEECON48109.2020.229528>
- Luo, Q., Li, W., Gao, C., Zhang, J., Chen, P., Xu, Z., Peng, X., Lai, C. S., & Lai, L. L. (2022). Bi-Level Coordinated Planning of Sectionalizing Switches and Tie Lines Considering Operation Mode Adjustment. *Frontiers in Energy Research*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.906422>

Otniel, F., & Busaeri, N. (2019). Analisa aliran daya sistem tenaga listrik pada bagian penyulang 05EE0101A di area utilities II PT. PERTAMINA (PERSERO) refinery unit IV cilacap menggunakan metode newton raphson. Em *JOURNAL OF ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING (JEEE)* (Vol. 1, Número 01).

PERMEN ESDM No.1 Tahun 2021.

Priyatama, M. R., Busaeri, N., & Risnandar, M. A. (2024). Rekonfigurasi jaringan dan penambahan trafo sisip pada jaringan radial menggunakan algoritma genetika. *JITEL (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, dan Listrik Tenaga)*, 4(3), 185–194. <https://doi.org/10.35313/jitel.v4.i3.2024.185-194>

PT. PLN (PERSERO). (1995). *Impedansi kawat penghantar menurut SPLN 64 1995*.

Rahman, Y. A., Nuradha Wati S, S., Mar'atus Shalihah, R., Mahmudi, I., & Elektro, J. T. (2022). *Penempatan pembangkit tersebar berbasis particle swarm optimization*. www.jurnalteknik@unisla.ac.id/index.php/elektronika

Sannomiya H. Iima. (1992). Genetic algorithm approach to a production ordering proble in an assembly process with buffers. Em *Manufacturing Technology*.

Suhadi Tri Wrahatnolo. (2008). *Teknik distribusi tenaga listrik* (1o ed).

Suyanto, Rahmadhani, C., Penangsang, O., & Soeprijanto, A. (2016). Power-flow development based on the modified backward-forward for voltage profile improvement of distribution system. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 6(5), 2005–2014. <https://doi.org/10.11591/ijece.v6i5.10648>

Yandra Arkeman. (2012). algoritma genetika teori dan aplikasi. *PT. Penerbit IPB Press*.

LAMPIRAN

1. Data impedansi

DATA IMPEDANSI KABEL AAAC-S 70 mm STANDAR SPLN 64 : 1985									
Nama Saluran	Dari	Ke	Impedansi		Nama Saluran	Dari	Ke	Impedansi	
			Resistansi (R)	Reaktansi (X)				Resistansi (R)	Reaktansi (X)
SL-01-A	1	2	0,004608	0,003572	SL-10-B	33	34	0,029952	0,023218
SL-02-A	2	3	0,1188864	0,0921576	SL-11-B	33	35	0,0741888	0,0575092
SL-03-A	3	4	0,009216	0,007144	SL-12-B	35	36	0,0105984	0,0082156
SL-04-A	3	5	0,0285696	0,0221464	SL-13-B	36	37	0,018432	0,014288
SL-05-A	5	6	0,0681984	0,0528656	SL-14-B	36	38	0,059904	0,046436
SL-06-A	6	7	0,0359424	0,0278616	SL-15-B	38	39	0,0764928	0,0592952
SL-07-A	7	8	0,0244224	0,0189316	SL-16-B	38	40	0,036864	0,028576
SL-08-A	8	9	0,0534528	0,0414352	SL-17-B	40	41	0,0290304	0,0225036
SL-09-A	9	10	0,0271872	0,0210748	SL-18-B	41	42	0,0193536	0,0150024
SL-10-A	10	11	0,0336384	0,0260756	SL-19-B	42	43	0,0396288	0,0307192
SL-11-A	9	12	0,0124416	0,0096444	SL-20-B	42	44	0,050688	0,039292
SL-12-A	12	13	0,050688	0,039292	SL-21-B	44	45	0,0124416	0,0096444
SL-13-A	13	14	0,025344	0,019646	SL-22-B	45	46	0,0133632	0,0103588
SL-14-A	14	15	0,0124416	0,0096444	SL-23-B	46	47	0,0267264	0,0207176
SL-15-A	15	16	0,0317952	0,0246468	SL-24-B	44	48	0,04608	0,03572
SL-16-A	15	17	0,0290304	0,0225036	SL-25-B	48	49	0,0170496	0,0132164
SL-17-A	17	18	0,0142848	0,0110732	SL-26-B	49	50	0,0124416	0,0096444
SL-18-A	18	19	0,0156672	0,0121448	SL-27-B	49	51	0,062208	0,048222
SL-19-A	18	20	0,0317952	0,0246468	SL-01-C	1	52	0,235008	0,182172
SL-20-A	18	21	0,0497664	0,0385776	SL-02-C	52	53	0,0308736	0,0239324
SL-21-A	21	22	0,0285696	0,0221464	SL-03-C	52	54	0,059904	0,046436
SL-22-A	21	23	0,041472	0,032148	SL-01-C	54	55	0,0105984	0,0082156
SL-23-A	21	24	0,0119808	0,0092872	SL-01-C	54	56	0,0248832	0,0192888
SL-01-B	1	25	0,0520704	0,0403636	SALURAN TIE SWITCH				
SL-02-B	24	26	0,01152	0,00893	SL-01-TS-I	56	TS-01	0,1363968	0,0425068
SL-03-B	26	27	0,04608	0,03572	SL-01-TS-O	TS-01	9	0,0009216	0,0007144
SL-04-B	27	28	0,1069056	0,0828704	SL-02-TS-I	8	TS-02	0,0658944	0,0439356
SL-05-B	28	29	0,0271872	0,0210748	SL-02-TS-O	TS-02	37	0,0009216	0,0007144
SL-06-B	29	30	0,0105984	0,0082156	SL-03-TS-I	24	TS-03	0,0193536	0,0139308
SL-07-B	29	31	0,0216576	0,0167884	SL-03-TS-O	TS-03	45	0,0009216	0,0007144
SL-08-B	26	32	0,0566784	0,0439356	SL-04-TS-I	54	TS-04	0,0009216	0,0007144
SL-09-B	32	33	0,0340992	0,0264328	SL-04-TS-O	TS-04	35	0,0009216	0,0007144

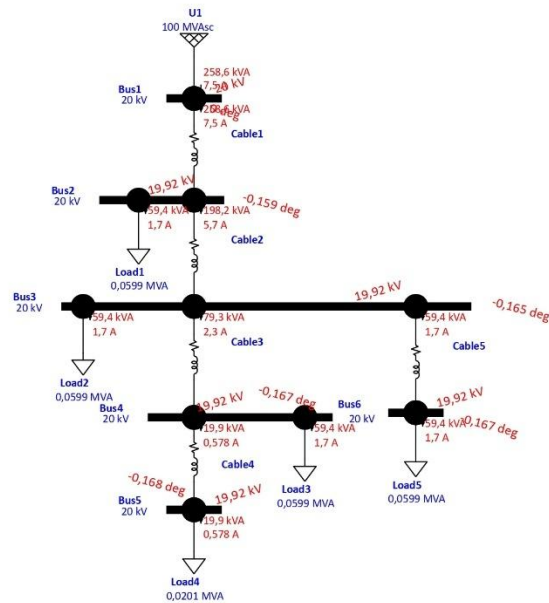
2. Data beban

BUS	BEBAN		BUS	BEBAN	
	P (MW)	Q (Mvar)		P (MW)	Q (Mvar)
2	0,019	0,006	30	0,010	0,003
3	0,000	0,000	31	0,006	0,002
4	0,239	0,079	32	0,148	0,049
5	0,154	0,051	33	0,000	0,000
6	0,105	0,034	34	0,220	0,072
7	0,225	0,074	35	0,164	0,054
8	0,000	0,000	36	0,000	0,000
9	0,000	0,000	37	0,022	0,007
10	0,285	0,094	38	0,000	0,000
11	0,143	0,047	39	0,145	0,048
12	0,113	0,037	40	0,232	0,076
13	0,069	0,023	41	0,118	0,039
14	0,159	0,052	42	0,273	0,090
15	0,000	0,000	43	0,083	0,027
16	0,281	0,092	44	0,000	0,000
17	0,384	0,126	45	0,000	0,000
18	0,000	0,000	46	0,189	0,062
19	0,025	0,008	47	0,114	0,037
20	0,019	0,006	48	0,162	0,053
21	0,475	0,156	49	0,000	0,000
22	0,000	0,000	50	0,361	0,119
23	0,338	0,111	51	0,157	0,052
24	0,131	0,043	52	0,000	0,000
25	0,855	0,281	53	1,045	0,343
26	0,000	0,000	54	0,000	0,000
27	0,109	0,036	55	0,191	0,063
28	0,014	0,005	56	0,363	0,119
29	0,000	0,000			

3. Validasi Kode DLF sistem 6 BUS *simple radial system*

a. Hasil simulasi aliran daya menggunakan *software* ETAP

One-Line Diagram - OLV1 (Load Flow Analysis)



Project:

ETAP

Page:

1

Location:

21.0.1C

Date:

11-11-2025

Contract:

SN:

0809449000

Engineer:

Study Case: LF

Revision:

Base

Filename:

6 BUS

Config:

Normal

Branch Losses Summary Report

Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
Cable1	0.233	0.113	-0.232	-0.112	0.6	1.1	100.0	99.6	0.38
Cable2	0.178	0.086	-0.178	-0.086	0.0	0.0	99.6	99.6	0.03
Cable3	0.071	0.035	-0.071	-0.035	0.0	0.0	99.6	99.6	0.01
Cable4	0.018	0.009	-0.018	-0.009	0.0	0.0	99.6	99.6	0.00
Cable5	0.054	0.026	-0.054	-0.026	0.0	0.0	99.6	99.6	0.01
					0.6	1.1			

* This Transmission Line includes Series Capacitor.

b. Hasil perhitungan aliran daya menggunakan *software* MATLAB

Maximum Power Mismatch = 5.0307e-17

No. of Iterations = 8

Load Flow Sistem 6 Bus

Simple radial distribution

No.		Voltage		
Bus		mag	deg	

1		20.00	0.00	
2		19.92	-0.16	
3		19.92	-0.17	
4		19.92	-0.17	
5		19.92	-0.17	
6		19.92	-0.17	

dari ke		Losses		V Drop
Bus bus		kW	kVar	kV

1	2	0.57	1.09	0.044
2	3	0.04	0.04	0.003
3	4	0.01	0.01	0.001
4	5	0.00	0.00	0.000
3	6	0.00	0.00	0.001

Total Rugi daya = 0.630053 kW

Total Rugi daya = 1.145323 kvar

c. Hasil perbandingan simulasi dan perhitungan tegangan

BUS	ETAP		MATLAB		ERORR	
	VOLTAGE (kV)	ANGLE (deg)	VOLTAGE (kV)	ANGLE (deg)	VOLTAGE (%)	ANGLE (%)
1	20	0	20	0	0,0	0
2	19,92	-0,159	19,92	-0,160	0,0	0,6
3	19,92	-0,165	19,92	-0,170	0,0	3
4	19,92	-0,167	19,92	-0,170	0,0	1,8
5	19,92	-0,168	19,92	-0,170	0,0	1,2
6	19,92	-0,167	19,92	-0,170	0,0	1,8

d. Hasil perbandingan Simulasi dan perhitungan rugi-rugi daya

BUS		SALURAN	ETAP		MATLAB		ERORR	
DARI	KE		Plosses (kW)	Qlosses (kVar)	Plosses (kW)	Qlosses (kVar)	Plosses (%)	Qlosses (%)
1	2	1	0,60	1,1	0,57	1,09	5,3	0,9
2	3	2	0	0	0,04	0,003	0	0
3	4	3	0	0	0,01	0,001	0,0	0,0
4	5	4	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0
3	6	5	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0
TOTAL			0,6	1,1	0,63	1,14	4,76	3,51

4. Hasil simulasi aliran daya menggunakan *software* MATLAB .

Command Window

Maximum Power Mismatch = 1.30011e-09
No. of Iterations = 5

Load Flow Flow SUTM Universitas Tadulako (UNTAD)
Tugas Akhir
F44121070

No.	Voltage	
Bus	kv	deg
1	20.000	0.0
2	19.999	-0.0
3	19.976	-0.0
4	19.975	-0.0
5	19.970	-0.0
6	19.959	-0.0
7	19.953	-0.0
8	19.949	-0.1
9	19.941	-0.1
10	19.940	-0.1
11	19.940	-0.1
12	19.939	-0.1
13	19.933	-0.1
14	19.930	-0.1
15	19.929	-0.1
16	19.928	-0.1
17	19.926	-0.1
18	19.925	-0.1
19	19.925	-0.1
20	19.925	-0.1

Command Window

21	19.923	-0.1
22	19.922	-0.1
23	19.921	-0.1
24	19.922	-0.1
25	19.989	-0.0
26	19.987	-0.0
27	19.987	-0.0
28	19.986	-0.0
29	19.986	-0.0
30	19.986	-0.0
31	19.986	-0.0
32	19.979	-0.0
33	19.974	-0.0
34	19.973	-0.0
35	19.964	-0.0
36	19.963	-0.0
37	19.963	-0.0
38	19.956	-0.0
39	19.956	-0.0
40	19.952	-0.0
41	19.950	-0.1
42	19.948	-0.1
43	19.948	-0.1
44	19.945	-0.1
45	19.945	-0.1
46	19.944	-0.1
47	19.944	-0.1
48	19.943	-0.1
49	19.942	-0.1
50	19.942	-0.1

Command Window				
51	19.942	-0.1		
52	19.976	-0.0		
53	19.974	-0.0		
54	19.974	-0.0		
55	19.974	-0.0		
56	19.974	-0.0		

dari	ke	Losses		
Bus	bus	KW	KVar	

1	2	0.13	0.10	
2	3	3.28	2.54	
3	4	0.00	0.00	
3	5	0.67	0.52	
5	6	1.44	1.12	
6	7	0.70	0.54	
7	8	0.40	0.31	
8	9	0.87	0.68	
9	10	0.01	0.01	
10	11	0.00	0.00	
9	12	0.14	0.11	
12	13	0.50	0.39	
13	14	0.23	0.18	
14	15	0.09	0.07	
15	16	0.01	0.01	
15	17	0.15	0.12	
17	18	0.04	0.03	
18	19	0.00	0.00	
18	20	0.00	0.00	
18	21	0.12	0.10	

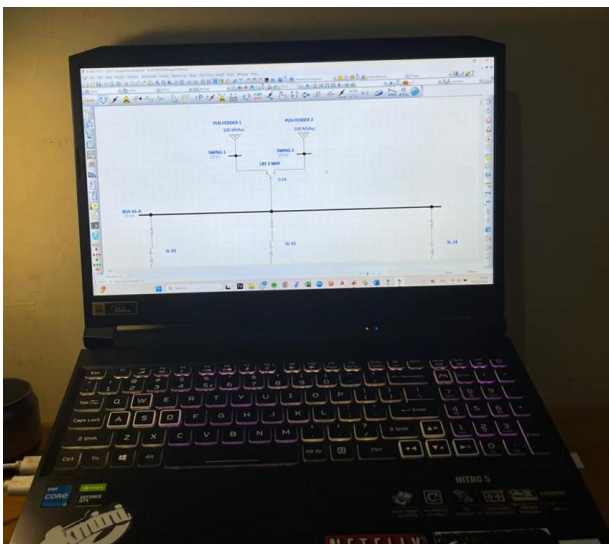
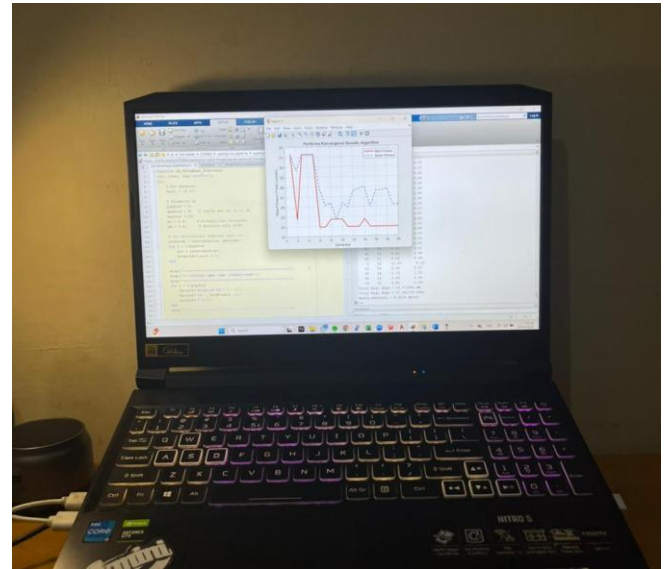
Command Window				
21	22	0.02	0.01	
22	23	0.01	0.01	
22	24	0.00	0.00	
1	25	1.66	1.28	
25	26	0.20	0.16	
26	27	0.00	0.00	
27	28	0.00	0.00	
28	29	0.00	0.00	
29	30	0.00	0.00	
29	31	0.00	0.00	
26	32	0.90	0.70	
32	33	0.48	0.37	
33	34	0.00	0.00	
33	35	0.84	0.65	
35	36	0.10	0.08	
36	37	0.00	0.00	
36	38	0.56	0.44	
38	39	0.00	0.00	
38	40	0.29	0.23	
40	41	0.17	0.13	
41	42	0.10	0.07	
42	43	0.00	0.00	
42	44	0.14	0.11	
44	45	0.00	0.00	
45	46	0.00	0.00	
46	47	0.00	0.00	
44	48	0.06	0.05	
48	49	0.01	0.01	
49	50	0.00	0.00	
49	51	0.00	0.00	

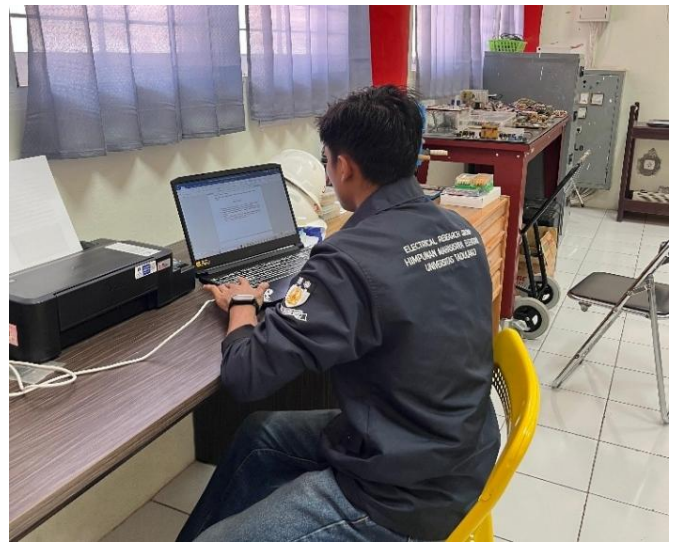
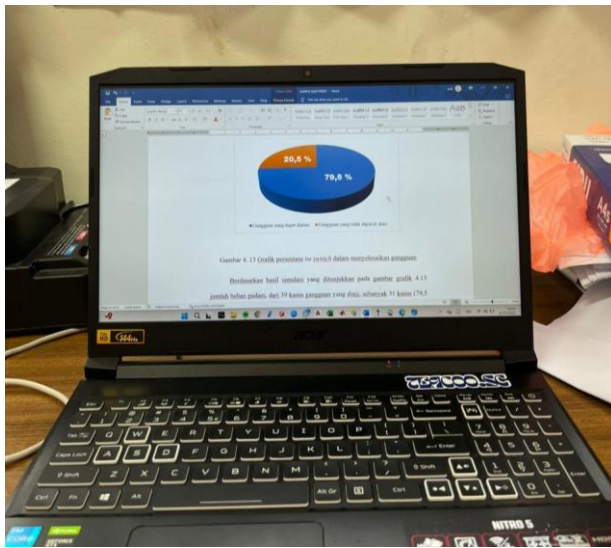
1	52	1.67	1.29
52	53	0.09	0.07
52	54	0.05	0.04
54	55	0.00	0.00
54	56	0.01	0.01

Total Rugi daya = 16.195714 KW
 Total Rugi daya = 12.554490 KVar

$f_x >>$

5. Dokumentasi selama proses penelitian





RIWAYAT HIDUP / *CURICULUM VITAE*

DATA PRIBADI

Nama : I Nyoman Erik Widana
Tempat, Tanggal Lahir : Tambarana, 22 Agustus 2001
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Hindu
Tinggi Badan : 169 cm
Berat Badan : 58 Kg
Golongan Darah : B+
Alamat : Jl. Roviga
Nomor Handphone : 085230636529
Email : erikwidana070@gmail.com

DATA PENDIDIKAN

SD : SD Inpres Salumoni (2007-2014)
SMP : SMP Negeri 1 Pasangkayu (2014- 2017)
SMA : SMA Negeri 1 Pasangkayu (2017-2018)
SMA : SMA Negeri 1 Torue (2018-2020)
Perguruan Tinggi : Universitas Tadulako (2021-2025)

PENGALAMAN ORGANISASI

Tahun 2022-2023 : Presidium Musyawarah Besar HME UNTAD ke - XXIV dan Ketua Panitia ARESTER 2023
Tahun 2024-2025 : Kordinator Divisi Riset dan Teknologi BPH HME UNTAD dan Kordinator Divisi Eksternal Laboratorium Listrik dasar dan pengukuran.

PENGALAMAN KERJA

PT. DCE (2023-2025) : Tim Perencanaan Kelistrikan UNTAD, Tim SLF PT. NNI, Tim SLF PT. IHIP, dan Tim Perancangan PLTS 24 KVA FMIPA UNTAD .