

**OPTIMASI RUTE PENYULANG JARINGAN DISTRIBUSI DENGAN  
METODE *MINIMUM SPANNING TREE***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**ARNES ELIEZER SITINJAK  
NPM. 2015031014**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### OPTIMASI RUTE PENYULANG JARINGAN DISTRIBUSI DENGAN METODE *MINIMUM SPANNING TREE*

Oleh

ARNES ELIEZER SITINJAK

Salah satu tantangan dalam manajemen sistem distribusi adalah menemukan rute yang optimal untuk mengalirkan daya listrik dengan rugi-rugi daya yang kecil. Dalam menemukan rute yang optimal, perlu dilakukan rekonfigurasi jaringan dengan membuka atau menutup dari *sectionalizing switch* dan *tie-switch*. Banyaknya kombinasi *switching* yang mungkin terjadi dalam melakukan rekonfigurasi tidak mungkin dilakukan secara manual dan memerlukan teknik optimasi. Dalam penelitian ini dilakukan pencarian rute jaringan distribusi yang optimal dengan menggunakan *minimum spanning tree* dengan algoritma Kruskal untuk meminimalkan rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan. Studi kasus yang digunakan pada penelitian ini yaitu sistem standar IEEE 33-bus, IEEE 69-bus serta penyulang Rayap pada GI Metro. Hasil simulasi pada sistem 33-bus, 69-bus dan penyulang Rayap menunjukkan bahwa rugi-rugi daya aktif berkurang sebesar 40,87%, 53,33% dan 8,11%. Dengan menggunakan *minimum spanning tree* dengan algoritma Kruskal mampu mendapatkan konfigurasi jaringan radial baru dengan rugi-rugi daya yang lebih kecil dan profil tegangan yang lebih baik dibandingkan sebelumnya.

Kata kunci: Optimasi rute, jaringan distribusi, *minimum spanning tree*, algoritma kruskal, rugi-rugi daya

## **ABSTRACT**

### **OPTIMIZATION OF DISTRIBUTION NETWORK FEEDER ROUTE USING THE MINIMUM SPANNING TREE METHOD**

**By**

**ARNES ELIEZER SITINJAK**

One of the challenges in distribution system management is to find the optimal route for transmitting electrical power with minimal power losses. Finding the optimal route, network reconfiguration is required by opening or closing sectionalizing switches and tie-switches. The numerous possible switching combinations make manual reconfiguration impractical and necessitate optimization techniques. This research seeks the optimal distribution network route using the minimum spanning tree with Kruskal's algorithm to minimize power losses and improve voltage profiles. The case studies used in this research are the IEEE 33-bus standard system, the IEEE 69-bus standard system, and the Rayap feeder at the Metro substation. Simulation results show that active power losses are reduced by 40.87% in the 33-bus system, 53.33% in the 69-bus system, and 8.11% in the Rayap feeder. By using the minimum spanning tree with Kruskal's algorithm, a new radial network configuration is obtained with lower power losses and better voltage profiles compared to the previous configuration.

Keywords: Route optimization, distribution network, minimum spanning tree, Kruskal's algorithm, power losses

**OPTIMASI RUTE PENYULANG JARINGAN DISTRIBUSI DENGAN  
METODE *MINIMUM SPANNING TREE***

**Oleh**

**Arnes Eliezer Sitinjak**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2024**

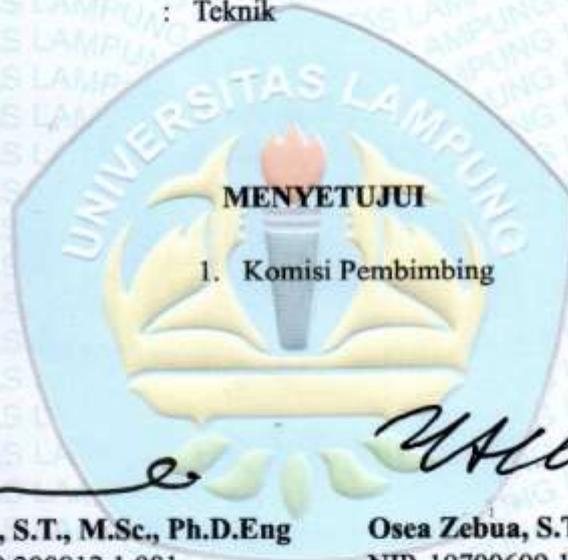
Judul Skripsi : **OPTIMASI RUTE PENYULANG JARINGAN  
DISTRIBUSI DENGAN METODE *MINIMUM  
SPANNING TREE***

Nama Mahasiswa : **Arnes Eliezer Sitinjak**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015031014

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



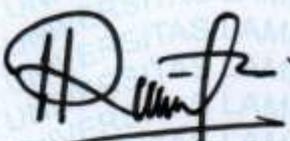
1. Komisi Pembimbing

  
Ir. Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng  
NIP. 19700719 200012 1 001

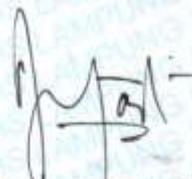
  
Osea Zebua, S.T., M.T  
NIP. 19700609 199903 1 002

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

  
Herlinawati, S.T., M.T.  
NIP. 19710314 199903 2 001

Ketua Program Studi Teknik Elektro

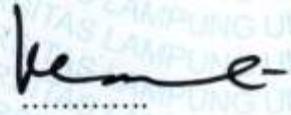
  
Sumadi, S.T., M.T  
NIP. 19731104 200003 1 001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

Ketua

**: Ir. Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D. Eng.**



Sekretaris

**: Osea Zebua, S.T., M.T.**



Penguji

**Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.**



**2. Dekan Fakultas Teknik**

**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**  
NIP. 19750928 200112 1 002



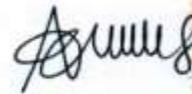
**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 19 Juni 2024**

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi akademik sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Juli 2024



Arnes Eliezer Sitinjak  
NPM 2015031014



## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 13 Desember 2002, sebagai anak kedua dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Kamson Sitinjak dan Ibu Hotma Silaen, S.Pd.

Riwayat Pendidikan penulis dimulai dari TK Immanuel Bandar Lampung pada tahun 2006 hingga 2008. SD Negeri 3 Karang Anyar pada tahun 2008 hingga 2014, SMP Negeri 3 Jati Agung pada tahun 2014 hingga 2017, kemudian SMA Immanuel Bandar Lampung pada tahun 2017 hingga 2020.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2020 melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa, penulis tergabung dalam keanggotaan asisten Laboratorium Sistem Tenaga Listrik dari tahun 2022 dan berkesempatan menjadi asisten dosen mata kuliah Menggambar Teknik dan Praktikum Analisa Sistem Tenaga Listrik tahun 2023, serta asisten dosen mata kuliah Algoritma dan Pemrograman tahun 2024. Selain itu, penulis juga tergabung dalam organisasi intra kampus Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) sebagai anggota Departemen Pengembangan Keteknikan Divisi Pengabdian Masyarakat periode 2021 dan 2022. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Prima Layanan Nasional (PLN) Enjiniring yang tergabung dalam divisi Transmisi dan Distribusi dan melanjutkan membuat laporan yang berjudul “Analisa Pengaturan Rele Diferensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya 1 150/20kV 60 MVA GIS 4 Wilayah Khusus (Ibu Kota Nusantara) Untuk Rancangan Tahun 2045”.

**Karya ini kupersembahkan untuk**

**Papa dan Mama Tercinta**

**Kamson Sitinjak dan Hotma Silaen**

**Kakak Satu-satunya**

**Mentoria Alviani Sitinjak**

**Keluarga Besar, Dosen, Teman dan  
Almamater**

## MOTTO

“Apapun juga yang kamu perbuat, perbuatlah dengan segenap hatimu seperti untuk Tuhan dan bukan untuk manusia”

(Kolose 3:23)

“Karena itu, saudara-saudaraku yang kekasih, berdirilah teguh, jangan goyah, dan giatlah selalu dalam pekerjaan Tuhan! Sebab kamu tahu, bahwa dalam persekutuan dengan Tuhan jerih payahmu tidak sia-sia”

(1 Korintus 15:58)

## SANWACANA

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yesus Kristus atas kasih dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Optimasi Rute Jaringan Distribusi dengan Metode *Minimum Spanning Tree*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A. IPM., ASEAN.Eng., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
4. Bapak Sumadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
5. Bapak Ir. Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D. Eng., selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, dan pandangan hidup kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah.
6. Bapak Osea Zebua, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, arahan, nasihat dan motivasi kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah.

7. Bapak Dr. Eng. Ir. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc., selaku dosen penguji yang memberikan kritik, masukan, saran serta motivasi dan pandangan kehidupan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah.
8. Bapak Dr. Eng. Ageng Sadnowo Repelianto., S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, bimbingan dengan baik dan tulus kepada penulis selama perkuliahan.
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan pengajaran dan pandangan hidup selama perkuliahan.
10. Staff administrasi Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
11. Papa dan Mama tercinta, Kamson Sitinjak dan Hotma Silaen, S.Pd., yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, dan doa kepada penulis; Kakak tercinta, Mentoria Alviani Sitinjak, S.Si., yang juga selalu memberikan semangat, motivasi dan doa kepada penulis.
12. Segenap Keluarga Besar Laboratorium Sistem Tenaga Listrik; Pak Rachman atas ilmu dan kerjasamanya selama penulis menjadi asisten laboratorium, Kakak-kakak asisten Lab STL 2018 dan 2019 atas ilmu, bantuan serta pengalamannya; Rizki, Aymanul, Ipna dan Syawaludin atas semangat, kerjasama dan bantuannya selama ini; Serta adik-adik 2021, Imam, Rasyid, Eikel, Rasel, Jerry, Tegar, Desta, Frissa, dan Nadia.
13. Segenap Keluarga Besar BAIM; Adrian, Tegar, Gomes, Regina, Ashel, Jasmine, Cindy dan Valen atas canda tawanya selama ini serta menjadi rekan sekerja Allah dalam berpelayanan di FKMK-FT.

14. Segenap Keluarga Besar Angkatan HELLIOS 2020; Adhiva yang telah menjadi partner penulis sejak semester awal; Adam yang telah menjadi rekan skripsi selama di lab.
15. Rekan-rekan HIMATRO UNILA serta kakak-kakak dan adik-adik tingkat di Jurusan Teknik Elektro.
16. Segenap Keluarga Besar FKMK-FT yang telah menjadi keluarga dan rekan penulis, serta menjadi wadah dalam melayani Tuhan Yesus Kristus.
17. NPM 2215011122, atas bantuan, dukungan serta doanya.
18. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis menerima kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, Juni 2024

Arnes Eliezer Sitinjak

## DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK .....	ii
SANWACANA .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xviii
I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Rumusan Masalah .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Hipotesis.....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Penelitian Terdahulu .....	5
2.2 Sistem Tenaga Listrik .....	6
2.3 Sistem Distribusi .....	7
2.3.1 Sistem Distribusi Radial Terbuka .....	7
2.3.2 Sistem Distribusi Radial dengan Tie Switch .....	8

2.3.3 Sistem Distribusi Mesh.....	8
2.4 Studi Aliran Daya .....	9
2.5 Minimum Spanning Tree.....	13
2.5.1 Algoritma Prim .....	13
2.5.2 Algoritma Kruskal.....	14
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	16
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	16
3.2 Alat dan Bahan .....	16
3.3 Tahapan Penelitian.....	17
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	18
3.5 Simulasi Optimasi Rute Penyulang Menggunakan Metode MST.....	19
3.6 Diagram Alir Minimum Spanning Tree.....	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	25
4.1 Data Studi Kasus .....	25
4.1.1 Data Standar IEEE case 33-bus .....	25
4.1.2 Data Standar IEEE case-69 bus .....	27
4.1.3 Data Penyulang Rayap.....	29
4.2 Hasil Simulasi Sebelum Dilakukan Optimasi Rute Penyulang.....	31
4.2.1 Kasus Uji 1: Sistem 33 Bus .....	31
4.2.2 Kasus Uji 2: Sistem 69 Bus .....	32
4.2.3 Kasus Uji 3: Penyulang Rayap .....	34
4.3 Hasil Simulasi Optimasi Rute Penyulang Jaringan Distribusi .....	37
4.3.1 Hasil Simulasi Kasus Uji 1: Sistem 33 Bus.....	37
4.3.2 Hasil Simulasi Kasus Uji 2: Sistem 69 Bus.....	39
4.3.3 Hasil Simulasi Kasus Uji 3: Penyulang Rayap.....	42
4.4 Perbandingan Hasil Simulasi Sebelum dan Sesudah Optimasi.....	45

4.4.1 Perbandingan Hasil Simulasi Sebelum dan Sesudah Optimasi Sistem	33
Bus .....	45
4.4.2 Perbandingan Hasil Simulasi Sebelum dan Sesudah Optimasi Sistem	69
Bus .....	47
4.4.3 Perbandingan Hasil Simulasi Sebelum dan Sesudah Optimasi Penyulang	
Rayap .....	49
V. KESIMPULAN DAN SARAN .....	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran .....	52
DAFTAR PUSTAKA .....	53
LAMPIRAN .....	55

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Sistem Tenaga Listrik .....	6
Gambar 2. 2 Jaringan Distribusi Radial Terbuka .....	8
Gambar 2. 3 Sistem Jaringan Radial dengan <i>Tie Switch</i> .....	8
Gambar 2. 4 Sistem Jaringan Mesh .....	9
Gambar 2. 5 Sistem dua bus .....	10
Gambar 2. 6 Penerapan algoritma Kruskal .....	15
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	19
Gambar 3. 2 Sistem standar IEEE-33 bus dengan <i>tie-switch</i> .....	21
Gambar 3.3 Sistem standar IEEE-69 bus dengan <i>tie-switch</i> .....	22
Gambar 3. 4 Penyulang Rayap .....	23
Gambar 3. 5 Diagram Alir Metode <i>Minimum Spanning Tree</i> .....	24
Gambar 4. 1 Jaringan Distribusi Radial Baru Sistem 33 Bus .....	38
Gambar 4. 2 Jaringan Distribusi Radial Baru Sistem 69 Bus .....	40
Gambar 4. 3 Jaringan Distribusi Radial Baru Penyulang Rayap .....	42
Gambar 4. 4 Profil tegangan sistem 33 bus sebelum dan setelah optimasi .....	46
Gambar 4. 5 Rugi-rugi daya aktif sistem 33 bus sebelum dan sesudah optimasi .	46
Gambar 4. 6 Profil tegangan sistem 69 bus sebelum dan setelah optimasi .....	47
Gambar 4. 7 Rugi-rugi daya aktif sistem 69 bus sebelum dan sesudah optimasi .	48
Gambar 4. 8 Profil tegangan penyulang Rayap bus sebelum dan setelah optimasi .....	49
Gambar 4. 9 Rugi-rugi daya aktif penyulang Rayap sebelum dan sesudah optimasi .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian .....	16
Tabel 4. 1 Data saluran sistem IEEE 33-bus .....	25
Tabel 4. 2 Data bus sistem IEEE 33-bus .....	26
Tabel 4.3 Data saluran sistem IEEE 69-bus .....	27
Tabel 4. 4 Data bus sistem 69-bus.....	28
Tabel 4. 5 Data saluran penyulang Rayap.....	29
Tabel 4. 6 Data bus pada penyulang Rayap .....	30
Tabel 4. 7 Profil tegangan sistem 33 bus.....	31
Tabel 4. 8 Bobot ( <i>weight</i> ) untuk sistem 33 bus .....	32
Tabel 4. 9 Profil tegangan sistem 69 bus.....	32
Tabel 4. 10 Bobot ( <i>weight</i> ) untuk sistem 69 bus .....	33
Tabel 4. 11 Profil tegangan pada penyulang Rayap .....	34
Tabel 4. 12 Bobot ( <i>weight</i> ) pada penyulang Rayap .....	36
Tabel 4. 13 Profil tegangan sistem 33 Bus .....	38
Tabel 4. 14 Profil tegangan sistem 69 bus setelah optimasi.....	40
Tabel 4. 15 Profil tegangan pada penyulang Rayap setelah optimasi .....	43
Tabel 4.16 Perbandingan hasil simulasi sebelum dan sesudah optimasi sistem 33 bus....	45
Tabel 4. 17 Perbandingan hasil simulasi sebelum dan sesudah optimasi sistem 69 bus...	47
Tabel 4. 18 Perbandingan hasil simulasi sebelum dan sesudah optimasi penyulang Rayap .....	49

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan daya listrik dari gardu induk hingga ke beban. Dalam sistem distribusi, penyulang/*feeder* inilah yang mendistribusikan daya listrik dari gardu induk hingga ke konsumen[1]. Sistem distribusi merupakan tahap terakhir dari jaringan listrik yang menyuplai daya ke pelanggan, sehingga perlu menjadi fokus utama untuk menjaga ketersediaan energi yang andal dan efisien.

Sistem distribusi umumnya memiliki struktur konfigurasi *mesh*, namun pengoperasiannya dilakukan dalam konfigurasi radial. Kelemahan dari struktur radial adalah ketergantungan pada satu titik sumber daya. Jika ada gangguan pada salah satu penyulang, maka konsumen yang terhubung pada penyulang tersebut akan terputus dari pasokan listrik. Namun meski demikian, pengoperasian struktur radial tetap digunakan karena pengoperasian dan proteksinya lebih sederhana [2][3].

Tantangan dalam manajemen sistem distribusi adalah menemukan rute yang optimal untuk mengalirkan daya listrik dengan rugi-rugi daya yang kecil. Dalam menemukan rute yang optimal pada sistem distribusi perlu dilakukan rekonfigurasi jaringan dengan membuka atau menutup dari *sectionalizing* dan *tie-switch* sehingga didapatkan jaringan radial dengan rugi-rugi daya yang kecil. Banyaknya kombinasi *switching* yang mungkin terjadi dalam melakukan rekonfigurasi tidak mungkin dilakukan secara manual dan memerlukan teknik optimasi. Dalam literatur, beberapa teknik optimasi telah dilakukan untuk menentukan rekonfigurasi jaringan distribusi yang optimal[4], [5], [6], [7].

Dalam penelitian ini akan dilakukan pencarian rute penyulang jaringan distribusi yang optimal menggunakan metode *minimum spanning tree* (MST) dengan algoritma Kruskal. Diharapkan dengan menggunakan metode ini mampu menentukan rute penyulang jaringan distribusi yang optimal dengan rugi-rugi daya yang minimal dan meningkatkan profil tegangan.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mencari rute jaringan distribusi yang optimal menggunakan metode *Minimum Spanning Tree* (MST) dengan algoritma Kruskal untuk meminimalkan rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan.

## 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahannya dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana mendefinisikan fungsi objektif dan *constrain* dalam mencari rute jaringan distribusi yang optimal?
2. Bagaimana mencari rute jaringan distribusi yang optimal menggunakan metode *Minimum Spanning Tree* (MST) dengan algoritma Kruskal?

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Sistem diasumsikan dalam keadaan *steady state*.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan suatu bahan kajian dalam mencari rute jaringan distribusi yang optimal.
2. Menjadi bahan pembelajaran dan referensi bagi mahasiswa lain untuk mengembangkan penelitian ini selanjutnya.

## 1.6 Hipotesis

Penerapan metode *Minimum Spanning Tree* (MST) dengan algoritma Kruskal pada jaringan distribusi yang akan dilakukan rekonfigurasi akan didapatkan rute penyulang jaringan distribusi yang optimal dengan rugi-rugi daya yang minimal dan peningkatan profil tegangan.

## 1.7 Sistematika Penulisan

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, tujuan penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis serta sistematika penulisan.

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan teori pendukung yang dijadikan sebagai pengantar pemahaman dan berkaitan dengan materi penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah, seperti buku dan jurnal.

### **BAB III. METODE PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan waktu dan tempat pengerjaan, alat dan bahan yang digunakan dalam pengerjaan penelitian, serta metode dan diagram penelitian yang akan digunakan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir.

#### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan hasil dan menganalisa hasil data komputasi yang didapatkan dari simulasi serta pembahasan dari penelitian tugas akhir ini.

#### **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan yang didapatkan dari hasil analisa dan pembahasan serta berisi saran penulis untuk meningkatkan wawasan bagi pembaca.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Abdelaziz [4] dalam penelitian yang berjudul “*Distribution System Reconfiguration Using a Modified Tabu Search Algorithm*”, memperkenalkan metode meta-heuristik yang efisien untuk rekonfigurasi sistem distribusi sehingga kerugian daya aktif diminimalkan secara global dengan melakukan *on/off* pada *sectionalizing switches*. Keunggulan metode ini adalah kemampuannya untuk dengan cepat memberi solusi optimal global. Sistem yang digunakan *16-node system*, *69-node system* dan *119-node system*. Hasil simulasi menunjukkan algoritma *Tabu Search* lebih baik dibanding metode *Simulated Annealing*.

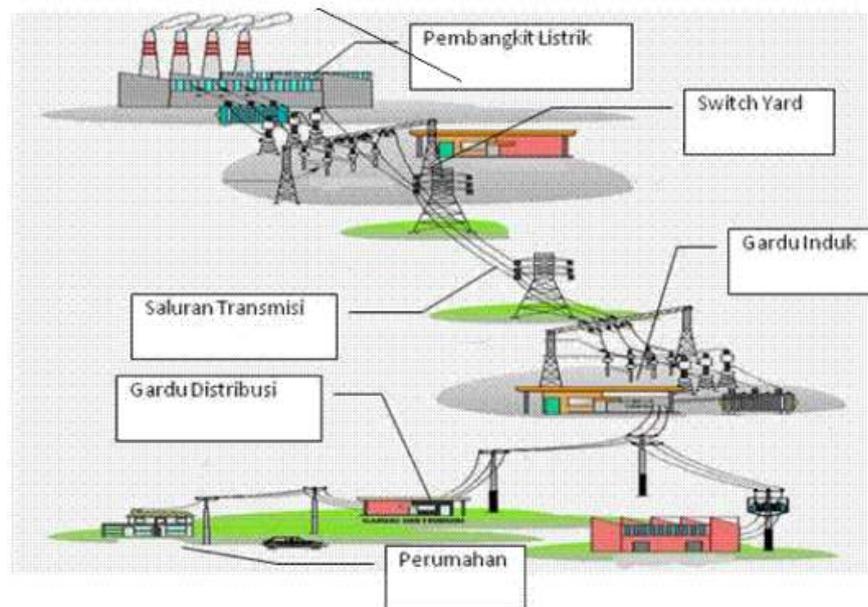
Hanan Hamour [5] dalam penelitian yang berjudul “*Distribution Network Reconfiguration Using Grasshopper Optimization Algorithm for Power Loss Minimization*”, melakukan rekonfigurasi jaringan distribusi untuk menentukan kombinasi *switches* yang optimal untuk memaksimalkan pengurangan kerugian daya dengan mempertimbangkan batasan struktur sistem. Teknik optimasi yang digunakan adalah *Grasshopper Optimization Algorithm* yang terinspirasi dari perilaku belalang di alam. Sistem yang digunakan adalah sistem distribusi radial IEEE-33 bus. Hasil simulasi dengan metode yang diusulkan mampu menemukan konfigurasi jaringan baru dengan pengurangan rugi-rugi daya yang cukup besar dan profil tegangan yang lebih baik.

Ayodeji Olalekan [6] dalam penelitian yang berjudul “*Optimal Network Reconfiguration for Power Loss Minimization and Voltage Profile Enhancement in Distribution Systems*”, menyajikan metode *Selective Particle Swarm Optimization*

(SPSO) yang digunakan untuk rekonfigurasi jaringan dengan mempertimbangkan kondisi beban yang berbeda. Penelitian ini menggunakan sistem distribusi radial IEEE-33 bus dengan tiga kondisi beban yang berbeda yaitu ringan, normal dan berat. Dengan metode optimasi ini, rekonfigurasi jaringan telah dilakukan dengan rugi-rugi daya yang minim dan profil tegangan mengalami peningkatan.

## 2.2 Sistem Tenaga Listrik

Secara umum, sistem tenaga listrik terdiri dari sistem pembangkitan, transmisi, distribusi dan beban. Sistem ini menjadi suatu kesatuan interkoneksi. Sumber listrik berasal dari pusat pembangkit yang umumnya berada sangat jauh dari beban, sehingga diperlukan sistem transmisi dalam menyalurkan energi listrik tersebut [10]. Energi listrik tersebut dibangkitkan oleh pusat-pusat pembangkit seperti PLTA, PLTD, PLTU, PLTGU, dan PLTP.



Gambar 2. 1 Skema Sistem Tenaga Listrik

Energi listrik yang telah dibangkitkan umumnya berkisar antara 6-20 kV, dan kemudian akan dibantu oleh transformator *step-up* untuk menaikkan tegangan hingga mencapai 150-500 kV untuk meminimalisir terjadinya rugi-rugi daya oleh karena arus yang besar. Setelah listrik disalurkan pada sistem transmisi dan mencapai gardu induk, selanjutnya tegangan akan diturunkan kembali dengan

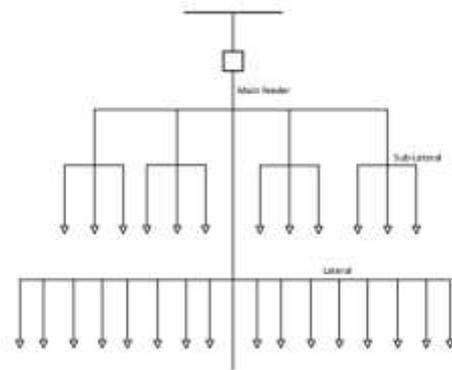
bantuan transformator *step-down*. Tegangan akan diturunkan ke tegangan menengah 20 kV untuk disalurkan ke gardu distribusi. Dari gardu distribusi ini nantinya akan diturunkan menjadi 220/380 V agar dapat disalurkan ke pusat-pusat beban [8].

## 2.3 Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga yang menghubungkan *distribution substation* atau gardu distribusi ke konsumen-konsumen. Fungsinya adalah sebagai penyaluran listrik. Sistem distribusi terbagi menjadi dua yaitu distribusi primer dan sekunder. Level tegangan pada sistem distribusi primer biasanya berkisar antara 4-34,5 kV dan menyuplai beban di suatu wilayah. Beberapa pelanggan industri biasanya dilayani langsung *feeder* dari distribusi primer [9]. Namun pada distribusi sekunder, tegangan akan diturunkan ke level yang lebih kecil lagi menjadi 220/380 V dengan menggunakan transformator distribusi. Jaringan distribusi sekunder biasanya disebut dengan jaringan tegangan rendah (JTR), yang melayani beban perumahan, komersial, dan industri.

### 2.3.1 Sistem Distribusi Radial Terbuka

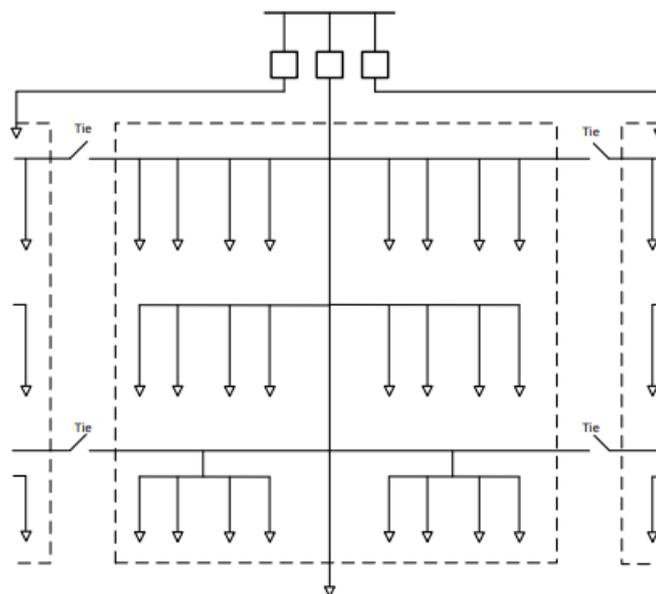
Sistem radial pada jaringan distribusi merupakan sistem yang dimana terdapat satu sumber jaringan yang melayani banyak beban melalui percabangan atau penyulang pada saluran. Sistem ini merupakan sistem dengan konstruksi paling sederhana dan biaya lebih murah karena material yang digunakan lebih sedikit. Namun, karena hanya terdapat satu saluran utama pada sistem radial, maka apabila terjadi gangguan akan menyebabkan pemadaman pada daerah yang disuplai. Rugi-rugi tegangan akan semakin besar apabila panjang saluran semakin bertambah. Sehingga kelemahan pada sistem distribusi terbuka adalah pada keandalannya.



Gambar 2. 2 Jaringan Distribusi Radial Terbuka

### 2.3.2 Sistem Distribusi Radial dengan Tie Switch

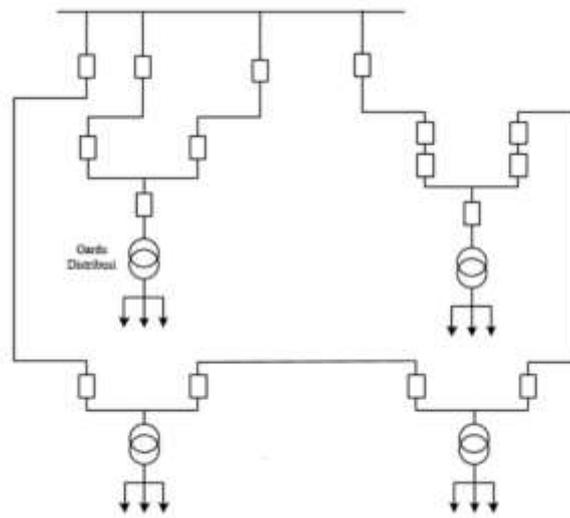
Pada sistem distribusi radial dengan *tie switch*, untuk menyalurkan tenaga listrik digunakan penambahan kabel penghubung pada beberapa salurannya yang bertujuan untuk menjaga serta meningkatkan keandalan sistem. *Tie switch* berfungsi untuk mengalihkan ke penyulang atau saluran lain ketika salah satu penyulang mengalami gangguan atau dalam pemeliharaan.



Gambar 2. 3 Sistem Jaringan Radial dengan *Tie Switch*

### 2.3.3 Sistem Distribusi Mesh

Sistem distribusi mesh merupakan sistem yang melakukan penyaluran listrik dengan dua atau lebih penyulang yang dilakukan secara terus menerus dengan beberapa pusat pembangkit. Sistem ini memiliki tingkat keandalan yang lebih tinggi karena apabila terjadi gangguan pada salah satu saluran tidak akan mengganggu kontinuitas pelayanan, sehingga dapat digunakan pada daerah-daerah yang memiliki kepadatan tinggi. Namun meski demikian biaya konstruksi akan lebih mahal dan pengaturan peralatan proteksi lebih sulit dilakukan.



Gambar 2. 4 Sistem Jaringan Mesh

## 2.4 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan studi yang mencakup perhitungan dan analisis pada sistem tenaga listrik. Secara umum, tujuan adanya studi aliran daya yaitu untuk mendapatkan besar dan sudut tegangan pada setiap bus sehingga dapat diketahui batas-batas operasi yang diperbolehkan, serta besar arus dan daya juga dapat diketahui, sehingga dapat diidentifikasi tingkat pembebanannya.

Dalam penyelesaian permasalahan aliran daya, sistem diasumsikan beroperasi dalam keadaan seimbang dan model satu fasa biasanya digunakan. Terdapat empat

besaran yang terkait dengan setiap bus, diantaranya besaran tegangan  $|V|$ , sudut fasa ( $\delta$ ), daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). Setiap bus pada sistem tenaga dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu [9]:

1. *Slack Bus*

*Slack bus* atau *swing bus*, merupakan bus referensi dimana besaran yang diketahui adalah tegangan dan sudut fasanya.

2. *Load Buses*

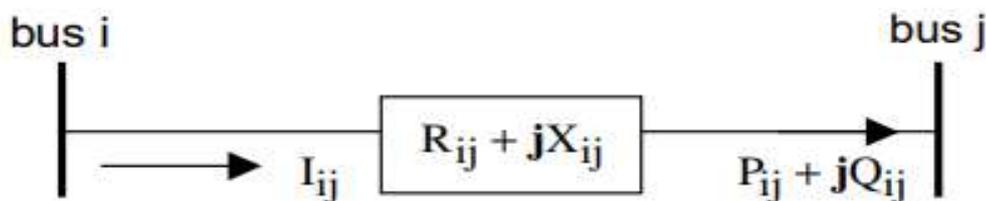
*Load buses* atau bus beban, merupakan bus yang daya aktif dan daya reaktifnya diketahui, sehingga sering juga disebut P-Q bus. Besaran tegangan dan sudut fasanya tidak diketahui sehingga perlu dilakukan perhitungan.

3. *Regulated Buses*

Bus ini adalah generator bus yang daya aktif dan tegangannya telah ditentukan. Bus ini sering juga disebut *voltage-controlled buses* atau P-V bus.

Studi aliran daya memiliki tiga metode penyelesaian, yaitu metode *Gauss-Seidel*, *Newton-Raphson*, dan *Fast-Decouple*. Metode *Newton-Raphson* lebih umum digunakan karena lebih efisien dan praktis pada sistem yang besar [9]. Penyelesaian aliran daya dengan metode *Newton-Raphson* diawali dengan membentuk matriks admitansi (Y bus) yang ditunjukkan pada persamaan (2.1).

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



Gambar 2. 5 Sistem dua bus

Berdasarkan pada gambar 2.5, arus yang mengalir ke bus i adalah

$$I_i = \sum_{j=1}^n V_j Y_{ij} \quad (2.2)$$

Dalam bentuk polar, dapat dituliskan menjadi

$$I_i = \sum_{j=1}^n |V_j| |Y_{ij}| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.3)$$

Daya aktif dan daya reaktif pada bus  $i$  adalah

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2.4)$$

Substitusi persamaan (2.2) ke (2.3),

$$P_i - jQ_i = |V_i^*| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |V_j| |Y_{ij}| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.5)$$

Memisahkan bagian riil dan imajiner,

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.6)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.7)$$

Matriks jacobian dapat dituliskan sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

*Diagonal element* dan *off-diagonal element* pada  $J_1$  adalah

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.10)$$

*Diagonal element* dan *off-diagonal element* pada  $J_2$  adalah

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.12)$$

*Diagonal element* dan *off-diagonal element* pada  $J_3$  adalah

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.14)$$

Diagonal element dan off-diagonal element pada  $J_4$  adalah

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i||Y_{ii}| \sin\theta_{ii} - \sum_{j \neq i} |V_j||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.16)$$

Nilai tegangan dan sudut fasa baru diperoleh melalui persamaan

$$\Delta\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \quad (2.17)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta|V_i^{(k)}| \quad (2.18)$$

Perhitungan terus dilakukan hingga  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  kurang dari ketelitian yang telah ditentukan,

$$|\Delta P_i^{(k)}| \leq \epsilon \quad (2.19)$$

$$|\Delta Q_i^{(k)}| \leq \epsilon \quad (2.20)$$

dimana  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  adalah selisih nilai terjadwal dan perhitungan, yang dikenal dengan *power residual*, dengan persamaan

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{(sch)} - P_i^{(k)} \quad (2.21)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{(sch)} - Q_i^{(k)} \quad (2.22)$$

Pada gambar 2.5, arus yang mengalir antara bus i ke bus j dapat dihitung dengan persamaan

$$I_{ij} = y_{ij}(V_i - V_j) \quad (2.23)$$

$$I_{ji} = -I_{ij} \quad (2.24)$$

Sehingga aliran daya antara bus i ke bus j dan sebaliknya adalah

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (2.25)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (2.26)$$

Sehingga rugi-rugi pada saluran dapat dihitung menggunakan persamaan

$$S_{loss} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.27)$$

## 2.5 Minimum Spanning Tree

*Minimum spanning tree* (MST) merupakan sebuah subgraf dari graf tak berarah yang mengandung semua simpul (*vertices*) dan tidak membentuk siklus (*loop*) dengan bobot minimum. Apabila diberikan suatu graf  $G(V, E)$  dengan bobot setiap garis  $e_{ij}$  adalah  $c_{ij}, c_{ij} \geq 0$ , maka yang ingin didapatkan adalah suatu jaringan dengan bobot terkecil, dan inilah yang disebut *minimum spanning tree*.

Permasalahan umum dalam mencari *minimum spanning tree* adalah memilih garis-garis (*edge*) dari sebuah graf agar dapat menghubungkan semua titik/simpul (*vertices*) dalam graf tanpa membentuk sirkuit dengan total bobot dari garis tersebut mencapai nilai minimum. Sehingga untuk masalah *minimum spanning tree*, graf yang dicari harus memenuhi ketiga kriteria berikut [10]:

1. Graf terhubung
2. Tidak membentuk sirkuit (*loop*)
3. Total bobot adalah minimum

Pencarian *minimum spanning tree* merupakan permasalahan graf tertua dan paling mendasar dalam ilmu komputer. Sejarahnya berawal dari Algoritma Boruvka pada tahun 1926[11]. Saat ini terdapat dua Algoritma *Greedy* yang umum digunakan yaitu Algoritma Prim dan Algoritma Kruskal.

### 2.5.1 Algoritma Prim

Algoritma Prim pertama kali dikembangkan oleh Vojtěch Jarník pada tahun 1930, kemudian di publikasikan kembali oleh R.C. Prim tahun 1957 dan E.W. Dijkstra di tahun 1959. Dalam mendapatkan hasil *minimum spanning tree*, algoritma prim akan terlebih dahulu memilih suatu garis pada sebuah graf berbobot dengan bobot yang paling minimal, kemudian garis tersebut akan dimasukkan dalam sebuah himpunan *tree* ( $T$ ). Kemudian akan ditambahkan garis lainnya dengan garis yang

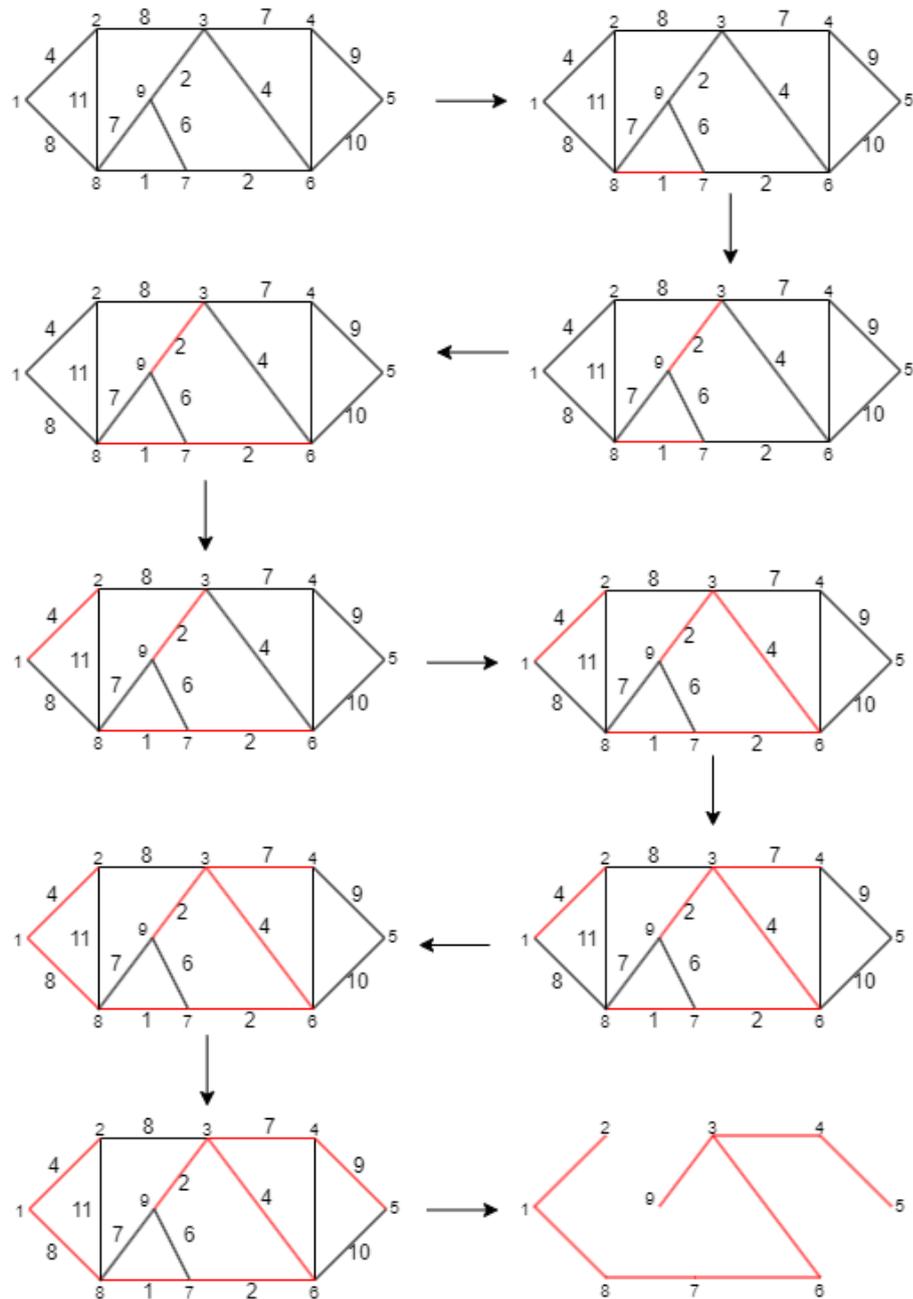
bertenggangan dengan garis awal tersebut dengan memilih bobot paling minimum dan tidak membuat sirkuit dalam T. Langkah tersebut diulangi hingga  $(V-1)$ , dimana V adalah jumlah titik pada graf G.

### 2.5.2 Algoritma Kruskal

Pada algoritma Kruskal, garis dipilih dan ditambahkan kedalam himpunan *tree* T dengan mengurutkan bobotnya dari terkecil hingga terbesar. Garis tersebut ditambahkan ke dalam T hanya jika tidak membentuk sirkuit. Langkah-langkah dalam mencari *minimum spanning tree* dengan algoritma Kruskal sebagai berikut.

1. Pada keadaan awal, himpunan T merupakan himpunan kosong.
2. Urutkan garis dengan bobot terkecil hingga terbesar.
3. Ambil garis terkecil dan masukkan ke T
4. Pilih garis berikutnya yang telah diurutkan.
5. Cek apakah penambahan garis pada T membuat adanya sirkuit. Jika ya, buang garis tersebut dan kembali ke langkah 3. Jika tidak, masukkan garis tersebut ke dalam T, dan ke Langkah 4
6. Cek apakah  $V-1$ . Jika ya, stop perulangan dan solusi telah didapatkan. Jika tidak, ulangi langkah 4 hingga mencapai  $V-1$ .

Penerapan algoritma Kruskal dapat diperhatikan pada gambar 2.6. Graf tersebut memiliki 9 simpul, 14 sisi dengan bobot total awal adalah 79. Dengan penerapan



Gambar 2. 6 Penerapan algoritma Kruskal

algoritma Kruskal pada graf tersebut, telah terbentuk *minimum spanning tree* dengan bobot total 37.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan pada bulan November 2023-Juni 2024, di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, dengan waktu penelitian yang akan dilakukan seperti ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

No	Kegiatan	Bulan							
		Nov	Des	Jan	Feb	Mar	April	Mei	Juni
1.	Studi literatur dan bimbingan	■	■	■	■	■	■	■	■
2.	Pembuatan proposal		■	■					
3.	Seminar proposal				■				
4.	Perancangan program		■	■	■	■	■		
5.	Pembuatan dan pengujian program			■	■	■	■	■	
6.	Analisa data			■	■	■	■	■	
7.	Penyusunan laporan	■	■	■	■	■	■	■	
8.	Seminar hasil							■	
9.	Ujian komprehensif								■

#### 3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Satu unit laptop dengan sistem operasi Windows 11 64-bit, dengan *processor* AMD Ryzen 3 5300U with Radeon Graphics sebagai media perancangan dan simulasi.
2. Perangkat lunak MATLAB R2017b untuk pembuatan dan simulasi program.
3. *Toolbox* Matpower 7.1 sebagai perangkat lunak untuk menghitung aliran daya.
4. Data Standar IEEE *case 33-bus system* dan *case 69-bus system* serta penyulang Rayap pada GI Metro.

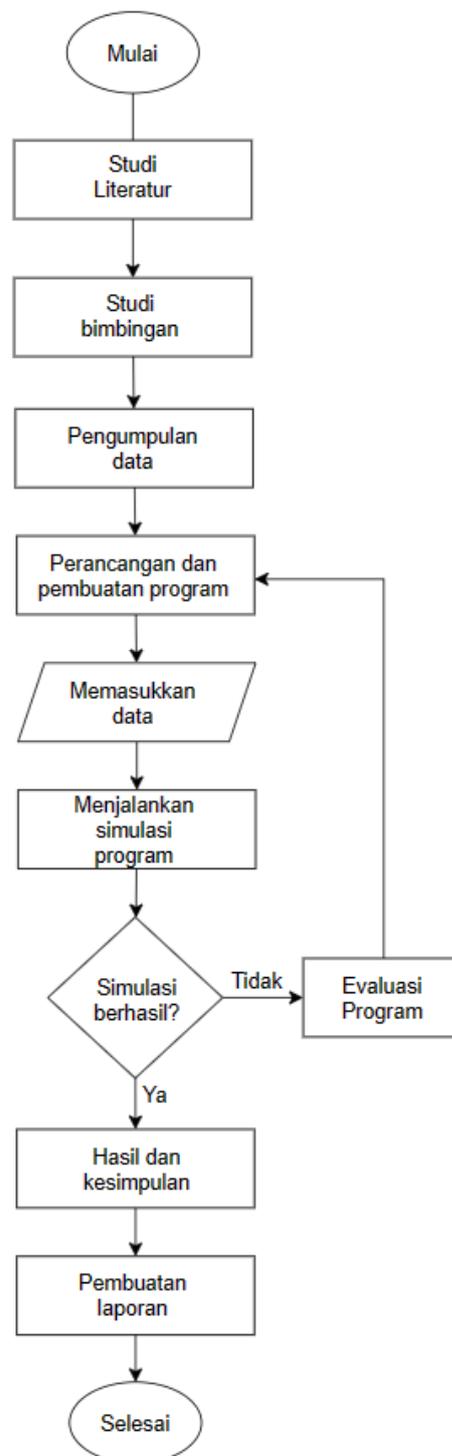
### 3.3 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut

1. Studi Literatur  
Pada tahap studi literatur yaitu mencari, mempelajari materi dari beberapa literatur dari berbagai sumber referensi seperti jurnal, artikel, buku maupun *ebook* yang berkaitan dengan penelitian pada tugas akhir ini.
2. Studi Bimbingan  
Pada tahap ini, dilakukan diskusi dengan dosen pembimbing untuk membahas materi atau permasalahan yang ditemukan selama penelitian.
3. Pengumpulan dan Pengolahan Data  
Pada tahapan ini, mengumpulkan data dari studi kasus yang akan dilakukan penelitian. Setelah itu, data akan diolah dan dianalisa menggunakan perangkat lunak yang telah dicantumkan sebelumnya.
4. Pembuatan laporan  
Pada tahap ini, rancangan penelitian dituangkan dalam bentuk laporan proposal dan kemudian hasil penelitian dituangkan dalam bentuk laporan akhir.

### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

### 3.5 Simulasi Optimasi Rute Penyulang Menggunakan Metode MST

Simulasi optimasi rute penyulang dimulai dengan melakukan pengumpulan data-data yang digunakan, yaitu data bus, beban, resistansi dan reaktansi saluran. Dalam melakukan pencarian rute optimal, perlu dilakukan rekonfigurasi jaringan distribusi dengan mengubah *tie switch (normally open)* menjadi *sectionalizing switch (normally closed)*, sehingga terbentuk jaringan distribusi mesh. Hal ini bertujuan untuk mempermudah pencarian *tie switch*. Setelah terbentuk jaringan *loop*, dilakukan perhitungan aliran daya dengan menggunakan bantuan *Matpower* untuk mendapatkan daya aktif yang mengalir pada setiap saluran. Nilai ini yang akan digunakan sebagai bobot dalam menentukan *minimum spanning tree*. Dalam penelitian ini, bobot pada saluran dinyatakan sebagai:

$$W = \frac{1}{|P|} \quad (3.1)$$

Dimana:

$W$  = bobot yang digunakan dalam MST

$|P|$  = daya aktif pada saluran

Fungsi objektif yang digunakan merupakan hasil perhitungan aliran daya. Sehingga fungsi objektifnya yaitu:

$$\min P_{loss} = \min \sum_{i=1}^n P_{loss}(i, i + 1) \quad (3.2)$$

Dimana:

$P_{loss}(i, i + 1)$  = rugi-rugi satu bagian saluran dari bus  $i$  dan bus  $i+1$  dengan batasan yang harus dipenuhi, yaitu:

1. Batasan tegangan

Batasan tegangan pada bus  $i$  harus berada dalam rentang yang telah ditentukan, sehingga dituliskan sebagai:

$$V_{i_{min}} \leq V_i \leq V_{i_{max}} \quad (3.3)$$

## 2. Batasan radial

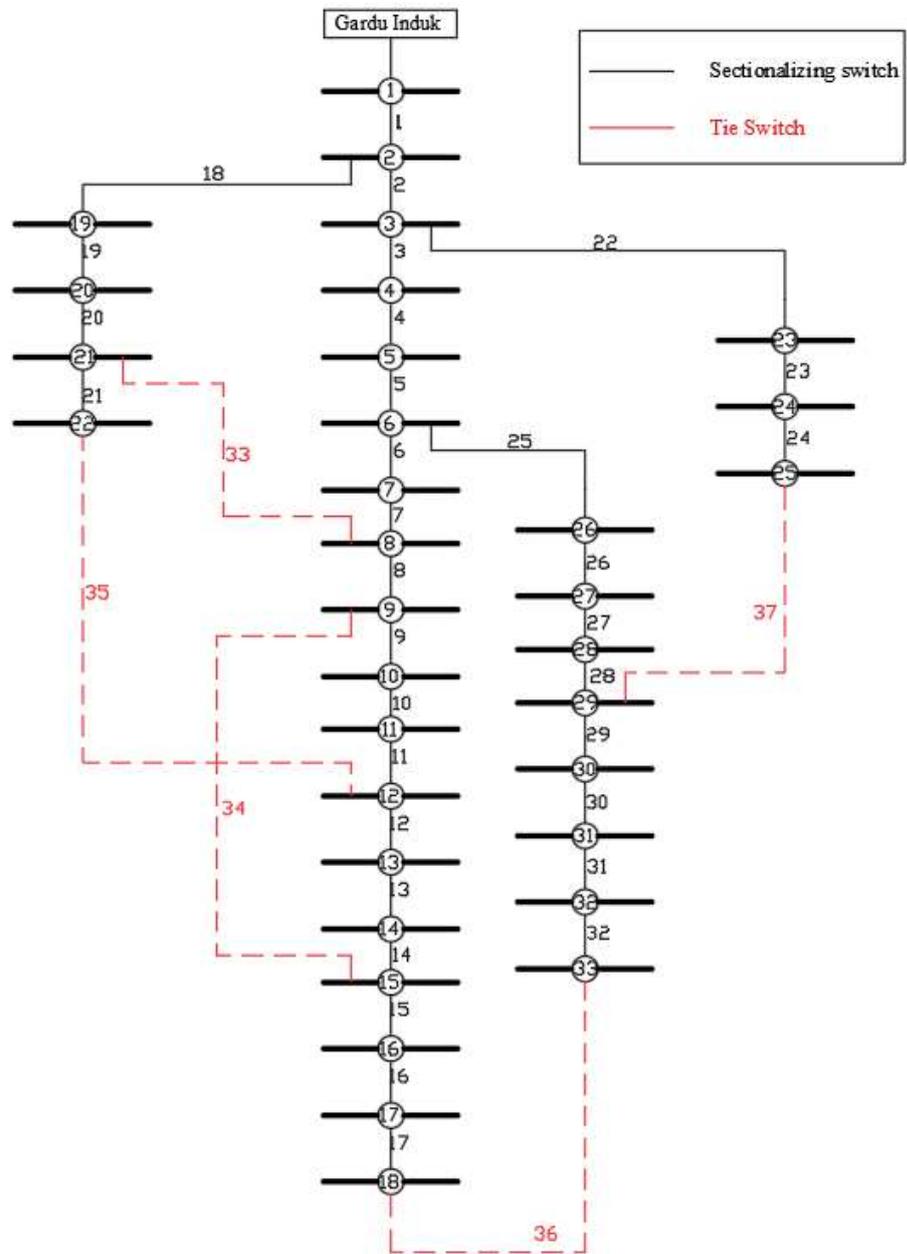
Topologi jaringan harus radial dan memenuhi kondisi berikut:

1. Tidak ada beban yang tidak terlayani.
2. Tidak membentuk *loop*.

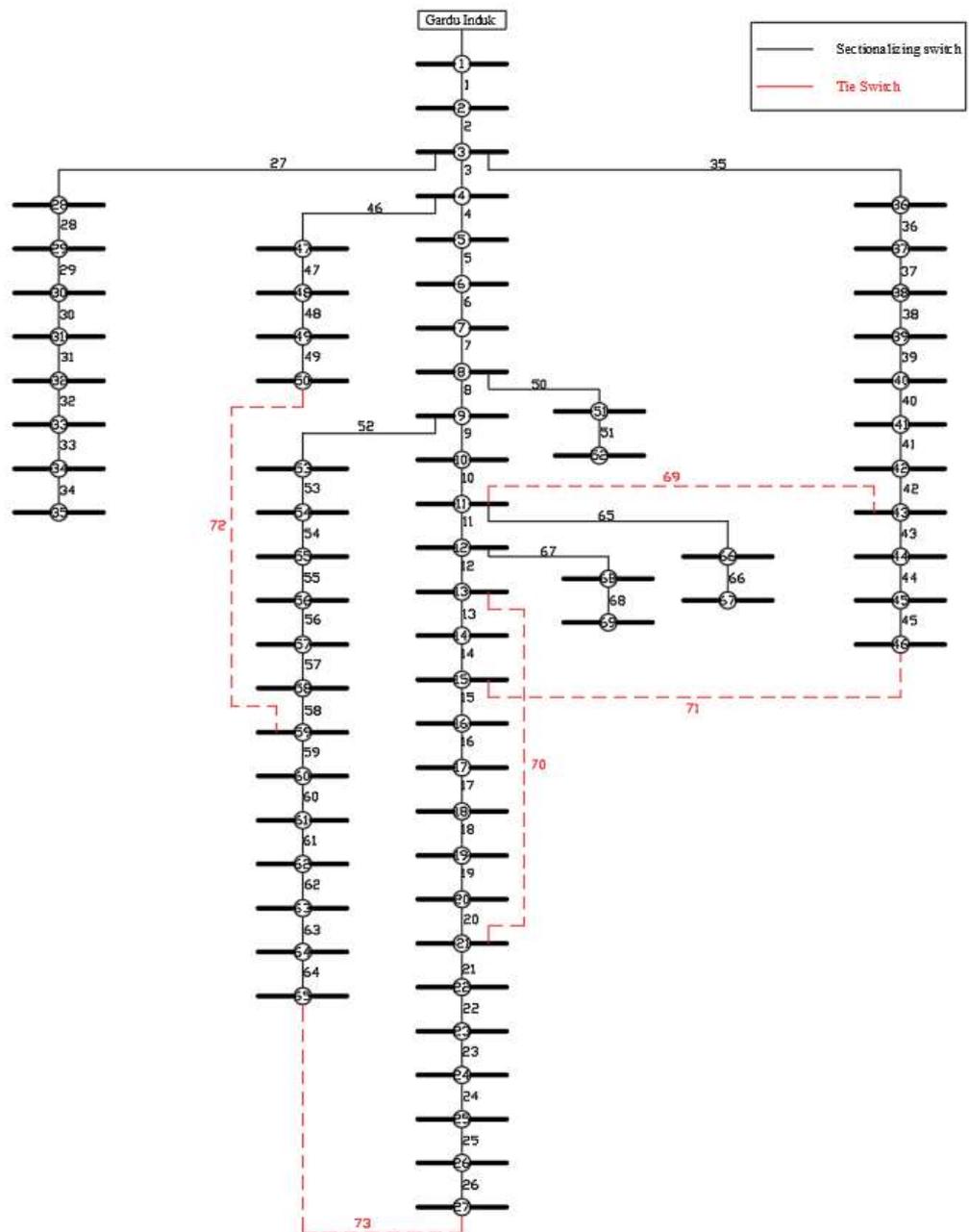
Pada penelitian ini akan dilakukan pencarian rute penyulang optimal pada kasus standar IEEE distribusi 33-bus, 69-bus dan penyulang Rayap. Pada IEEE distribusi 33-bus terdiri dari 33 bus, 32 *sectionalizing switch* dan 5 *tie switch*, dengan beban sistem sebesar 3,715 kW dan 2300 kVAr dan tegangan dasar 12,66kV. Pada IEEE distribusi 69-bus terdiri dari 69 bus, 68 *sectionalizing switch*, dan 5 *tie switch*. Sistem ini memiliki beban total 3802,19 kW dan 2694,6 kVAr, dan tegangan dasar 12,66 kV. Pada penyulang Rayap memiliki 70 bus, 69 *sectionalizing switch* dengan tegangan dasar 20 kV dan MVA base adalah 10 MVA. Sistem pada penyulang Rayap memiliki beban total sebesar 2315 kW dan 1358 kVAr.

Prosedur simulasi untuk mencari rute penyulang optimal menggunakan metode *minimum spanning tree* dapat dijelaskan sebagai berikut.

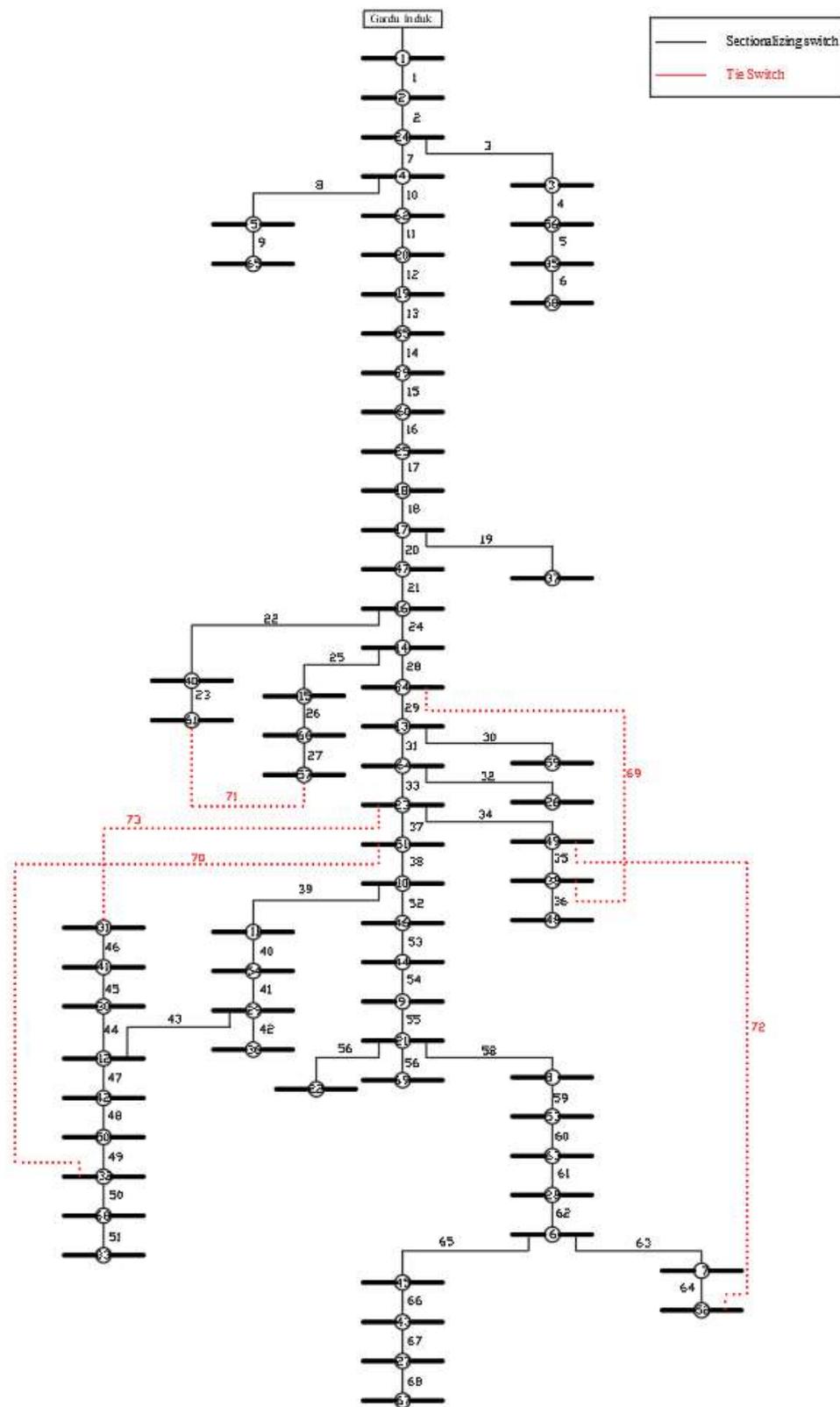
1. Memasukkan data-data bus, beban, serta saluran pada IEEE 33-bus, 69-bus, dan penyulang Rayap.
2. Menutup *tie switch* sehingga menjadi jaringan distribusi mesh.
3. Melakukan perhitungan aliran daya dengan *toolbox Matpower 7.1*.
4. Menyimpan nilai daya aktif yang mengalir pada setiap saluran sebagai bobot (*weight*).
5. Mengurutkan bobot dari terkecil hingga terbesar (*increasing order*).
6. Menginisialisasi pohon T.
7. Mengambil garis dengan bobot terkecil dan masukkan ke T.
8. Memilih garis dengan bobot terkecil berikutnya dan masukkan ke T.
9. Mengecek apakah penambahan garis pada T akan membentuk sirkuit. Jika ya, buang garis dan kembali ke nomor 8. Jika tidak, tambahkan garis ke T.
10. Mengulangi langkah 8 dan 9 hingga T memiliki nilai n-1 sisi, dimana n adalah jumlah titik/simpul (*vertices*).
11. Mencetak hasil akhir.



Gambar 3. 2 Sistem standar IEEE-33 bus dengan *tie-switch*

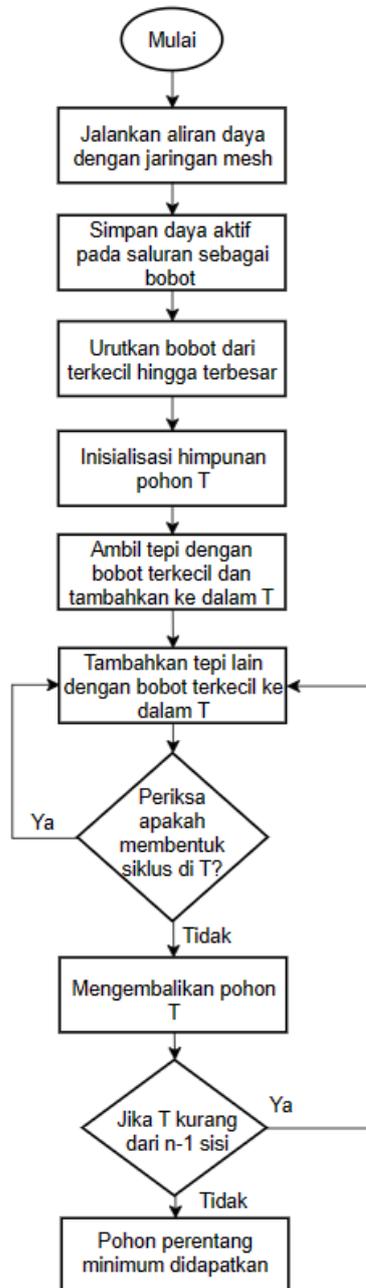


Gambar 3.3 Sistem standar IEEE-69 bus dengan *tie-switch*



Gambar 3. 4 Penyulang Rayap

### 3.6 Diagram Alir Minimum Spanning Tree



Gambar 3. 5 Diagram Alir Metode *Minimum Spanning Tree*

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi and analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan, yaitu:

1. Metode *minimum spanning tree* (MST) dapat digunakan untuk mencari rute jaringan distribusi yang optimal dengan mengubah konfigurasi *tie switch* dan *sectionalizing switch* sehingga rugi-rugi pada jaringan dapat diminimalisir.
2. Berdasarkan hasil simulasi pada sistem 33 bus dengan metode *minimum spanning tree* (MST), didapatkan bahwa rugi-rugi daya aktif berkurang sebesar 40,87% dan rugi-rugi daya reaktif berkurang sebesar 18,18%. Profil tegangan pada sistem ini juga meningkat, dimana tegangan minimum meningkat dari 0.911 p.u menjadi 0.938 p.u.
3. Berdasarkan hasil simulasi pada sistem 69 bus dengan metode *minimum spanning tree* (MST), didapatkan bahwa rugi-rugi daya aktif berkurang sebesar 53,33% dan rugi-rugi daya reaktif berkurang sebesar 10%. Profil tegangan juga meningkat dimana tegangan minimum yang sebelumnya 0.909 p.u menjadi 0.949 p.u.
4. Berdasarkan hasil simulasi pada penyulang Rayap dengan metode *minimum spanning tree* (MST), rugi-rugi daya sistem berkurang sebesar 8,11% dan rugi-rugi daya reaktif berkurang sebesar 16,67%. Profil tegangan sistem meningkat dimana tegangan yang sebelumnya 0.971 p.u meningkat menjadi 0.975 p.u.

## 5.2 Saran

Adapun saran untuk pengembangan penelitian ini kedepannya, yaitu:

1. Melakukan penelitian selanjutnya dengan menggunakan sistem jaringan distribusi baru yang akan dibangun di perkotaan/pedesaan sehingga tidak perlu mengubah bentuk konfigurasi yang sudah ada.
2. Menambahkan penggunaan *capasitor bank* dan *distributed generation* sehingga dapat meminimasi *losses* maupun *drop voltage* dengan lebih optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. F. Risjayanto, "OPTIMAL CAPACITOR PLACEMENT ( OCP ) PADA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV MENGGUNAKAN ETAP Baktiyar Freda Risjayanto Tri Wrahatnolo," *J. Tek. Elektro*, vol. 08, no. Nomor 01, pp. 1–9, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/view/25213>
- [2] H. Ahmadi and J. R. Martí, "Minimum-loss network reconfiguration: A minimum spanning tree problem," *Sustain. Energy, Grids Networks*, vol. 1, no. xxxx, pp. 1–9, 2015, doi: 10.1016/j.segan.2014.10.001.
- [3] D. P. Montoya and J. M. Ramirez, "A minimal spanning tree algorithm for distribution networks configuration," *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–7, 2012, doi: 10.1109/PESGM.2012.6344718.
- [4] A. Y. Abdelaziz, F. M. Mohamed, S. F. Mekhamer, and M. A. L. Badr, "Distribution system reconfiguration using a modified Tabu Search algorithm," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 80, no. 8, pp. 943–953, 2010, doi: 10.1016/j.epsr.2010.01.001.
- [5] H. Hamour, S. Kamel, H. Abdel-Mawgoud, A. Korashy, and F. Jurado, "Distribution network reconfiguration using grasshopper optimization algorithm for power loss minimization," *2018 Int. Conf. Smart Energy Syst. Technol. SEST 2018 - Proc.*, no. April 2019, 2018, doi: 10.1109/SEST.2018.8495659.
- [6] A. O. Salau, Y. W. Gebru, and D. Bitew, "Optimal network reconfiguration for power loss minimization and voltage profile enhancement in distribution systems," *Heliyon*, vol. 6, no. 6, p. e04233, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04233.

- [7] O. Zebua and I. M. Ginarsa, "Rekonfigurasi Jaringan Distribusi untuk Meminimisasi Rugi-Rugi pada Penyulang Kabut di Gardu Induk Teluk Betung Menggunakan Metode Binary Particle Swarm Optimization (BPSO)," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 1, p. 110, 2016, doi: 10.25077/jnte.v5n1.198.2016.
- [8] M. F. Hakim, *Gardu Induk*, Cetakan Pe. Malang : Polinema Press, 2017.
- [9] H. Saadat, *Power System Analysis*. Kevin Kane, 1999.
- [10] Wamiliana, *Minimum Spanning Tree dan Desain Jaringan*. Bandar Lampung: Pusaka Media, 2022.
- [11] S. Chung and A. Condon, "Parallel implementation of Boruvka's minimum spanning tree algorithm," *IEEE Symp. Parallel Distrib. Process. - Proc.*, vol. 1, pp. 302–308, 1996, doi: 10.1109/ipps.1996.508073.
- [12] M. Mahdavi, H. H. Alhelou and P. Cuffe, "Test Distribution Systems: Network Parameters and Diagrams of Electrical Structural," in *IEEE Open Access Journal of Power and Energy*, vol. 8, pp. 409-420, 2021, doi: 10.1109/OAJPE.2021.3119183.
- [13] MATLAB 9.3 (R2017b) User Guide, [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com), 2017.
- [14] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sanchez (2020). MATPOWER (Version 7.1) [Software]. Available: <https://matpower.org>.