

DISERTASI

**KOMBINASI METODE *METAHEURISTIK IMPROVED
FIREWORK ALGORITHM* DAN *BACKWARD FORWARD
SWEEP* UNTUK REKONFIGURASI LOOP MENJADI RADIAL
PADA JARINGAN DISTRIBUSI**

*Combination Of Metahuristic Improved Firework Algorithm And
Backward Forward Sweep Method For Reconfiguration Of Loop
With Radial At Distribution Networks*

**SAHABUDDIN
D053202002**



**PROGRAM STUDI DOKTOR TEKNIK ELEKTRO
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**



PENGAJUAN DISERTASI

KOMBINASI METODE *METAHEURISTIK IMPROVED FIREWORK ALGORITHM* DAN *BACKWARD FORWARD SWEEP* UNTUK REKONFIGURASI LOOP MENJADI RADIAL PADA JARINGAN DISTRIBUSI

Disertasi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor
Program Studi Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

ttt

**SAHABUDDIN
D053202002**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**



DISERTASI

KOMBINASI METODE *METAHEURISTIK IMPROVED FIREWORK ALGORITHM* DAN *BACKWARD FORWARD SWEEP* UNTUK REKONFIGURASI LOOP MENJADI RADIAL PADA JARINGAN DISTRIBUSI

SAHABUDDIN
D053202002

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Disertasi yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Doktor Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 15 November 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,
Promotor



Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T., M.Eng., IPU
NIP. 19740530 199903 1 003

Co-Promotor



Prof. Dr. Ir. H. Andani Achmad, M.T
NIP. 19601231 198703 1 022

Co-Promotor



Prof. Dr. Eng. Intan Sari Areni, ST., MT.
NIP. 19750203 200012 2 002

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Ihammad Isran Ramli, ST., MT., IPM. ASEAN Eng.
IP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi S3
Teknik Elektro



Prof. Dr. Ir. H. Andani Achmad, M.T
NIP. 19601231 198703 1 022



Optimized using
trial version
www.balesio.com

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Sahabuddin
Nomor mahasiswa : D053202002
Program studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa, disertasi berjudul “ KOMBINASI METODE *METAHEURISTIK IMPROVED FIREWORK ALGORITHM* DAN *BACKWARD FORWARD SWEEP* UNTUK REKONFIGURASI LOOP MENJADI RADIAL PADA JARINGAN DISTRIBUSI “ adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T., M.Eng., IPU sebagai Promotor, Prof. Dr. Ir. H. Andani Achmad, M.T sebagai Co-Promotor 1 dan Prof. Dr. Eng. Intan Sari Areni, ST., MT. sebagai Co-Promotor 2). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari isi disertasi ini telah dipublikasikan di Prosiding (International Conference on Innovative Computing Information and Control (ICICIC2022), Volume 16, Halaman dan DOI) sebagai artikel dengan judul “*Load Flow Analysis In Radial Distribution Network Using Backward/Forward Sweep Method*” dan di Jurnal (ICIC Express Letters, Part B: Applications an International Journal of Research and Survey, Volume 14, Nomor 7, ISSN 2185-2766) sebagai artikel dengan judul “*Load Flow Analysis In Radial Distribution Network Using Backward/Forward Sweep Method*”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 15 November 2023

Yang menyatakan



Sahabuddin



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmatnya sehingga disertasi ini dapat diselesaikan.

Gagasan utama kombinasi metode *metaheuristik improved firework algorithm* dan *backward forward sweep* untuk rekonfigurasi loop menjadi radial pada jaringan distribusi.

Bukan hal yang mudah untuk mewujudkan gagasan-gagasan tersebut dalam sebuah susunan disertasi, berkat bimbingan, arahan dan motivasi berbagai pihak maka disertasi ini bisa disusun sebagaimana kaidah-kaidah yang dipersyaratkan, dan untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T., M.Eng., IPU sebagai Promotor, Prof. Dr. Ir. H. Andani Achmad, M.T sebagai Co-Promotor 1 dan Prof. Dr. Eng. Intan Sari Areni, ST., MT. sebagai Co-Promotor 2.
2. Prof. Dr. Ir. H. Syafruddin Syarif, MT., Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT., Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT. dan Dr. Eng. Wardi, ST., M.Eng. sebagai komisi tim penguji serta Bapak Prof. Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D. sebagai Penguji Eksternal.
3. Rektor Universitas Hasanuddin dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program doktor serta para dosen dan rekan-rekan dalam tim penelitian.
4. Pimpinan PLN dalam hal ini manager UPT, UP2D, dan UP2B yang telah mengizinkan kami untuk melaksanakan penelitian di lapangan, dan kepada Bapak Wijayanto (UP2D) atas kesempatan untuk menggunakan fasilitas dan peralatan dalam melakukan pengujian serta simulasi dalam jaringan distribusi

Akhirnya, kepada Ibu, Istri dan anak-anak saya tercinta saya mengucapkan terima kasih dan sembah sujud atas doanya, pengorbanan dan memotivasi selama saya menempuh Pendidikan.



Penulis
Sahabuddin

ABSTRAK

SAHABUDDIN. Kombinasi Metode *Metaheuristik Improved Firework Algorithm* Dan *Backward Forward Sweep* Untuk Rekonfigurasi Loop Menjadi Radial Pada Jaringan Distribusi. (dibimbing oleh **Syafaruddin, Andani Achmad, Intan Sari Areni**)

Pada sistem tenaga listrik selalu memiliki kecenderungan yaitu terjadi pembentukan interkoneksi antara satu pembangkit dengan pembangkit lainnya dengan tujuan agar sistem memiliki tingkat keandalan dalam jaringan listrik yang baik. Proses terjadinya aliran daya pada sistem tenaga listrik adalah kegiatan menentukan tegangan, arus, daya aktif dan reaktif yang nantinya indikator analisis tersebut akan menjadi acuan dengan melihat prosesnya untuk menjaga pengoperasian jaringan listrik selalu dalam keadaan baik dan stabil hingga waktu yang lama. Fenomena yang sering terjadi pada system distribusi yakni perubahan sistem tegangan karena beban selalu bervariasi, serta kerugian daya juga mempengaruhi kualitas layanan listrik kepada konsumen dan perbedaan tegangan. Melihat aspek permasalahan diatas maka penelitian ini bertujuan untuk menunjukkan analisis stabilitas tegangan interkoneksi jaringan distribusi listrik dengan menggunakan metode bagaimana menstabilkan tegangan dengan rekonfigurasi jaringan distribusi menggunakan metode *Metaheuristik Improved Firework algorithm* (MIFWA) yang dikombinasikan dengan metode *Backward/Forward Sweep* (BFS) diharapkan menjadi solusi untuk mengurai dan meminimalisir segala masalah aliran daya, dengan harapan hasil simulasi menunjukkan bahwa algoritma yang digunakan mengalami peningkatan akurasi dalam menyelesaikan konfigurasi ulang jaringan distribusi yang unggul dalam waktu rekonfigurasi rata-rata 2,2 detik dibandingkan dengan penelitian terkait dengan waktu 6,949 detik, serta rugi-rugi daya aktif menunjukkan nilai 28 kW dan daya reaktif di setiap saluran menunjukkan nilai 18 kVAr sehingga perbandingan dengan metode lain yang telah diverifikasi, bahwa algoritma tersebut memiliki keunggulan dalam kompresi hasil komputasi, dan mempercepat efisiensi pengoptimalan.

Kata Kunci: *Metaheuristik Improved Firework* (MIFWA), *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Backward Forward Sweep* (BFS) serta *Algoritma Genetic*, *Jaringan Distribusi*



ABSTRACT

SAHABUDDIN. Combination Of Metaheuristic Improved Firework Algorithm And Backward Forward Sweep Method For Reconfiguration Of Loop With Radial At Distribution Networks. (Guided by. **Syafaruddin, Andani Achmad, Intan Sari Areni**)

In electrical power systems there is always a tendency that there is the formation of interconnections between one plant and the other plant with the aim that the system has a level of reliability in a good electrical network. The process of occurrence of power flow in the electrical power system is the activity of determining the voltage, current, active and reactive power which the indicator of such analysis will be the reference by seeing the process in order to keep the operation of the electricity network always in good condition and stable for a long time. A common phenomenon in the distribution system is the change in the voltage system because the load is always variable, as well as the power loss also affects the quality of electricity service to the consumer and the difference in voltage. Looking at the above aspect of the problem, this study aims to demonstrate the stability analysis of voltage interconnection of the power distribution network using the method of how to stabilize the voltage with the reconfiguration of the distribution networks using the Method Metaheuristic Improved Firework algorithm (MIFWA) combined with the Backward/Forward Sweep (BFS) method is expected to be a solution to deduce and minimize all power flow problems, with the hope that the simulation results show that the used algorithm experienced an improvement in accuracy in completing the redeployment of the distributed network superior in an average reconfiguration time of 2.2 seconds compared to the studies associated with the time of 6,949 seconds, as well as active power losses showing a value of 28 kW and reactive power in each channel showing the value of 18 kVAr so that comparisons with other methods have been verified, that such the algorithm has an advantage in compression of the results of computing, and accelerate the efficiency of optimization.

Keywords: Metaheuristic Improved Firework (MIFWA), Particle Swarm Optimization (PSO), Backward Forward Sweep (BFS) and Genetic algorithms, Distribution Network



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PENGAJUAN DISERTASI	ii
PERSETUJUAN DISERTASI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Permasalahan	5
I.3 Tujuan Penelitian	5
I.4 Manfaat Penelitian	5
I.5 Batasan Masalah	6
I.6 Kebaruan (Novelty)	6
BAB II. KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN	7
2.1 Karakteristik Sistem Distribusi	7
2.2 Tipe-Tipe Jaringan Distribusi Listrik	7
2.3 Smart grid	11
2.4 Studi Aliran Daya (<i>Load Flow Studies</i>)	18
2.5 Kerangka Konseptual	24
2.6 Kerangka Konsep Penelitian	33
2.7 Hipotesis Penelitian	34



BAB III.	METODE PENELITIAN	36
3.1	Tahapan Penelitian	36
3.2	Waktu dan Lokasi Penelitian.	36
3.3	Metode <i>Dynamic Basic Loop Partition</i>	38
3.4	Metode <i>Backward Forward Sweep</i>	48
3.5	<i>Voltage Stability Index</i> (VSI)	55
BAB IV.	TOPIK PENELITIAN I	60
4.1	Abstrak	60
4.2	Pendahuluan	60
4.3	Metode BFS untuk Jaringan Distribusi Radial	63
4.4	Metode <i>Backward/Forward Sweep</i>	64
4.5	Hasil Simulasi Dan Analisis	67
4.5	Kesimpulan	70
4.6	Daftar Pustaka	71
BAB V.	TOPIK PENELITIAN II	73
5.1	Abstrak	73
5.2	Pendahuluan	73
5.3	Konfigurasi Jaringan Distribusi	75
5.4	Diskusi Dan Simulasi Hasil	82
5.5	Kesimpulan	86
5.6	Daftar Pustaka	86
BAB VI.	TOPIK PENELITIAN III	89
6.1	Abstrak	89
6.2	Pendahuluan	89
6.3	Model matematika dari PDNR	92
6.4	Metode <i>Basic Loop Dynamic Partitioning</i>	93
6.5	<i>Improved Firework Algorithm</i> (IFWA)	94
6.6	Diskusi dan Hasil simulasi	97
6.7	Kesimpulan	100
6.8	Daftar Pustaka	100



BAB VII. PEMBAHASAN UMUM	103
7.1 Model <i>Backward Forward Sweep</i>	104
7.2 Model <i>Dynamic Basic Loop Partitioning</i> pada jaringan distribusi	106
7.3 Keandalan model berdasarkan hasil analitik dan numerik	106
7.4 <i>Metaheuristik Improved Firework Algorithm (MIFWA)</i>	109
BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN	115
VII.1 Kesimpulan	115
VII.2 Saran	116
DAFTAR PUSTAKA	117
LAMPIRAN	117



DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
Tabel 1.	<i>State of The Art</i>	30
Tabel 2.	Parameter Jaringan Distribusi	65
Tabel 3.	Hasil simulasi jaringan distribusi 9-bus dengan model Matlab/Simulink	69
Tabel 4.	Hasil simulasi dari jaringan distribusi 9-bus dengan model <i>Backward/Forward Sweep</i>	71
Tabel 5.	Hasil Analisis Data Komparatif Tanpa Atau Dengan Penggunaan <i>Backward/Forward Sweep</i>	71
Tabel 6.	Parameter Jaringan Distribusi	78
Tabel 7.	Hasil PSO yang diperoleh	85
Tabel 8.	Hasil dari Sistem	85
Tabel 9.	Hasil Analisis	85
Tabel 10.	Hasil simulasi dari 33 jaringan distribusi bus	86
Tabel 11.	Parameter dari IFWA	98
Tabel 12.	Perbandingan hasil dengan metode rekonfigurasi yang berbeda	100
Tabel 13.	Perbandingan Efisiensi Komputasi Algoritma Yang Berbeda	105
Tabel 14.	Data Jaringan Distribusi Radial 9 Bus	108
Tabel 15.	Aliran beban pada Jaringan Distribusi Radial 9 Bus dengan <i>Backward Forward Sweep</i>	108
Tabel 16.	Hasil Analisis Data perbandingan Matlab/Simulink dengan <i>Backward Forward Sweep</i>	109
Tabel 17.	Perbandingan data dari penelitian terkait menggunakan BFS	110
Tabel 18.	Hasil Simulasi PSO	111
Tabel 19.	Sistem Summary	112
Tabel 20.	Hasil Simulasi Jaringan Distribusi 69 Bus	112



DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
Gambar 1	Konfigurasi Sistem Radial	9
Gambar 2	Konfigurasi Sistem LOOP	11
Gambar 3	Diagram penyusun <i>smart grid</i>	14
Gambar 4	<i>Smart grid</i> pada level konsumen	15
Gambar 5	<i>Smart grid</i> dapat menghubungkan masyarakat, keuangan, teknologi dan regulasi dan tujuan kebijakan	16
Gambar 6	Kerangka Konsep Penelitian	34
Gambar 7	Hipotesis Penelitian	36
Gambar 8	Roadmap Penelitian	36
Gambar 9	Diagram Tahapan Penelitian	37
Gambar 10	Peta Nyata Partisi Jaringan Distribusi menggunakan basic loop	38
Gambar 11	Jaringan distribusi bus IEEE 33	41
Gambar 12	Diagram alur penilaian tipe jaringan radial	45
Gambar 13	Diagram flowchart dalam Rekonstruksi Jaringan Distribusi Loop	47
Gambar 14	Flowchart algoritma IFWA untuk PDNR	48
Gambar 15	Flowchart <i>Backward/Forward Sweep</i>	50
Gambar 16	<i>Single Line Diagram</i>	51
Gambar 17	Jaringan Distribusi Radial menggunakan 9 Bus	65
Gambar 18	Model simulink jaringan distribusi radial dengan 9 Bus	69
Gambar 19	Jaringan Distribusi Loop dengan 9 bus	77
Gambar 20	Flowchat Algoritma <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO)	81
Gambar 21	jaringan distribusi radial dengan 33-bus	84
ar 22	Diagram hasil simulasi 33 bus	84
ar 23	Diagram hasil daya aktif	86
ar 24	Diagram hasil daya reaktif	87



Gambar 25	Jaringan distribusi 65-node dengan 5 loop dasar	99
Gambar 26	Profil tegangan sebelum dan sesudah implementasi algoritma yang diusulkan	99
Gambar 27	Hasil Distribusi dari metode yang diusulkan dengan 25 iterasi	104
Gambar 28	Perubahan Power loss selama metode iterasi	105
Gambar 29	Perbandingan waktu komputasi dengan metode literatur ke-22 yang berjalan sebanyak 25 kali	107
Gambar 30	Diagram hasil simulasi untuk 33 bus	111
Gambar 31	Diagram Hasil Rugi Daya Aktif	113
Gambar 32	Diagram Hasil Rugi Daya Reaktif	113



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Halaman
Lampiran 1.	Surat Izin Penelitian dari Unit UP2D PLN	130
Lampiran 2.	Data Set dari Sistem SCADA UP2D PLN	131
Lampiran 3.	Grafik Data Saluran Penyulang Makassar	134
Lampiran 4.	Deklarasi Kesiapan Trafo Dan Konsumen Tegangan Tinggi/Daya Mampu Pasok Trafo Unit Pelayanan Transmisi (Upt) Makassar Tahun 2022	135
Lampiran 5.	Laporan Harian Beban Penyulang Trafo – GI	142
Lampiran 6.	Source Code Algoritma Backward Forward Sweep (BFS)	153
Lampiran 7.	Source Code Algoritma Particle Swarm Optimization	159
Lampiran 8.	Source Code Metaheuristic Improved Firework Algorithm	163



DAFTAR ARTI/LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan Keterangan
ADN	Active distribution network
AF	Annualized factor
AIC	Annual (annualized) investment cost
ATP	Alternative Transient Program
BCBV	Branch Current to Bus Voltage
BFS	Backward Forward Sweep
BIBC	Bus Injection to Branch Current
C (no.)	Case for planning with case number ranging from 1 to 3
C (no.)/S (no.)	Case (number) and Scenario (number) for planning
CEL.	Cost of energy losses
CP-SLL	Constant power (Load) and Single Load Level
CUK	Cost for Distributed generation unit in USD/KVA
D-SSSC	Distribution Static Synchronous Series Compensator
DBLP	Dynamic Basic Loop Partition
DCC	Distribution Control Centre
DCU	Data Concentrator Unit
DG	Distributed generation
DG%	Distributed generation penetration (in distribution network) by percentage
DGC	Distributed generation units capacities (MVA/MW)
DGCmax	Maximum distributed generation units capacities in MVA/MW
DGP	Distributed generation units placement
DLF	Distribution Load Flow
DN	Distribution network
	Distribution System Operator
	Equivalen Current Indikator
	Equivalent Current Injection



Lambang/singkatan	Arti dan Keterangan
FWA	Firework Algorithm
GH	Gardu Hubung
IC	Investment cost
IoT	Internet of Things
IR%	Interest rate by percentage
JTM	Jaringan Tegangan Menengah
LBN	Loop Based Number
LDN	Loop Distribution Network
LF	Load Flow
LM	Loss Minimization
LMC	Loss Minimization Condition
Loc.	Location of potential node in distribution network for DG placement
LV	Low Voltage
MDM	Mesh Distribution Network
MIFWA	Metaheuristic Improved Firework Algorithm
MV	Medium Voltage
NIST	National Institute of Standard and Technology
NIST	National Institute of Standard and Technology
NR	Newton Raphson
ODGP	Optimal distributed generation units placement
OLSC	Open Loop Supply Chain
P	Daya Aktif
P_LR	Active Power Loss Reduction In Distribution Network By Percentage
PDNR	Power Distribution Network Reconfiguration
PF	Power Factor
PF1	Power Factor Unity Value equal to 1
	Power Factor Lagging
	Pemutus
	Particle Swarm Optimization



Lambang/singkatan	Arti dan Keterangan
PU or pu.	Per unit system values
PV	PhotoVoltaik
Q	Daya Reaktif
RDN	Radial Distribution Network
S (no.).	Scenario for planning in each case with scenario number ranging from 1 to 6
SCC.	Short circuit current (level in a distribution network)
SDN/SG.	Smart distribution network/Smart grid
SG	Smart Grid
SKTM	Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah
SS	Substation
T	Type of DGs on the basis of power factors varying
TG/SG	Traditional grid
TL	Tie Line
TM	Tegangan Menengah
TPL	Total Active Power Losses
TQL	Total Reactive Power Losses
TR	Tegangan Rendah
TS	Tie Line Switch (normally open switch)
V	Tegangan
VM	Voltage Maximization
VSI	Voltage Stability Index
VSI-LMC	VSI (New) and LMC (New) based planning approach
VSM	Voltage Stability Margin
δ	Sudut Phasa



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Dewasa ini Indonesia sedang melaksanakan pembangunan disegala bidang. Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan maka dituntut adanya sarana dan prasarana yang mendukungnya seperti tersedianya tenaga listrik. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan yang utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri. Hal ini disebabkan karena tenaga listrik mudah untuk ditransportasikan dan dikonversikan ke dalam bentuk tenaga yang lain. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik.

Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut terjadi beberapa permasalahan yang sering muncul dan menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik khususnya pada sektor sistem distribusi.

Pada sistem distribusi pokok permasalahan yang sering muncul yakni perubahan sistem tegangan karena beban sistem selalu bervariasi dan besarnya selalu berubah-ubah sepanjang waktu bila beban meningkat maka tegangan di ujung penerimaan menurun dan sebaliknya jika beban berkurang maka tegangan di ujung penerimaan naik. Sehingga diperlukan suatu solusi atau Tindakan yang bisa mengurangi pembebanan yang tidak seimbang (*unbalanced loading*) dan kelebihan beban (*over loading*) pada jaringan distribusi listrik. Masalah kerugian daya juga menjadi pokok pemikiran karena bisa mempengaruhi kualitas layanan listrik kepada konsumen dan perbedaan tegangan. Sehingga untuk mengatasi permasalahan di atas perlu sebuah sistem yang terstruktur dalam bentuk pemrograman berbasis algoritma yang bisa mengontrol secara sistem komputasi



rgan distribusi.

ode *Metaheuristic Improved Firework algorithm* (MIFWA) yang asikan dengan metode *Backward/Forward Sweep* (BFS) diharapkan

sebuah solusi untuk mengurai dan meminimalisir segala masalah aliran daya yang meliputi menghitung arus sistem dan tegangan sistem pada bus tertentu atau bus jaringan distribusi di mana hilangnya daya serta kerugian daya. Sehingga dalam implementasinya diharapkan mampu mengoperasikan jaringan distribusi menjadi lebih baik.

Dalam penelitian ini, diusulkan metode MIFWA dan BFS dalam membuka jaringan distribusi loop menjadi jaringan distribusi radial secara sistem. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menunjukkan analisis stabilitas tegangan interkoneksi jaringan distribusi loop berfokus pada konfigurasi loop tertutup untuk mengatasi masalah stabilitas tegangan yang digunakan pada system jaringan distribusi radial di masa depan. Untuk mencapai tujuan ini, beberapa analisis dan hipotesa awal yang dibuat agar tidak berkaitan dengan kasus merubah secara struktur fisik topologi tipe loop atau tipe radial melainkan menjalankan secara *by system real time* terlebih dahulu dan diintegrasikan dengan sistem SCADA untuk penggunaan komputasi numerik yang lebih realistis yang berlaku untuk aplikasi yang dibuat.

Kebaruan penelitian ini adalah teknik komputasi numerik yang mengintegrasikan algoritma *Metaheuristik Improved Firework (MIFWA)*, dikombinasikan dengan algoritma *Backward Forward Sweep (BFS)* dalam topologi jaringan distribusi loop yang merupakan hal yang pertama kali diteliti dalam menyelesaikan indikasi node sensitif tegangan di jaringan distribusi loop yang sebagian besar belum dibahas dalam literatur.

Metaheuristik Improved Firework algorithm digunakan untuk mengoptimisasi dan merekonfigurasi dalam mengidentifikasi *Switch* yang optimal untuk meminimalkan kehilangan daya nyata dalam jaringan distribusi. Strategi telah diuji Sistem bus 15 bus, 33-bus, dan 69-bus IEEE untuk menunjukkan pencapaian dan kecukupan proposal teknis. Hasilnya menunjukkan bahwa pengurangan kerugian yang signifikan dan peningkatan profil tegangan daya nyata.

objektif dirumuskan untuk menyelesaikan masalah konfigurasi ulang yang bertujuan untuk meminimalisasi kehilangan daya nyata.



Terlepas dari jenis konfigurasi digunakan, parameter yang digunakan dalam operasional setiap sistem distribusi yang ideal adalah memastikan tingkat tegangan konstan di semua titik aliran daya. Dalam Jaringan distribusi daya aktif, daya reaktif, dan batas stabilitas tegangan adalah ukuran penting dalam menentukan beban maksimum yang diijinkan dalam jaringan distribusi.

Skenario BFS berfungsi ketika jaringan distribusi loop sudah terbuka menjadi radial sehingga yang dapat dilakukan yakni melakukan dan memeriksa konfigurasi jaringan dan simulasi setup. Dalam memeriksa konfigurasi dan kondisi operasi normal, rekonfigurasi jaringan dilakukan karena dua alasan (1) Mengurangi kerugian daya pada sistem *loss reduction* (2) Mendapatkan pembebanan yang seimbang untuk mencegah pembebanan yang berlebih pada jaringan (*load balancing*). Skenario selanjutnya menggunakan *Voltage Stability Index (VSI)* sebagai indikator untuk node turunnya tegangan. Demikian pula, beberapa node dan VSI berbasis *single line diagram* telah diusulkan untuk jaringan distribusi radial. Sebagian besar indeks ini didasarkan pada dua model setara bus atau cabang model sistem tunggal dan hanya dapat digunakan untuk mengevaluasi stabilitas tegangan jaringan distribusi radial. Akibatnya, tidak ada upaya signifikan pada penelitian terbaru yang mempertimbangkan perubahan topologi jaringan distribusi dari radial ke loop, demikian sebaliknya jaringan distribusi dari loop ke radial.

Sistem jaringan distribusi loop adalah bentuk konfigurasi jaringan yang memungkinkan alternatif lain dalam pemasokan sumber energi listrik dari dua arah. Cara ini digunakan untuk mengurangi lama pemutusan daya yang disebabkan oleh gangguan dengan menyambung kedua ujung saluran, sehingga keandalan sistem ini lebih baik dari pada sistem jaringan distribusi radial. Kelemahan konfigurasi jaringan distribusi loop ini salah satunya adalah biaya yang lebih mahal. Hal ini dianjurkan untuk jaringan distribusi di masa akan datang yang saling berhubungan dalam struktur jaringan.

Untuk mendapatkan mutu dan keandalan yang tinggi pada sistem distribusi listrik ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam melihat parameter-apa saja yang dievaluasi pada penelitian sebelumnya, yaitu (a). Regulasi (*voltage regulation*) yaitu variasi tegangan pelayanan harus dalam batas-



batas yang diizinkan, (b). Kontinuitas pelayanan yaitu tidak sering terjadinya pemutusan pelayanan listrik karena gangguan dan walaupun ada gangguan tersebut dapat diatasi dengan cepat, (c). Efisiensi yaitu menekan serendah mungkin rugi-rugi teknis dengan pemilihan peralatan dan pengoperasian yang baik dan juga menekan rugi-rugi teknis dengan mencegah kesalahan pengukuran. Untuk mendukung konsep dalam memodifikasi jaringan distribusi melalui BFS dengan Algoritma dan metode yang berhubungan langsung dalam optimalisasi dan peningkatan akurasi serta kecepatan maka perlu tinjauan literatur yang menunjukkan bahwa sejumlah besar penelitian telah dilakukan pada analisis stabilitas tegangan dari kedua jaringan distribusi. Namun, sebagai perbandingan, beberapa penelitian terdahulu membahas tentang penilaian stabilitas tegangan jaringan distribusi radial.

Kontribusi ilmiah yang bisa dihasilkan dalam penelitian disertasi ini. *Pertama*, merumuskan analisis aliran beban pada jaringan radial sebagai masalah optimisasi jaringan distribusi, dan mengusulkan peningkatan akurasi *Equivalent Current Indicator* (ECI) pada setiap busnya, manifold, retraksi, dan alternatif inisialisasi. *Kedua*, memperkenalkan metode solusi aliran beban yang tepat dan menunjukkan perkiraan metode *Distribution Load Flow* (DLF) dengan tingkat konvergensi superlinier. Secara khusus dapat menunjukkan hasil penurunan secara objektif sehingga berkurang pada setiap iterasi serta mencapai kinerja yang lebih baik dalam peningkatan konvergensi. *Ketiga*, menampilkan perbandingan numerik yang ekstensif pada beberapa pengujian jaringan bahwa penggunaan algoritma yang diusulkan mengungguli dalam hal komputasi metode pengoptimalan lainnya, *keempat*, dapat mengilustrasikan bahwa iterasi pertama dari metode yang diusulkan dianggap sebagai solusi perkiraan untuk masalah aliran beban, unggul dalam hal akurasi *kelima*, menyajikan perbandingan penelitian sebelumnya dengan metode BFS sehingga menunjukkan waktu komputasi yang lebih cepat untuk setiap bus dan di bawah faktor pemuatan rendah hingga sedang serta berhasil konvergen di bawah emuatan impedansi tetap konstan dan tinggi.



1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang, maka dirumuskan masalah yang dihadapi terkait penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana cara kontrol aliran beban distribusi daya listrik dengan konversi energi menggunakan metode *Backward Forward Sweep*?
2. Bagaimana cara mendeteksi aliran beban distribusi daya listrik dengan komputasi numerik dan simulink matlab pada sistem *smart grid*?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk

1. Mengontrol aliran beban distribusi daya listrik dengan konversi energi menggunakan Metode *Backward Forward Sweep*?
2. Mendeteksi aliran beban distribusi daya listrik dengan komputasi numerik dan simulink matlab pada lingkungan *smart grid*?

1.4 Manfaat Penelitian

Sesuai dengan rumusan masalah dan tujuan dari penelitian, maka diharapkan hasil penelitian ini memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Untuk mempermudah instansi terkait dalam mengontrol aliran beban distribusi daya listrik dengan konversi energi menggunakan Metode *Backward Forward Sweep*.
2. Memberi kemudahan dalam mendeteksi aliran beban distribusi daya listrik dengan komputasi numerik dan simulink matlab pada lingkungan *smart grid*.
3. Memberikan kontribusi kepada para peneliti selanjutnya untuk mengembangkan ke arah sistem yang lebih aplikatif.



1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan pada bagian 1.1 penelitian ini fokus pada sistem jaringan distribusi listrik dengan batasan sebagai berikut:

1. Jaringan fokus pada konsep jaringan distribusi Radial dan Loop.
2. Sistem aliran beban menggunakan algoritma BFS dan Optimalisasi jaringan per bus menggunakan algoritma PSO.
3. Membuka jaringan distribusi Loop menjadi radial dengan menggunakan algoritma MIFWA.
4. Pemodelan dan simulasi menggunakan aplikasi MATLAB.

1.6 Kebaruan Penelitian (Novelty)

Penelitian ini memberikan kontribusi untuk pengembangan sistem teknologi, informasi dan sistem jaringan distribusi listrik serta pengembangan model konfigurasi jaringan distribusi. Adapun kebaruan dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini berkontribusi dalam mengembangkan model sistem jaringan distribusi loop yang tertutup, menjadi terbuka, sehingga menjadi jaringan distribusi radial menggunakan algoritma MIFWA
2. Berkontribusi sebagai yang pertama dalam menggunakan metode *Backward/Forward Sweep* untuk jaringan distribusi loop
3. Memperpendek estimasi waktu untuk konvergensi yang cepat dalam pemrosesan menggunakan algoritma BFS dan PSO.
4. Tingkat konvergensi yang cepat dengan mereduksi parameter pada jaringan secara khusus.



BAB II

KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN

2.1 Karakteristik Sistem Distribusi

Sistem distribusi adalah sistem yang penyaluran daya listriknya langsung terhubung dengan beban atau langsung ke pelanggan. Sistem distribusi menyalurkan daya listrik dari gardu induk transmisi langsung menuju ke tiap-tiap titik beban. Adapun karakteristik dari sistem distribusi adalah:

- a. Strukturnya radial.
- b. Memiliki nilai R/X tinggi
- c. Sistem kompleks.

Dapat dilihat pada karakteristik sistem jaringan distribusi di atas menunjukkan bahwa karakteristik saluran distribusi khusus dan berbeda dari saluran transmisi, maka diperlukan studi aliran daya yang tepat yang akan digunakan untuk menganalisis sistem distribusi. Maka untuk menganalisis aliran daya pada saluran distribusi diperlukan metode yang tepat dan valid. Karena beberapa metode yang sudah ada kurang tepat untuk studi aliran daya pada sistem distribusi.

2.2 Tipe-Tipe Jaringan Distribusi Listrik

Jaringan Pada Sistem Distribusi tegangan menengah (Primer 20kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan hantaran penghubung (*Tie Line*), Jaringan Ring (Loop), Jaringan Spindel dan Sistem Gugus atau Kluster. Ada Beberapa bentuk Sistem Tenaga Listrik Distribusi, yaitu; (Milovanović et al., 2020).

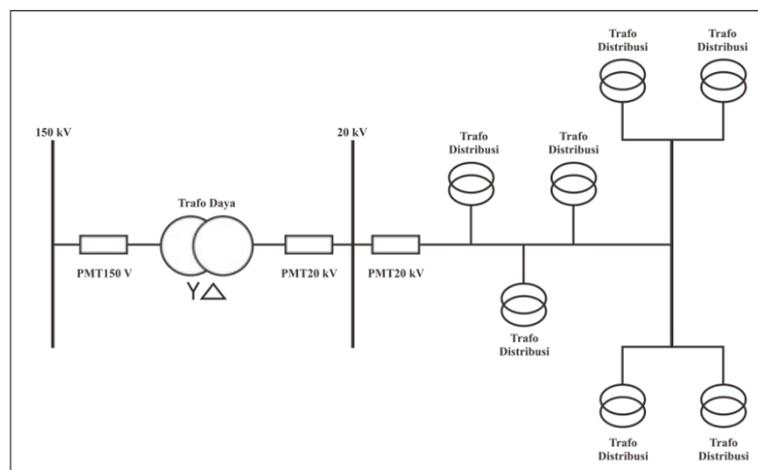
2.2.1 Sistem radial

Sistem radial merupakan jaringan sistem distribusi primer yang sederhana dan murah biaya investasinya. Pada jaringan ini arus yang paling besar adalah yang kat dengan Gardu Induk. Tipe ini dalam penyaluran energi listrik kurang arena bila terjadi gangguan pada penyulang maka akan menyebabkan a pemadaman pada penyulang tersebut. Secara sederhana sistem radial



mempunyai kelebihan dan kekurangan yang diuraikan sebagai berikut (Petersen et al., 2017):

1. Kelebihan:
 - a. Lebih murah biaya investasinya.
 - b. Lebih sederhana pengendalian dan sistemnya.
2. Kekurangan:
 - a. Kualitas listrik kurang baik.
 - b. Jika mengalami gangguan pada satu titik maka titik yang lain tidak akan teraliri listrik.



Gambar 1 Konfigurasi Sistem Radial

Bentuk jaringan distribusi radial seperti yang terlihat pada gambar 1 merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu, dan di cabang-cabang ke titik-titik beban yang dilayani. Catu daya berasal dari satu titik sumber. Arus beban yang mengalir sepanjang saluran menjadi tidak sama besar karena terdapat pencabangan-pencabangan ke titik-titik beban pada saluran.

Oleh karena kerapatan arus beban yang tidak sama besar pada setiap titik & saluran maka ukuran luas penampang konduktor yang digunakan pada bentuk radial tidak harus sama. Saluran utama (dekat sumber) yang mengangkut arus beban besar membutuhkan konduktor yang ukuran



penampangnya relatif besar. Sedangkan saluran cabang yang dilalui arus beban yang lebih kecil hanya membutuhkan konduktor yang ukurannya lebih kecil.

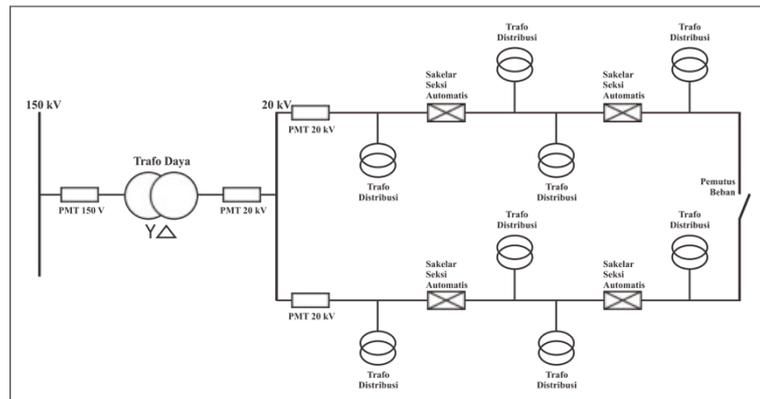
Kelebihan jaringan bentuk radial selain bentuknya yang sederhana juga biaya investasi yang relatif murah. Sedangkan kelemahan dari jaringan bentuk radial adalah kualitas pelayanan daya relatif jelek karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar. Kontinuitas pelayanan daya pun tidak terjamin, dikarenakan antara titik sumber dan titik beban hanya terdapat satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami “*black out*” secara total.

2.2.2 Sistem ring/loop

Tipe ini merupakan jaringan distribusi primer, gabungan dari dua tipe jaringan radial dimana ujung kedua jaringan dipasang PMT. Pada keadaan normal tipe ini bekerja secara radial dan pada saat terjadi gangguan PMT dapat dioperasikan sehingga gangguan dapat terlokalisir. Tipe ini lebih handal dalam penyaluran tenaga listrik dibandingkan tipe radial namun biaya investasi lebih mahal. Secara sederhana sistem loop mempunyai kelebihan dan kekurangan (Kazmi dan Shin, 2017):

1. Kelebihan
 - a. Kualitas listrik lebih baik/handal.
 - b. Jika mengalami gangguan pada satu titik maka titik yang lain dapat di aliri listrik dari PMT yang lain.
2. Kekurangan
 - a. Lebih mahal biaya investasinya.
 - b. Lebih rumit pengendalian dan sistemnya.





Gambar 2 Konfigurasi Sistem LOOP

Pada gambar 2 dapat dijelaskan bahwa jaringan distribusi ring atau loop merupakan jaringan distribusi bentuk tertutup. Pada titik beban terdapat dua alternatif saluran berasal lebih dari satu sumber. Susunan rangkaian penyulang membentuk ring sehingga memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah penyulang. Dengan begitu, kontinuitas pelayanan menjadi lebih terjamin. Kualitas dayanya pun menjadi lebih baik karena rugi tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil. Terdapat dua macam bentuk jaringan distribusi loop, yaitu:

1. *Open loop*

Suatu jaringan disebut *open loop* jika dilengkapi dengan *normally open switch* sehingga dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.

2. *Close loop*

Suatu jaringan distribusi dikatakan berbentuk *close loop* jika dilengkapi dengan *normally-close switch* sehingga dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

Dengan bentuk jaringan distribusi loop maka kualitas dan kontinuitas pelayanan daya menjadi lebih baik, namun biaya investasi menjadi lebih mahal karena membutuhkan pemutus beban yang lebih banyak. Bila dilengkapi dengan pemutus beban yang otomatis maka pengamanan dapat langsung cepat dan praktis, sehingga daerah gangguan dapat segera operasi kembali bila gangguan telah teratasi. Dengan cara ini berarti dapat



mengurangi tenaga operator. Bentuk ini cocok untuk digunakan pada daerah beban yang padat dan memerlukan keandalan tinggi.

2.3 Smart grid

Smart grid adalah jaringan listrik yang secara cerdas mengintegrasikan aksi-aksi dari seluruh pengguna yang tersambung di dalamnya mulai dari pembangkit, perangkat transmisi, dan konsumen untuk mengantarkan listrik dengan efisien, berkelanjutan, ekonomis dan aman (Yaghmaee dan Hejazi, 2018).

Smart grid merupakan konsep *grid modern* yang menggunakan teknologi digital sebagai dasarnya. Teknologi digital memungkinkan produsen untuk mentransmisikan listrik dan berkomunikasi dengan konsumen secara dua arah. Hal ini mengubah dasar-dasar pemikiran distribusi listrik secara radikal dalam hal paradigma pola berpikir para insinyur ketenagalistrikan. Dalam paradigma tradisional sistem tenaga listrikan, listrik hanya dapat dihantarkan secara satu arah dari perusahaan penyedia listrik kepada konsumennya, pembangkit-pembangkit besar dibangun di suatu daerah yang biasanya jauh dari daerah konsumennya, dan setelah itu listrik ditransmisikan melalui jaringan transmisi yang akhirnya didistribusikan kepada konsumen melalui gardu-gardu distribusi yang biasanya dibangun dekat atau di dalam kota-kota yang dipenuhi konsumen. Sedangkan dalam paradigma sistem ketenagalistrikan modern yang menggunakan konsep *smart grid* (Long et al., 2020).

2.3.1 Sistem tenaga listrik modern

Pada sistem tenaga modern, beberapa hal baru harus bisa dipenuhi lebih banyak sumber tenaga yang ada saat ini (Petersen et al., 2017).

Sistem tenaga modern harus lebih mengakomodasi partisipasi dari para konsumen, terutama dengan mulai berkembangnya sumber-sumber



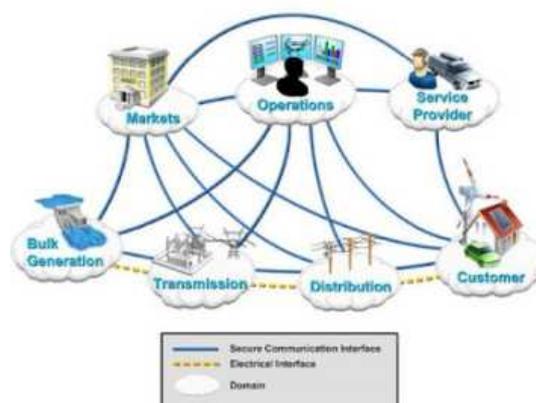
- energi alternatif terdistribusi, partisipasi aktif dari para konsumen juga harus diperhatikan sekaligus sistem tenaga lebih mengakomodasi bentuk-bentuk sumber energi yang tersedia dan tersebar di jaringannya.
- b. Teknologi digital yang berkembang pesat, memaksa semua aspek kehidupan bergantung pada TIK akibatnya sistem tenaga yang modern juga dituntut untuk bisa memberikan suplai energi dengan kualitas daya yang baik untuk mendukung kondisi digital ini.
 - c. Investasi yang dibuat di bidang sistem tenaga mendatang akan menuntut utilisasi aset yang lebih baik dengan efisiensi yang tinggi, sehingga investasi yang besar tidak akan terbuang sia-sia akibat terlalu *over-capacity* untuk mengantisipasi beban dan menjamin kelangsungan pelayanan.
 - d. Berhentinya suplai kepada konsumen merupakan sesuatu yang sebisa mungkin harus dihindari, sehingga sistem tenaga yang modern semaksimal mungkin harus bisa melakukan tindakan preventif dan akuratif terhadap gangguan yang terjadi pada dirinya.
 - e. Terakhir, sistem tenaga modern haruslah sesuatu yang “kokoh” dalam artian bisa bertahan terhadap *force majeure*, bisa bencana, serangan fisik maupun serangan *cyber*.

2.3.2 Penyusun sistem tenaga modern

Untuk dapat mewujudkan *smart grid* sebagai sistem tenaga modern sehingga dapat memenuhi syarat-syarat yang disebutkan sebelumnya, diperlukan peran dari 2 aspek utama yaitu infrastruktur kelistrikan dan infrastruktur telekomunikasi. Perbedaan mendasar dengan sistem tenaga konvensional yang hanya terdapat 1 arah aliran dari penyedia sumber ke konsumen, pada sistem ini terdapat 2 arah aliran dari penyedia ke konsumen sekaligus dengan dukungan infrastruktur telekomunikasi. Akibat



langsung dari adanya aliran 2 arah ini adalah akan muncul hubungan antara penyedia dengan konsumen yang jumlahnya banyak sekali, yang tidak akan mungkin bisa ditangani sendiri oleh perusahaan penyedia energi, karena itulah menurut *National Institute of Standard and Technology (NIST)*, US pada sistem tenaga modern dimunculkan satu lagi blok penyusun baru yang disebut sebagai “penyedia layanan” sebagaimana yang terlihat pada gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3 Diagram penyusun smart grid

Sumber : <https://electricityofdream.blogspot.com/2016/09/listrik-menuju-smart-grid-jaringan.html>

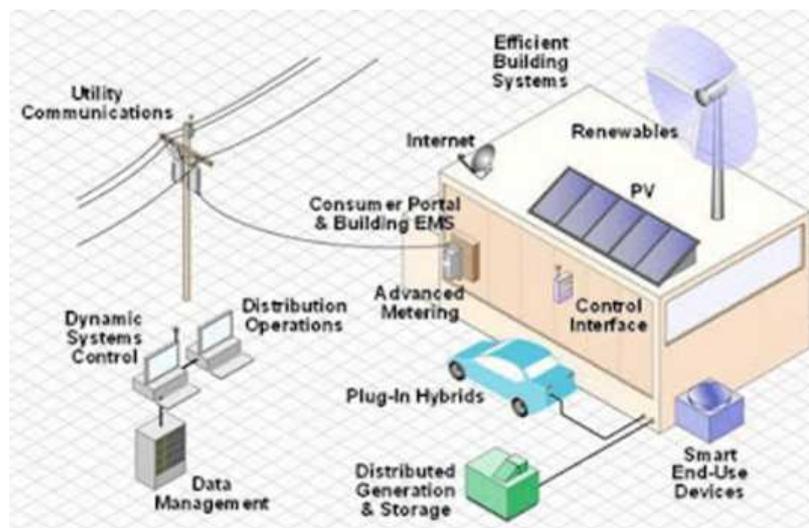
Penyedia layanan ini yang akan berhubungan secara langsung dengan konsumen di tingkat paling bawah dan berhubungan ke atas dengan perusahaan penyedia energi, perusahaan penyedia energi sendiri hanya akan berkoordinasi dengan beberapa perusahaan penyedia layanan yang bertugas (Barman et al., 2018).

2.3.3 Operasi sistem tenaga modern

Suatu sistem tenaga yang sudah mengaplikasikan secara penuh konsep *smart grid*, seperti adanya dukungan infrastruktur komunikasi, dan juga hadir dari peralatan rumah tangga yang juga “cerdas” maka setiap saat konsumen penyedia akan dapat memonitor beban-beban listrik apa yang



tersambung kepada konsumen. Hal ini dapat dimungkinkan karena konsep ini memproyeksikan setiap sambungan beban dapat dimonitor bahkan sampai ke setiap titik sambungan beban, misalnya dengan *IP-address* untuk setiap colokkan listrik Panahi et al., (2018). Dengan adanya komunikasi 2 arah ini, maka apabila ada suatu perusahaan penyedia listrik mengalami defisit suplai listrik, maka perusahaan itu bisa menentukan beban-beban mana saja yang bisa ditunda atau dialihkan pemakaiannya untuk waktu yang singkat, misalnya selama 5 menit ternyata mobil listrik yang sedang beroperasi dapat dihentikan pengisian baterainya akibat saat itu defisit sedang terjadi. Dengan pola ini, penyedia energi bisa memaksimalkan semua aset kelistrikannya pada rating yang sesuai tanpa harus melakukan *over-rating* supaya aman yang dapat ditunjukkan pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4 Smart grid pada level konsumen

Sumber : <https://electricityofdream.blogspot.com/2016/09/listrik-menuju-smart-grid-jaringan.html>

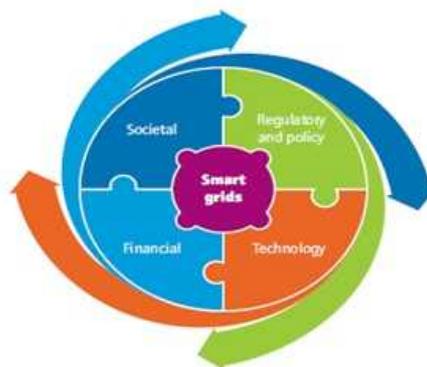
Arah yang sebaliknya juga bisa terjadi, konsumen dapat berpartisipasi dalam menyuplai energi ke sistem tenaga yang dimiliki oleh penyedia. kasus apabila konsumen memiliki mobil listrik yang baterainya memiliki simpanan energi, maka dengan kesepakatan yang bisa diatur,



konsumen dapat memberikan energi yang tersimpan di baterainya pada waktu-waktu tertentu dan berganti mengisi baterai mobilnya pada waktu yang lain. Hal yang sama bisa juga untuk kasus konsumen yang memiliki sumber energi sendiri, seperti panel surya, turbin angin (Yaghmaee dan Hejazi, 2018).

2.3.4 Implementasi sistem smart grid

Ide *smart grid* sebenarnya bukan barang baru di dunia tenaga listrik. Komunikasi dua arah antara produsen listrik serta konsumennya telah diimplementasikan menggunakan teknologi analog bertahun-tahun lamanya, memungkinkan para penyedia listrik untuk melakukan sensing, pengukuran dan kontrol dua arah terhadap *device-device* yang berhubungan dengan pembangkitan, transmisi dan distribusi dalam level partisi data yang lebih real Antoniadou-Plytaria et al., (2017). Hal ini *device-device* tersebut untuk memberikan informasi tentang keadaan sistem tenaga listrik kepada seluruh konsumen yang ada secara *real-time* seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5 *Smart grid* dapat menghubungkan masyarakat, keuangan, teknologi dan regulasi dan tujuan kebijakan



Sumber : <https://electricityofdream.blogspot.com/2016/09/listrik-menuju-smart-grid-jaringan.html>

Contoh pengaturan penggunaan listrik yang dapat dilakukan konsumen rumah tangga adalah pada saat musim panas berlangsung dan beban sistem berada pada puncaknya pada siang hari akibat pendingin ruangan yang dinyalakan di hampir seluruh konsumen rumah tangga. Secara *real-time* konsumen dapat melihat berapa harga listrik dan pemakaian listrik mereka, sehingga memungkinkan mereka untuk memilih prioritas penggunaan peralatan elektronik mereka agar lebih efisien dan tagihan biaya penggunaan listrik mereka tidak membludak di akhir bulan.

2.3.5 Keuntungan pengembangan smart grid

Secara umum, keuntungan dari pengembangan *smart grid* sebagai berikut (Ahmed dan Hasan, 2018).

1. *Self healing*

Istilah *self healing*, sebenarnya hanya mengacu pada kemampuan *smart grid* untuk mengantisipasi, mendeteksi dan merespon terhadap masalah atau gangguan yang terjadi pada sistem. Menggunakan informasi yang dikirim secara *real-time* oleh sensor-sensor yang dipasang di seluruh sistem, *smart grid* dapat secara cepat bereaksi untuk mengatasi gangguan yang terjadi. Contohnya, bila terjadi gangguan pada suatu sistem distribusi di suatu daerah yang mengakibatkan padamnya listrik di daerah tersebut, maka alat-alat proteksi yang dipasang di daerah tersebut akan mengisolasi gangguan sumber gangguan sehingga tidak mengakibatkan pemadaman yang lebih luas ke daerah yang jauh dari sumber gangguan.

2. *Consumer participation*

Smart Grid memungkinkan pelanggan untuk mengatur pemakaian listriknya sendiri dengan pertimbangan informasi *real-time* tentang keadaan sistem. Lebih jauh lagi, bila pelanggan memiliki panel surya



atau turbin angin, mereka dapat menggunakan sendiri, menyimpan, atau menjual listrik yang dihasilkan kepada produsen. Hal ini dimungkinkan karena tiap-tiap rumah sudah terkoneksi ke dalam sistem secara dua arah, sehingga listrik tidak hanya mengalir dari sistem ke rumah, tapi juga dari rumah ke sistem.

3. *High Quality Power*

Dengan konsep *smart grid*, diharapkan dapat diperoleh sistem yang lebih stabil dimana *losses* atau rugi-rugi yang terjadi di dalam sistem bisa diminimalisir.

4. *Accommodate Generation Option*

Dalam sistem *smart grid*, sumber-sumber listrik yang menggunakan energi terbarukan seperti angin, sinar matahari, dan *microhydro* dapat masuk ke dalam sistem sehingga pilihan pembangkitan dan sumber-sumbernya lebih beragam. Hal ini menyebabkan sistem menjadi lebih andal karena diversifikasi sumber energi listrik yang digunakan lebih banyak karena dengan konsep ini, memungkinkan konsumen-konsumen membangkitkan listriknya sendiri dan membayar serta dibayar sesuai dengan margin yang terjadi antara pembangkitan dan pemakaian listriknya sendiri.

2.3.6 Menuju ke smart grid

Semua konsep yang dipaparkan di atas, masih sangat jauh untuk tercapai dari sistem yang beroperasi saat ini. Namun mulai saat ini bisa di mulai dari hal yang terdekat dahulu, misalnya penggunaan meter pembaca yang bisa diakses jarak jauh sekaligus untuk mengaktifkan dan mematikan sambungan listrik untuk rumah-rumah dan seterusnya. Dari sisi teknologi dan pengembangan di 2 bidang utama, bidang kelistrikan harus akan *platform* penyaluran energi dan kelangsungan energi listrik; di



bidang telekomunikasi, komputer, dan *cyber* harus menyediakan sistem komunikasi 2 arah yang tepat, cepat, akurat, serta aman Dong et al., (2017). Keamanan menjadi aspek penting dalam konsep ini, mengingat semua sudah dilakukan secara digital dan *cyber*, serangan dan gangguan di sisi telekomunikasi dan *cyber* juga tidak boleh ditoleransi karena energi merupakan aset nasional sehingga diperlukan sistem teknologi informasi yang kokoh dan canggih untuk mendukung sistem ini. Peran pengatur regulasi juga diharapkan untuk menentukan standar teknologi sehingga semua bisa berperan bersama di konsep sistem tenaga modern ini. Pengatur regulasi juga harus menciptakan iklim dan kebijakan yang akan mendukung sistem operasi yang diinginkan bisa berlangsung, misalnya tentang batasan-batasan dan pengaturan harga. Terakhir peran dari para *engineer* untuk memahami ilmu yang multi disiplin untuk menjalankan konsep ini.

2.4 Studi Aliran Daya (*Load Flow Studies*)

Definisi studi aliran daya adalah analisis numerik aliran tenaga listrik dalam sebuah sistem kelistrikan. Studi aliran daya kadang disebut juga studi aliran beban juga merupakan analisa dan asesmen terhadap kondisi *steady-state* sistem kelistrikan (Kamruzzaman et al., 2022).

2.4.1 Sasaran

Untuk mengetahui aliran tenaga, arus, tegangan, daya nyata (*real power*) dan daya reaktif (*reactive power*) dalam suatu sistem dalam kondisi beban apa pun. Studi aliran daya diperlukan selama fase desain proyek baru atau ketika mengevaluasi perubahan dan ekspansi sistem kelistrikan yang ada. Studi aliran daya merupakan salah satu studi tersulit pada kelompok sistem tenaga.



1. Studi ini mengevaluasi kemampuan sistem untuk memasok beban dengan memadai sambil tetap berada dalam rentang tegangan dan arus yang tepat.
2. Studi aliran daya akan menentukan tegangan dan faktor daya di semua bus, serta arus atau aliran daya di semua *feeder*.

2.4.2 Pentingnya studi aliran daya

Studi aliran daya sangat membantu saat pembuatan perencanaan masa depan dengan memperhitungkan serta menganalisis berbagai situasi hipotesis terkait kelistrikan. Misalnya, jika saluran transmisi akan dilepas dari sisten untuk pemeliharaan, apakah saluran yang tersisa mampu melayani beban tanpa melebihi nilai pengenalnya? Studi aliran daya akan menjawab hal ini.

Melalui analisa aliran beban kita dapat mendapat informasi tentang level tegangan (V) dan sudut fasa tegangan (δ) di setiap bus dalam kondisi *steady-state*. Ini penting karena besarnya tegangan bus harus dipertahankan dalam batas yang ditetapkan. Setelah sudut dan level tegangan bus dihitung menggunakan aliran daya, besar dan deviasi daya reaktif (Q) dan nyata (P) yang melalui setiap saluran dapat dihitung. Juga berdasarkan perbedaan antara aliran daya di ujung pengirim dan penerima, rugi-rugi di jalur tertentu juga dapat dihitung. Selain itu, kita juga dapat mengetahui status beban lebih dan kurang. Solusi aliran daya sangat penting untuk evaluasi berkelanjutan atas kinerja sistem tenaga sehingga tindakan pengendalian yang sesuai dapat diambil jika diperlukan. Dalam studi aliran daya, harus mampu menjawab ini (Kamruzzaman et al., 2022).



2. Berapa level tegangan di semua node sistem selama operasi?

3. Apakah elemen sistem tenaga (transformator, generator, kabel, dll.)

4. Apakah memadai atau *overload*?

c. Dimana titik terlemah dari sistem?

Analisis aliran daya sangat penting untuk pengoperasian sistem tenaga dalam kondisi operasi saat ini, *up-grading* maupun ekspansi kapasitas di masa mendatang.

2.4.3 Maksud dan tujuan studi aliran daya

Tujuan dari perhitungan aliran beban adalah untuk menentukan karakteristik operasi *steady-state* dari sistem tenaga untuk suatu beban dan kondisi daya dan tegangan riil generator. Setelah informasi tersebut dimiliki, aliran daya nyata dan reaktif dapat dihitung dengan mudah di semua cabang. Sekaligus dapat diketahui besarnya rugi-rugi daya. Sehingga studi aliran beban biasa digunakan untuk menyelidiki (Ranjan dan Shankar, 2022):

1. Pembebanan komponen atau jaringan (sirkuit)
2. Profil tegangan bus (besaran, sudut fasa, dll)
3. Aliran daya nyata dan daya reaktif
4. Rugi-rugi sistem tenaga
5. Pengaturan tap trafo yang tepat

Melakukan studi aliran beban dengan menggunakan beberapa skenario membantu memastikan bahwa sistem kelistrikan dirancang dengan tepat untuk memenuhi kriteria kinerja teknis yang diinginkan dengan biaya investasi dan biaya operasional paling ekonomis.

2.4.4 Bagaimana cara melakukan studi aliran daya?

Langkah-langkah dalam studi arus daya meliputi tiga langkah besar berikut:

- a. Pemodelan komponen sistem tenaga dan jaringan.
- b. Pembuatan persamaan aliran daya.

c. Memecahkan persamaan aliran beban menggunakan teknik numerik.



2.4.5 Metode dalam analisis aliran daya

Ada tiga metode untuk menghitung dan mengolah data dari sistem tenaga yang diuraikan sebagai berikut (Ahmad et al., 2022).

1. *Sistem Gauss-Seidel*

Sistem *Gauss-Seidel* adalah salah satu jenis analisis yang paling umum. Keunggulan dari sistem ini adalah kesederhanaannya dalam pengoperasian, daya komputasi yang diperlukan terbatas, dan waktu penyelesaian yang lebih sedikit. Namun, tingkat konvergensinya yang lambat menghasilkan banyak iterasi. Jumlah bus yang lebih banyak meningkatkan iterasi ini.

2. *Metode Newton–Raphson*

Metode *Newton-Raphson* adalah metode yang lebih canggih, menggunakan konvergensi kuadrat, dan dapat digunakan untuk situasi yang lebih kompleks. Metode ini membutuhkan lebih sedikit iterasi untuk mencapai konvergensi, dan oleh karena itu juga membutuhkan lebih sedikit waktu komputer. Ini juga lebih akurat karena kurang sensitif terhadap faktor-faktor rumit seperti pemilihan bus kendur atau transformator regulasi. Salah satu kelemahannya adalah pemrograman bisa jadi rumit dan membutuhkan memori komputer yang besar.

3. *Metode Fast Decoupled*

Keuntungan utama dari metode ini adalah menggunakan lebih sedikit memori komputer. Kecepatan kalkulasi 5x lebih cepat daripada metode *Newton – Raphson*, menjadikannya pilihan populer untuk manajemen jaringan listrik secara *real-time*. Namun, ini bisa menjadi kurang akurat karena asumsi digunakan untuk mendapatkan penghitungan cepat.

Sehingga lebih sulit untuk mengubah program komputer ini untuk



mencari masalah lain seperti keamanan atau aliran sistem daya, cakupannya menjadi terbatas.

2.4.6 Teknik analisis aliran daya

Ada dua cara atau teknik untuk melakukan studi aliran daya yang diuraikan sebagai berikut (Mohamed et al., 2022).

1. Analisis Matematik

$$V_i = \frac{I}{V_{ii}} \left(\frac{P_i - jQ_i}{V_i} \sum_{k=j}^N Y_{ik} V_k \right)$$

Ada beberapa langkah yang harus dilakukan saat menganalisa aliran beban secara matematis, yaitu:

- Step 1 : Membuat pemodelan sistem dengan *single-line diagram*
- Step 2 : Mengubah semua kuantitas menjadi per unit
- Step 3 : Menggambar diagram impedansi
- Step 4 : Mendapatkan matriks Y bus
- Step 5 : Mengklasifikasikan bus (*swing bus*, atau *generator bus*, atau *load bus*)
- Step 6 : Mulailah menjawab variabel yang hilang, dengan asumsi (kecuali jika ditentukan lain)
- Step 7 : Menentukan estimasi untuk daya nyata dan reaktif yang diberikan, menggunakan nilai yang diasumsikan dan diberikan untuk tegangan/sudut/admitansi
- Step 8 : Menulis *Matriks Jacobian* untuk iterasi pertama metode *Newton Raphson*
- Step 9 : Menyelesaikan perbedaan yang tidak diketahui, gunakan *Cramers Rule*
- Step 10 : Mengulangi langkah 7-9 secara berulang hingga memperoleh nilai yang akurat



2. Analisis Perangkat Lunak (Software)

Software atau perangkat lunak studi aliran daya adalah alat bantu yang sangat baik untuk mempelajari sistem tenaga, tetapi tidak boleh digunakan sebagai pengganti pengetahuan dan pengalaman. Ada banyak *software* analisis yang tersedia untuk membantu analisa aliran daya dengan *software* seperti ETAP dan Matlab/Simulink. Penggunaan perangkat lunak menyederhanakan pelaksanaan studi aliran beban. Namun, pemilihan data masukan yang diperlukan, tingkat kerincian model, verifikasi dan interpretasi keluaran dan pemanfaatannya untuk mencapai desain yang dibutuhkan masih memerlukan masukan dari seorang engineer terampil dan berpengalaman (Ranjan dan Shankar, 2022).

Perangkat lunak digunakan disebagian besar kondisi *real-time* karena lebih mudah. Dalam melakukan ini, insinyur kelistrikan membangun jaringan node yang saling berhubungan dengan admitansi (impedansi).

3. Kemampuan Perangkat Lunak Arus Beban

- a. Secara otomatis menyesuaikan tap trafo & LTC/pengaturan regulator tegangan
- b. Parameter konvergensi penghitungan aliran beban yang dikontrol pengguna
- c. Bandingkan & analisis beberapa laporan menggunakan penganalisis hasil aliran beban
- d. Sertakan efek transformator pemindah fasa
- e. Melihat hasil aliran daya secara grafis
- f. Evaluasi pelanggaran batas kritis & marjinal
- g. Selesaikan aliran beban sistem tiga fasa & fasa tunggal secara bersamaan

Pemodelan sumber fase tunggal terisolasi



4. *Setiap node sistem memiliki empat parameter kunci:*
 - a. Daya aktif (P)
 - b. Daya reaktif (Q)
 - c. Besarnya tegangan (V)
 - d. Sudut fase tegangan (δ)
5. Dalam mendefinisikan node dalam model perangkat lunak, *engineer* biasanya mempertimbangkan tiga jenis:
 - a. *Load Bus* [Bus P-Q], bus yang daya nyata dan reaktifnya ditentukan.
 - b. *Generator Bus* [P-V bus], merupakan bus yang diketahui tegangan dan pembangkit listriknya.
 - c. *Slack Bus* (Bus ayun), dimana diasumsikan besaran tegangan dan fasa diketahui.

Dalam sebuah studi aliran daya, kebanyakan node adalah tipe bus beban. Jenis bus generator adalah semua node yang memiliki generator terhubung. Sementara lebih dari satu bus kendur dapat didefinisikan, biasanya hanya memiliki satu bus, dan ini dipilih sebagai titik koneksi ke suplai jaringan utama.

2.5 Kerangka Konseptual

1. Grisales Norena dkk. pada tahun 2020, menyajikan penerapan metode iteratif *backward forward sweep* untuk menyelesaikan masalah aliran daya pada jaringan arus searah dengan struktur radial, dengan mempertimbangkan beban daya reaktif dan konstan. Validasi efektivitas dan ketahanan metode yang diusulkan dibuat dengan menggunakan enam metode perbandingan yang tercantum dalam literatur untuk analisis aliran daya dalam jaringan radial arus searah seperti: *Gauss-Jacobi*, *Gauss-Seidel*, *Newton-Raphson*, *aproksimasi* *Newton* berdasarkan deret *Taylor*, pendekatan dan formulasi matriks segitiga.



Metode-metode tersebut dievaluasi menggunakan empat sistem pengujian yang dilakukan dengan 10, 21, 33 dan 69 bus. Hasil simulasi, diperoleh di MATLAB, menunjukkan bahwa pendekatan yang diusulkan efisien untuk jaringan arus searah radial dalam hal kualitas dan waktu pemrosesan, meningkatkan efisiensi untuk jumlah bus yang lebih besar.

2. Ednardo Rocha dkk , pada tahun 2020, menyajikan model estimasi linier baru berdasarkan metode aliran beban penjumlahan arus untuk sistem distribusi tiga fasa. dikembangkan yang dapat diterapkan pada pengawasan sistem distribusi pada kondisi operasi normal dan lokasi gangguan dalam kasus gangguan impedansi rendah dan tinggi. Studi yang dilakukan dengan menggunakan pengumpan distribusi yang nyata. Untuk analisis lokasi gangguan, sistem dimodelkan menggunakan ATP (*Alternative Transient Program*) untuk pengukuran tegangan dan arus di gardu induk, dan besaran tegangan yang dicatat oleh meter lain selama gangguan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan memiliki presisi yang baik, waktu pemrosesan komputasi yang rendah, dan menjanjikan untuk pengawasan sistem distribusi dengan pengurangan jumlah meter.
3. Akihisa Kaneko dkk, pada tahun 2020, menyajikan metode untuk menentukan konfigurasi radial-loop yang optimal untuk meminimalkan rugi daya pada jaringan distribusi dengan sistem *PhotoVoltaik* (PV) dan mengevaluasi efektivitas konfigurasi ini. Karena disagregasi transmisi dan distribusi dalam sistem tenaga yang dideregulasi, Untuk menerapkan konfigurasi loop dan radial, DSO pertama-tama harus mengevaluasi keandalan, karena konfigurasi loop dapat menyebabkan kegagalan fungsi pemutus sirkuit pengumpan dan perluasan area yang tidak disuplai selama kondisi gangguan. Namun, dampak konfigurasi radial-loop pada keandalan dan efektivitas belum diverifikasi. Oleh karena itu, penelitian mengusulkan metode untuk menentukan konfigurasi loop radial optimal yang meminimalkan kehilangan daya aktif dan mempertahankan dalan yang tinggi. Dalam simulasi numerik, keandalan konfigurasi loop 1 diverifikasi, dan efektivitas konfigurasi dianalisis dalam hal kehilangan aktif dan regulasi tegangan dari beberapa kondisi penetrasi sistem PV.



Jaringan distribusi 6,6 kV yang terdiri dari 6 feeder dan 11 *Tie-Switch* dimodelkan berdasarkan jaringan distribusi Jepang yang ada dan digunakan untuk simulasi numerik.

4. Ahmet Calik , pada Tahun 2020, Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengoptimalkan desain jaringan *Open Loop Supply Chain (OLSC)* multi-eselon, multi-periode, dan multi-objektif. Tujuannya dianggap sebagai biaya total, minimalisasi biaya lingkungan, dan maksimalisasi tingkat kepentingan pemasok. Selanjutnya, pendekatan fuzzy dirancang untuk mengevaluasi kinerja pemasok sesuai dengan kriteria kualitatif berkelanjutan. Tiga pendekatan pemrograman *fuzzy* digunakan untuk menyelesaikan model OLSC yang dikembangkan. Contoh numerik diberikan untuk memvalidasi model dan efektivitas prosedur evaluasi yang diusulkan. Hasilnya menunjukkan kelayakan prosedur evaluasi yang diusulkan dan pencapaian dalam model yang dikembangkan.
5. Hisham Albataineh dkk , pada tahun 2020 , *Internet of Things (IoT)* telah menjadi teknologi yang menarik untuk *smart city*, *smart home*, dan *smart grid* dengan menggunakan sejumlah besar data IoT. Masalah utama dari *smart grid* adalah banyaknya data yang harus dikumpulkan dari perangkat IoT, dan pemrosesan data adalah sebuah tantangan. Menggunakan dan memprediksi sejumlah besar data di *smart grid* dan IoT masih dalam tahap awal. Untuk mengatasi masalah ini, mengusulkan solusi *hybrid* dengan menggunakan *Cloud* dan *Edge Computing* untuk memproses data. Memproses dan memprediksi perangkat untuk menghemat latensi dan penyimpanan dibandingkan dengan menempatkan semua pemrosesan di *Cloud*.
6. Zhenyue Lon dkk, pada tahun 2020, manajemen sisi permintaan konsumsi daya merupakan salah satu komponen terpenting dalam memenuhi janji *smart grid*. Dalam konteks seperti itu, terminal pengukuran, pemantauan, dan smart kontrol yang dekat dengan pelanggan secara efektif berfungsi sebagai perangkat dan komponen untuk penerapan fungsi cerdas. Makalah ini menyajikan arsitektur *Internet of Things* pada sisi permintaan dan teknologi



utama. Kesimpulannya, infrastruktur yang diaktifkan IoT dapat secara signifikan meningkatkan kinerja sistem di masa depan untuk utilitas listrik.

7. Stefanos Petridis dkk, pada tahun 2021, peningkatan sumber daya energi terdistribusi pada jaringan distribusi tegangan rendah membutuhkan kemampuan untuk melakukan analisis aliran daya yang akurat pada sistem yang tidak seimbang. Studi saat ini mengusulkan perbaikan pada algoritma aliran daya *backward-forward sweep* (BFS) yang sudah digunakan untuk jaringan distribusi tiga fase yang tidak seimbang. Algoritme aliran daya yang diusulkan dapat diimplementasikan dalam sistem besar yang menghasilkan hasil yang akurat dalam waktu singkat menggunakan sumber daya komputasi seminimal mungkin. Dalam versi algoritma ini, jaringan direpresentasikan dalam struktur seperti pohon, bukan matriks insiden, menghindari penggunaan perhitungan yang berlebihan dan penyimpanan data yang tidak perlu.
8. Xin Liu & Jason Frank, pada tahun 2023, telah mengusulkan regularisasi iterasi *backward/forward sweep* untuk menyelesaikan nilai maksimum *Pontryagin* dalam masalah kontrol optimal. Penulis membuktikan konvergensi global dari iterasi dalam kasus waktu terus menerus. Dalam artikel ini telah meningkatkan konvergensi dari iterasi *backward/forward sweep* yang teratur untuk memecahkan masalah kontrol optimal ke pengaturan diskrit. Menunjukkan bahwa jika masalah kontinu didiskritisasi oleh *Simplify Runge-Kutta* yang dipartisi *symplectic* (menggunakan pendekatan integrator variasi), maka bukti konvergensi dapat dengan mudah diperoleh.
9. Hota dan Miles, pada Tahun 2022, sebuah teknik baru alokasi kerugian daya aktif adalah *proposedfor* alokasi kerugian jaringan antara peserta dalam sebuah diregulasi *power-environment*. Metode ini menggunakan teknik numerik berbasis *forward-backward sweep* (FBS) untuk sistem *load flow* (LF) dan perhitungan rugi daya dengan/tanpa *generated distributed* (DGs). Kompleksitas yang terletak pada dekomposisi persamaan kehilangan daya ; suku telah disederhanakan secara matematis, yang diusulkan stabilitas ngan langsung antara dua tegangan akhir cabang dan urutan node arus n hal simpul disuntikkan kekuatan yang kompleks.



Mengacu pada kajian Literatur yang telah dipaparkan, maka Peneliti mencoba melakukan komputasi numerik dengan model BFS dalam mengontrol aliran daya, penting untuk dilakukan agar dapat mempermudah pihak terkait dalam mendeteksi beban daya listrik secara *real-time*. Penelitian ini direncanakan akan menggunakan rancangan sistem *smart grid* dengan menggabungkan beberapa algoritma yakni MIFWA, PSO, BFS, GA dan metode *Basic Loop Dynamic Partitioning* untuk memvisualisasikan aliran beban dan daya listrik secara *hybrid* sebagai solusi dalam mengkombinasikan dengan algoritma *power flow analysis* agar dapat mendeteksi adanya gangguan listrik. penelitian ini juga lebih terfokus pada jaringan distribusi dengan tujuan untuk menunjukkan analisis stabilitas tegangan interkoneksi *loop distribution network* (LDN) yang berfokus pada bagaimana membuka konfigurasi loop yang sebelumnya tertutup menjadi konfigurasi radial untuk mengatasi masalah stabilitas tegangan di masa depan. Untuk tujuan ini, penulis mengusulkan BFS sederhana untuk kasus ideal pada jaringan distribusi loop.



Penelitian terdahulu yang menjadi referensi penelitian Disertasi terlihat pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 *State of The Art*

NO.	AUTHOR	TAHUN	JUDUL	MASALAH	METODE	ALGORITMA	HASIL
1	Cristina González-Morán, Pablo Arboleya, Bassam Mohamed	2017	Matrix Backward Forward Sweep for Unbalanced Power Flow in frame	Kurangnya generalisasi untuk topologi jaringan dan koneksi transformator yang berubah-ubah	IEEE Node Test Feeders	Backward Forward Sweep (BFS)	Menunjukkan hasil yang akurat dalam sistem distribusi besar untuk semua koneksi transformator tiga fasa, lateral fasa tunggal dan generator terdistribusi
2	Kongjeen, Y	2019	A modified backward and forward sweep method for microgrid load flow analysis under different electric vehicle load mathematical models	kehilangan daya dan deviasi tegangan beban (LVD) yang berbeda dan beban umum sistem tenaga listrik.	Adaptive approach which allows nodes to dynamically choose the most appropriate parameters	Backward Forward Sweep (BFS)	model beban EV merupakan salah satu faktor penting yang dipilih untuk mengatasi aliran daya jaringan. Selain itu, posisi dan ukuran beban EV dalam kondisi optimal untuk mengurangi dampak ke jaringan listrik.
3	Milavanovic, Milos	2020	A Backward/forward sweep power flow method for harmonic polluted radial distribution system with distributed generation units	Aliran daya pada frekuensi fundamental dan Harmonik dan Model sistem distribusi energi	Power Flow Analysis	Backward Forward Sweep (BFS)	Metode BFS memberikan solusi yang efektif, kuat, dan berkualitas tinggi. karena invers matriks admitansi bus yang digunakan dalam prosedur penyelesaian.
4	Suchite-Romalino, Abner	2020	A New Approach for PV Nodes Using an Efficient Backward/Forward	Konvergensi tegangan terkontrol jaringan distribusi. seperti rasio r/x yang tinggi, impedansi cabang yang	A novel strategy to select cluster heads and implement the	Backward Forward Sweep (BFS)	metodologi yang tidak rumit ini memungkinkan untuk mendapatkan waktu eksekusi yang lebih baik, respons cepat yang lebih baik untuk beban,



NO.	AUTHOR	TAHUN	JUDUL	MASALAH	METODE	ALGORITMA	HASIL
			Sweep Power Flow Technique	sangat rendah, konfigurasi radial	non-orthogonal multiple access (NOMA) technique in the transmission		pembangkitan dan konfigurasi jaringan transmisi.
5	Rocha, Ednardo	2020	A New Linier State Estimator for Fault Location in Distribution system Based on Backward-Forward Current Sweep	Aliran beban dan daya untuk sistem distribusi tiga fase.	Load Flow	efficient load-adjustment	Linearisasi penaksir keadaan melalui penggunaan metode aliran beban berdasarkan penjumlahan arus terbukti menguntungkan karena penyederhanaan persamaan, yang menghasilkan pengurangan tingkat upaya komputasi dan total waktu eksekusi membuatnya sesuai untuk real- aplikasi waktu.
6	Huang, Song	2020	Effect Backward Sweep on Aerodynamic Performance of a 1.5-stage Highly Loaded Axial Compressor	Satuan derajat kebebasan dalam desain sudu tiga dimensi kompresor aksial	Hop-by-hop Cooperative Detection (HCD) scheme	Backward Forward Sweep (BFS)	Kecepatan rotasi desain, dibandingkan dengan baseline, konfigurasi rotor Bacward Forwardd Sweep mengurangi pemuatan blade di dekat tepi sehingga meningkatkan pemuatan blade di dekat tepi trailing di wilayah hub.
7	Hota, Ambika Prasad	2021	A forward-Backward Sweep based numerical approach fo active power loss allocation of radial distribution network	Kehilangan daya aktif (LA) untuk jaringan antara node dalam lingkungan daya deregulasi.	Energy Efficient Secured Ring Routing (E2SR2) protocol	Low complexity XOR technique and Hybrid LEACH-PSO algorithm	Sistem pengujian 33 bus dengan berbagai level beban, beberapa kapasitas DG, dan berbagai jenis injeksi daya DG. Hasil yang diperoleh menghasilkan efisiensi daya



NO.	AUTHOR	TAHUN	JUDUL	MASALAH	METODE	ALGORITMA	HASIL
			with distributed generation				
8	Petridis, Stefanos	2021	An Efficient Backward/Forward Sweep Algorithm for Power Flow Analysis through a Novel Tree-Like Structure for Unbalanced Distribution Network	Sumber distributed energy resources (DER) pada jaringan distribusi Low Voltage (LV) memerlukan kemampuan untuk melakukan power flow analysis (PFA) yang akurat pada sistem yang tidak seimbang.	Energy Efficient Secured Ring Routing (E2SR2) protocol	Load Flow Analysis	Implementasi metode ini dikembangkan dalam bahasa pemrograman Python dan diuji untuk 3 kasus uji pengumpulan IEEE (pengumpulan 4 bus, pengumpulan 13 bus, dan pengumpulan uji Tegangan Rendah Eropa), mulai dari yang rendah (4) hingga yang sangat tinggi (907) nomor bus, termasuk berbagai macam komponen yang terlihat di jaringan distribusi LV
9	Liu, Guiyun	2021	Epidemic Analysis of Wireless Rechargeable Sensor Network Based on an Attack-Defense Game model	keamanan di WRSN yang perlu ditangani Hamiltonian, strategi optimal untuk malware dan WRSN diperoleh berdasarkan Prinsip Maksimum Pontryagin.	Backward Forward Sweep (BFS)	Low complexity XOR technique and Hybrid LEACH-PSO	malware dapat dihilangkan dengan mengatur tingkat transmisi, tetapi perlu dikurangi hingga ambang tertentu. Mengaktifkan program anti-malicious cara paling efektif dan langsung untuk menekan penyebaran malware.
10	Liu, Xin	2023	Symplectic Runge-Kutta discretization of a regularized forward-backward sweep iteration for optimal control problem	Kontrol optimal.	Symplectic Runge-Kutta	Depends Heavily	Literasi Forward/Backward yang diatur dapat digabungkan dengan teknik akselerasi nonlinear
11	Shamte Kawambwa, Rukia Daudi alo, Hamisi,	2021	An improved backward/forward sweep power flow method based on network tree depth	Distribusi Energi yang optimal	Backward Forward Sweep (BFS)	Load Flow Analysis	Metode aliran beban berdasarkan penjumlahan arus terbukti menguntungkan karena penyederhanaan persamaan, yang menghasilkan pengurangan tingkat

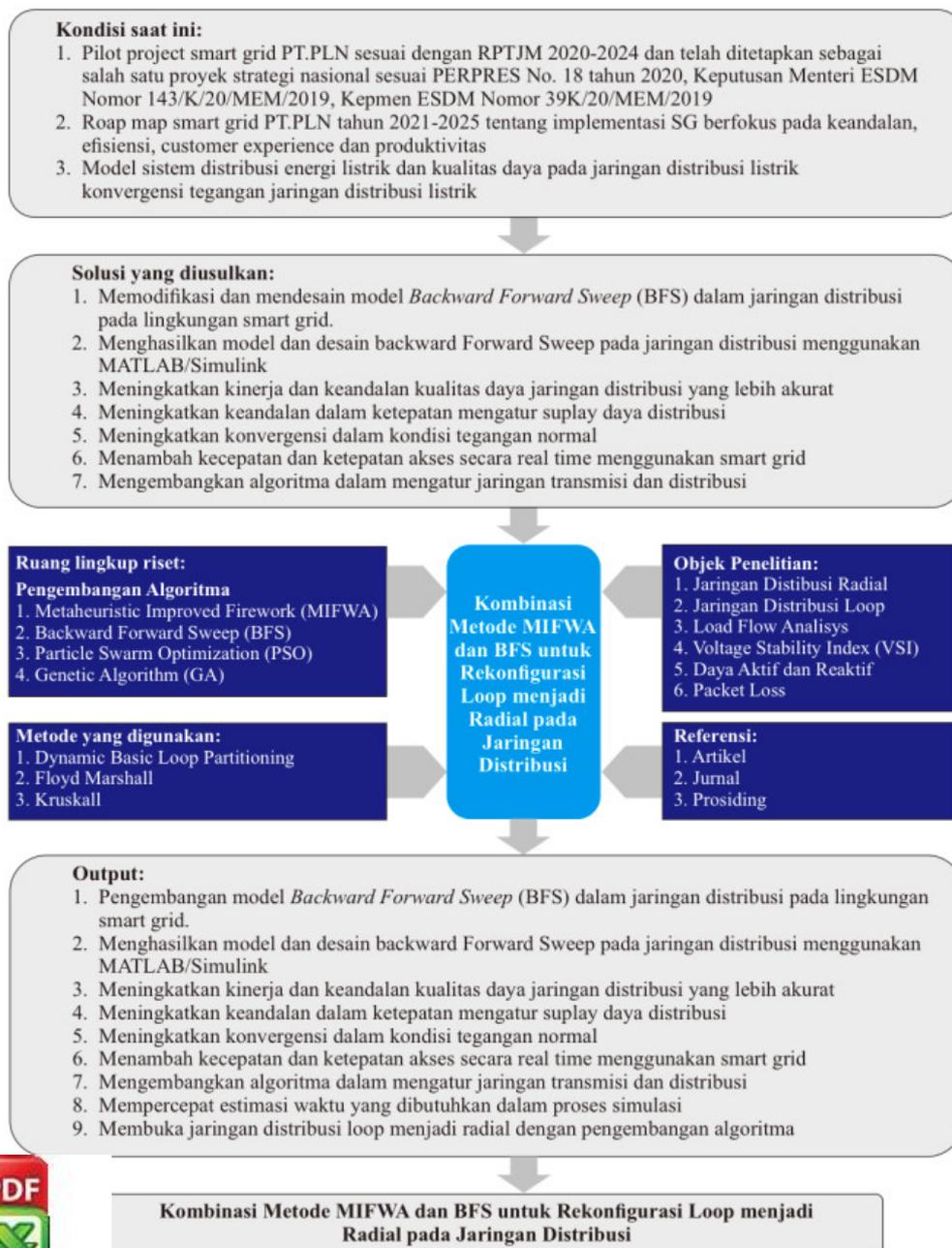


NO.	AUTHOR	TAHUN	JUDUL	MASALAH	METODE	ALGORITMA	HASIL
	Ellen Kalinga and Nerey Mvungi		for radial distribution systems				upaya komputasi dan total waktu eksekusi membuatnya sesuai untuk real- aplikasi waktu.
	Penelitian yang diusulkan SAHABUDDIN		Kombinasi Metode MIFWA dan BFS untuk Konfigurasi Loop menjadi Radial pada Jaringan Distribusi	Untuk menghasilkan aliran daya dengan konversi energi agar dapat mempermudah dalam mendeteksi beban daya listrik secara real time, Distribusi Jaringan Listrik dan Packet Loss Jaringan listrik	Backward Forward Sweep (BFS)	Komputasi Numerik MIFWA DBLP PSO GA	Analisis stabilitas tegangan interkoneksi Loop Distribution Network (LDN) berfokus pada konfigurasi loop tertutup untuk mengatasi Profil tegangan, mengontrol aliran daya dengan Konversi Energi Listrik dengan menggunakan aplikasi Smart Grid (SG) Digital Numeric Electrical



2.6 Kerangka Konsep Penelitian

Kerangka konsep penelitian dalam penulisan disertasi ini menggambarkan secara garis besar isi dan sistematika penulisan disertasi yang akan dilakukan sesuai dengan kerangka yang telah ditetapkan dengan tahapan-tahapan yang disusun sebagai berikut:



Gambar 6 Kerangka Konsep Penelitian



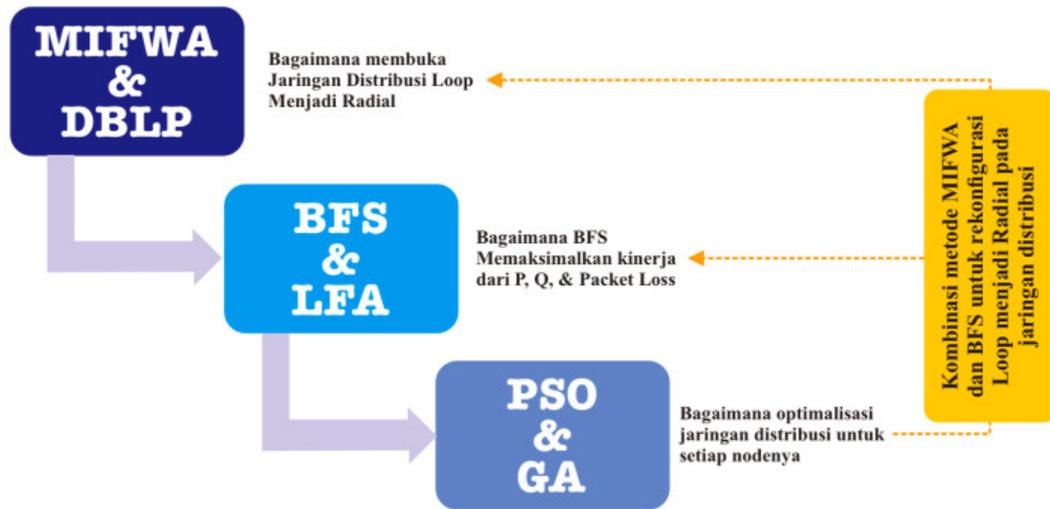
Dari gambar 6 di atas dapat dijelaskan bahwa penelitian ini didasari dari berbagai indikator permasalahan yang timbul dalam penggunaan metode BFS khususnya pada jaringan distribusi listrik apakah radial maupun Loop, ini tentunya mempunyai kesempatan besar dalam melakukan pengujian dengan merujuk pada kesalahan-kesalahan yang merupakan indikator utama yakni model sistem distribusi energi, distribusi daya aktif, kualitas daya pada jaringan distribusi, kehilangan daya, konvergensi tegangan jaringan distribusi dan aliran beban dan aliran daya, selain itu dalam mendukung sistem pengambilan keputusan yang basisnya informasi secara real time, peneliti juga mengidentifikasi indikator masalah dari *Smart Grid Electric* dengan mengedepankan masalah distribusi secara *real-time*, *Smart Network* dalam efisiensi energi, konsumsi daya listrik dan rekonfigurasi sistem jaringan distribusi.

Melihat dari keberagaman masalah yang timbul pada model BFS maka peneliti mengusulkan untuk penelitian jaringan distribusi loop sebagai tujuan utama dengan melakukan beberapa konversi energi, melaporkan secara *real-time* menggunakan aplikasi MATLAB/Simulink sebagai alat ukur kualitas pelayanan menggunakan QoS, ini semata-mata mewujudkan harapan atau jalan keluar dalam mengatasi seluruh masalah di atas, dengan harapan bahwa pengembangan model RDN ke LDN, kualitas daya yang akurat, ketepatan daya distribusi dan menormalkan konvergensi jaringan, kesemuanya disatukan dalam sebuah aplikasi yang bertujuan untuk kecepatan dan ketepatan akses secara *real-time* dengan melakukan komputasi numerik pada semua jaringan distribusi listrik.

2.7 Hipotesis Penelitian

Kerangka konsep penelitian dalam penulisan disertasi ini menggambarkan secara garis besar isi dan sistematika penulisan disertasi yang akan dilakukan sesuai dengan kerangka yang telah ditetapkan dengan tahapan-tahapan yang disusun berikut:





Gambar 7 Hipotesis Penelitian

Pada gambar 7 menggambarkan tentang hipotesis penelitian dengan hipotesa awal yakni bagaimana membuka jaringan distribusi loop yang tertutup menjadi terbuka dengan konsep komputasi numerik menggunakan algoritma MIFWA dan mempartisi beberapa node menggunakan model DBLP, setelah jaringan distribusi loop terbuka menjadi type radial maka dalam type radial ini dianalisis aliran beban untuk setiap node dengan menggunakan algoritma BFS dengan model LFA dalam menganalisis daya aktif, daya reaktif serta *packet lossnya*.



Gambar 8 Roadmap Penelitian Disertasi

