



Institut Teknologi Nasional Malang

SKRIPSI – ENERGI LISTRIK

**INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS)
DENGAN JARINGAN DSITRIBUSI UNTUK MEMPERBAIKI
PROFIL TEGANGAN DAN RUGI DAYA**

Daffa Aryudha Yuntardi
21.12.901

Dosen pembimbing
Prof. Dr. Eng. I Made Wartana, MT,
Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT,

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
2023



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

**SKRIPSI – ENERGI LISTRIK
INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA
(PLTS) DENGAN JARINGAN DSITRIBUSI UNTUK
MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN DAN RUGI DAYA**

Daffa Aryudha Yuntardi
21.12.901

Dosen pembimbing
Prof. Dr. Eng. I Made Wartana, MT,
Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT,

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DENGAN JARINGAN DSITRIBUSI UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN DAN RUGI DAYA

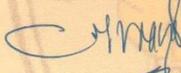
Skripsi

Daffa Aryudha Yuntardi
NIM 21.12.901

Diajukan Guna Memenuhi Sebagai Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Elektro S-1
Peminatan Energi Listrik
Institut Teknologi Nasional

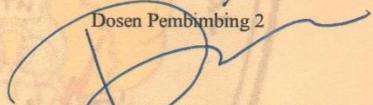
Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing 1



Prof. Dr. Eng. I Made Wartana, MT
NIP. 19610503 199202 1 001

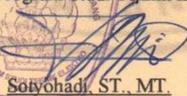
Dosen Pembimbing 2



Dr. Irrine Budi Suslistiawati, ST., MT
NIP. 1970615 200501 1 002

Mengetahui

Plt. Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1



Sotyo Hadi, ST., MT.
NIP. Y. 1039700309

Malang, Agustus 2023

INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DENGAN JARINGAN DSITRIBUSI UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN DAN RUGI DAYA

**Made Wartana, Irrine Budi Sulistiawati, Daffa Aryudha
Yuntardi
Daffa.aryudha.da@gmail.com**

ABSTRAK

Pemasangan PLTS adalah salah satu solusi untuk memperbaiki profil tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan solusi terbaik pemasangan PLTS dengan kapasitas yang optimal pada sistem distribusi terkait kapasitas dan posisi bus menggunakan metode optimasi FPA (Flower Pollination Algorithm). Metode FPA adalah metode optimasi yang meniru penyerbukan (polinasi) bunga. Tentunya bunga dengan penampilan terbaik yang terpolinasi. Sistem distribusi yang digunakan adalah sistem distribusi Cangkringmalang, Bangil. Dari penelitian ini penempatan serta kapasitas yang didapat adalah kW dan profil tegangan terendah 0,833 pu menjadi 0,950 pu, untuk posisi bus yang diintegrasikan adalah bus 8, 13, dan 19 dengan kapasitas berurutan 19327,40 kW, 1030,71 kW, dan 1814,22 kW. Dari hasil optimasi dapat disimpulkan bahwa memasang 3 PLTS mampu menurunkan rugi-rugi dan memperbaiki profil tegangan sistem distribusi Cangkringmalang.

Kata Kunci — FPA, PLTS, rugi-rugi daya, drop tegangan

INTEGRATION OF SOLAR POWER PLANTS (PVPS) WITH DISTRIBUTION NETWORKS TO IMPROVE VOLTAGE PROFILE AND POWER LOSSES

**Made Wartana, Irrine Budi Sulistiawati, Daffa Aryudha
Yuntardi
Daffa.aryudha.da@gmail.com**

ABSTRACT

The installation of PLTS is one of the solutions to improve the voltage profile and power losses in the distribution system. This research aims to find the best solution for installing PLTS with optimal capacity in the distribution system related to bus capacity and position using the FPA (Flower Pollination Algorithm) optimisation method. The FPA method is an optimisation method that mimics the pollination of flowers. Of course, the flower with the best appearance is pollinated. The distribution system used is the Cangkringmalang distribution system, Bangil. From this research, the placement and capacity obtained are kW and the lowest voltage profile of 0.833 pu to 0.950 pu, for the position of the integrated buses are buses 8, 13, and 19 with a sequential capacity of 19327.40 kW, 1030.71 kW, and 1814.22 kW from the optimisation results it can be concluded that the installation of 3 PLTS is able to reduce losses and improve the voltage profile on the Cangkringmalang distribution system.

Keywords — FPA, solar power plant, losses, voltage drop

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan akhir ini tepat pada waktunya. Penyusunan skripsi yang berjudul **“INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA LISTRIK(PLTS) DENGAN JARINGAN DISTRIBUSI UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN DAN RUGI DAYA”** dibuat untuk memenuhi persyaratan kelulusan program Sarjana S1 Institut Teknologi Nasional Malang pada program studi teknik energi listrik selama menempuh perkuliahan di Institut Teknologi Nasional Malang pada 2021-2023. Penulis menyampaikan ucapan terimakasih atas bimbingan dan dukungan semua pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST., MT., selaku Ketua program studi Teknik Elektro S1 ITN Malang.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. I Made Wartana, MT. dan Ibu Dr. Irine Budi Sulistiawati, ST, MT. selaku dosen pembimbing.
3. Bapak dan Ibu Dosen Elektro ITN Malang yang telah memberikan ilmu selama menempuh perkuliahan.
4. Orang tua dan keluarga yang selalu memberi dukungan semangat, dan doa untuk menyelesaikan skripsi ini.
5. Teman-teman angkatan 2019 yang memenuhi selama perkuliahan.
6. M. Alif Pratama yang telah memberikan dukungan dan tempat untuk berteduh sembari berkeluh kesah

Namun jika ada kekurangan dan kesalahan dalam penyusunan skripsi ini, penulis memohon saran dan kritikan yang membangun untuk menambah kesempurnaan skripsi ini sehingga dapat bermanfaat bagi rekan mahasiswa dan pembaca lainnya.

Malang, Juli 2023

(Daffa Aryudha Yuntardi)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan masalah.....	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Jaringan Distribusi	5
2.2.1 Sistem operasi jaringan distribusi.....	5
2.2.2 Jenis-jenis jaringan distribusi.....	6
2.2 Studi Aliran Daya	8
2.2.1 Jatuh tegangan	11
2.2.2 <i>Phasor</i>	13
2.4 <i>Backward and Forward Sweep</i>	18
2.4.1 Sistem Integrasi	20
2.5 <i>Flower Pollination Algorithm (FPA)</i>	20
2.5 PLTS on Grid.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Tahapan Pembuatan Simulasi	25
3.2 <i>Flow Chart</i>	26
BAB IV ANALISIS DAN HASIL.....	31
4.1 Data <i>IEEE 33 bus</i>	31
4.1.1 Hasil <i>load flow</i> pada kondisi existing ..	33
4.1.2 Optimasi integrasi PLTS dengan <i>FPA</i> .	34
4.2 Data sistem distribusi Cangkringmalang	
20kV	39

4.2.1 Hasil load flow kondisi existing	41
4.2.2 Optimasi integrasi PLTS.....	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Jaringan Distribusi Radial	6
Gambar 2. 2	Jaringan Distribusi TieLine	7
Gambar 2. 3	Jaringan Distribusi Loop	7
Gambar 2. 4	Jaringan Distribusi Spindel.....	8
Gambar 2. 5	Diagram garis tipe dari sistem tenaga listrik	9
Gambar 2. 6	Representasi rugi daya saluran	10
Gambar 2. 7	Representasi jatuh tegangan pada sistem.....	12
Gambar 2. 8	Representasi diagram phasor	13
Gambar 2. 9	Jenis-jenis panel surya.....	16
Gambar 2. 10	Inverter solar.....	17
Gambar 2. 11	Sistem Distribusi Radial	18
Gambar 2. 12	Cabang dan titik pada jaringan Distribusi	19
Gambar 3. 1	Flow Chart Metode Penelitian.....	26
Gambar 3. 2	Flow Chart optimasi metode FPA	28
Gambar4. 1	Single line diagram IEEE 33 bus.....	31
Gambar4. 2	Grafik profil tegangan IEEE 33 bus existing...34	
Gambar4. 3	Profil Tegangan tiap Case IEEE 33 bus	36
Gambar4. 4	Grafik konvergen IEEE 33 bus.....	36
Gambar4. 5	Grafik losses tiap case IEEE 33 bus	38
Gambar4. 6	Single line diagram P.Cangkringmalang	39
Gambar4. 7	Grafik profil tegangan P.Cangkringmalang bus existing	42
Gambar4. 8	Profil Tegangan tiap Case P.Cangkringmalang	43
Gambar4. 9	Grafik konvergen P.Cangkringmalang	44
Gambar4. 10	Grafik losses tiap case P.Cangkringmalang	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Istilah dalam Metode FPA.....	22
Tabel 4. 1	Data saluran IEEE 33 bus.....	31
Tabel 4. 2	Data beban IEEE 33 bus.....	32
Tabel 4. 3	Profil tegangan IEEE 33 bus existing.....	33
Tabel 4. 4	Profil tegangan IEEE 33 bus tiap case	34
Tabel 4. 5	Hasil optimasi dari data IEEE 33 bus.....	37
Tabel 4. 6	Perbandingan tegangan tiap case IEEE 33 bus.....	37
Tabel 4. 7	Data rata-rata beban puncak P.Cangkringmalang 18.00-21.00.....	39
Tabel 4. 8	Data saluran P.Cangkringmalang	40
Tabel 4. 9	Profil Tegangan P.Cangkringmalang existing.....	41
Tabel 4. 10	Profil Tegangan P.Cangkringmalang tiap case.....	42
Tabel 4. 11	Hasil Optimasi PLTS tiap case.....	44
Tabel 4. 12	Perbandingan tegangan tiap case P.Cangkringmalang.....	45

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan tenaga listrik dihitung dari besarnya aktivitas dan intensitas dari penggunaan listrik. Aktivitas penggunaan listrik ini berkaitan dengan bertambahnya jumlah penduduk. Saat penyaluran tenaga listrik ke konsumen yang sering kali terjadi kerugian berupa rugi daya dan jatuh tegangan karena meningkatnya konsumen dari tahun sebelumnya 1.089kWh perkapita menjadi 1.268kWh perkapita pada tahun 2022[1]. Pada sistem distribusi memiliki beberapa penyulang untuk menyalurkan energi ke konsumen, penyulang ini memiliki *feeder-feeder* yang dimana ada beberapa mengalami jatuh tegangan. Jatuh tegangan merupakan selisih antara tegangan ujung pengirim dengan ujung penerima. [2]Jatuh tegangan akan mengakibatkan rugi-rugi daya dan melanggar standart PLN yaitu jatuh tegangan yang diijinkan diperbolehkan antara 0,95-1,05pu atau $\pm 5\%$ [3].

Ada banyak upaya yang bisa dilakukan, salah satunya yaitu integrasi dengan PLTS yang terhubung ke jaringan listrik PLN (*on grid*) sehingga dapat membantu memperbaiki profil tegangan dan mengurangi rugi daya pada sistem [4]. PLTS dipilih karena energi yang dipilih cukup mudah ditemui begitu juga dengan cara kerjanya, penjelasan signkatnya PLTS menerima cahaya dari matahari dan diubah menjadi listrik searah DC kemudian diubah menjadi arus bolak balik (AC)[5]. Dalam integrasi PLTS ke sistem tentunya pemilihan lokasi integrasi dan kapasitas nya perlu di perhatikan[6].

Dalam proses penentuan lokasi dan kapasitas PLTS yang optimal harus mengidentifikasi pada sistem memiliki jatuh tegangan melebihi batas[7]. Cara mengidentifikasinya melalui studi aliran daya, yaitu penentuan dan perhitungan tegangan, arus, daya aktif, maupun daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik jaringan listrik pada keadaan normal[4]. Studi aliran daya yang digunakan nantinya adalah *Backward Forward Sweep (BFS)*[8], yaitu studi aliran daya digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan dari masing-masing bus, besarnya nilai arus dan daya yang mengalir pada sistem. Dan untuk

mempermudah dalam menganalisa dan pemantauan suatu sistem[9]. Perlu diketahui untuk metode *BFS* menggunakan jaringan radial yang mana bentuk Jaringan ini merupakan bentuk dasar, paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang-cabang ke titik-titik beban yang dilayani[9].

Hasil dari studi aliran daya suatu sistem digunakan untuk mengevaluasi aliran daya optimasi menggunakan metode optimasi *FPA (Flower Pollination Algorithm)* untuk menentukan lokasi penempatan dan kapasitas PLTS untuk mendapatkan rugi daya yang paling optimum. *FPA* adalah algoritma yang terinspirasi tumbuhan berbunga. Pada tahun 2012, Xin-She Yang memberikan gagasan tentang lokalisasi ini. Bunga digunakan untuk reproduksi pada spesiesnya melalui proses penyerbukan[10]. Oleh karena itu penelitian ini akan dilakukan menggunakan model sistem distribusi Penyulang Cangkringmalang, Bangil dan menggunakan metode *Flower Pollination Algorithm (FPA)* dengan kondisi beban puncak pada jam 18.00-21.00.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara menentukan penempatan PLTS dan kapasitas PLTS pada sistem distribusi Penyulang Cangkringmalang, Bangil menggunakan metode *FPA*?
2. Bagaimana pengaruh rugi-rugi daya dan jatuh tegangan setelah dilakukannya integrasi dengan PLTS?

1.3 Tujuan

1. Menentukan penempatan PLTS dan kapasitas PLTS dengan sistem distribusi Cangkringmalang menggunakan metode *FPA*
2. Memperbaiki rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada kondisi beban puncak

1.4 Batasan masalah

1. Sistem distribusi yang digunakan adalah sistem distribusi Cangkringmalang, Bangil.
2. PLTS yang akan diintegrasikan sebanyak 3 dan kapasitas maksimal tiap PLTS yaitu 5 MW dengan PF 100%
3. Profil tegangan yang dikehendakinya yaitu 0,95 pu – 1,05

- pu
4. Metode aliran daya yang digunakan adalah *Backward Forward sweep (BFS)*
 5. Metode optimasi yang digunakan adalah *Flower Pollination Algoritm (FPA)*
 6. Optimasi dilakukan dengan kondisi beban puncak 18.00-21.00
 7. Pada penelitian ini tidak memperhatikan aspek ekonomi dari pemasangan pembangkit
 8. Diasumsikan pada semua bus beban adalah kandidat yang bisa integrasikan PLTS

1.5 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat pembuatan alat, batasan masalah, dan sistematika penulisan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dibahas dasar teori-teori yang mendukung tentang Studi aliran daya (*backward forward sweep*), jaringan distribusi, PLTS *on-grid*, metode FPA.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini dibahas mengenai langkah-langkah penelitian optimasi dari sistem distribusi

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil dan simulasi optimasi penempatan bus PLTS dan kapasitas PLTS dari jaringan distribusi berupa grafik dan nilai konvergen dari optimasi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dari jaringan distribusi tersebut, serta saran-saran guna menyempurnakan dan mengembangkan sistem lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jaringan Distribusi

Sistem distribusi listrik adalah bagian dari infrastruktur ketenagalistrikan yang paling dekat dengan akhir pengguna atau beban listrik. Sistem distribusi ini merupakan kelanjutan dari jaringan transmisi, di mana tegangan tinggi digunakan dalam jaringan transmisi, biasanya berkisar antara 500 kV hingga 150 kV. Tegangan tersebut kemudian menurun menjadi sekitar 20 kV dalam apa yang sering disebut sebagai sistem distribusi primer, yang memungkinkan pengguna, terutama di sektor industri, untuk mengakses pasokan daya listrik yang besar.

Perluasan jaringan distribusi primer adalah jaringan sekunder yang level tegangannya 380V dan 220V. Untuk jaringan distribusi sekunder, listrik dialirkan ke rumah konsumen untuk mengisi daya perangkat elektronik atau ruang publik[6].

2.2.1 Sistem operasi jaringan distribusi

Merupakan bagian dari sistem tenaga listrik keseluruhan dengan penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Pada umumnya sistem tenaga listrik terdapat beberapa bagian :

1. Gardu Induk (GI)
2. Jaringan Tegangan Menengah (TM) / Distribusi Primer
3. Gardu Distribusi (GD)
4. Jaringan Tegangan Rendah (TR) / Distribusi Sekunder

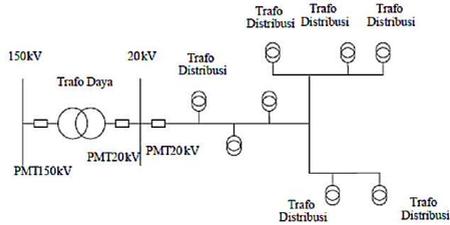
Dari jaringan transmisi menyalurkan tenaga listrik ke G.I kemudian menyalurkannya melalui jaringan distribusi primer menuju gardu distribusi.

Sistem jaringan distribusi terdapat dua bagian meliputi jaringan primer dan sekunder. Jaringan distribusi primer memiliki tegangan sebesar 20 kV. Untuk Jaringan distribusi sekunder biasanya digunakan pada kawasan rumah tangga dengan tegangan dr 20 kV diturunkan ke tegangan rendah (220/380 volt) untuk selanjutnya disalurkan kepada konsumen.

2.2.2 Jenis-jenis jaringan distribusi

A. Jaringan Radial

Sistem distribusi radial yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini merupakan sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Sistem ini memiliki beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu jaringan distribusi dalam konfigurasi radial.

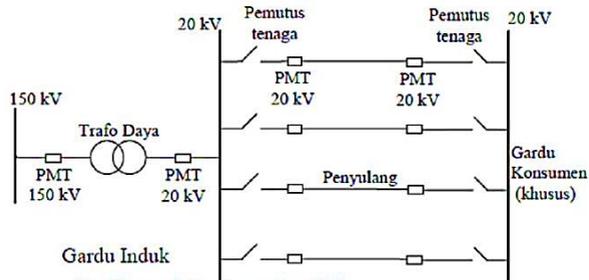


Gambar 2. 1 Jaringan Distribusi Radial

Pada penyulang ini dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat trafo untuk konsumen dipasang. Keuntungan dari sistem ini adalah tidak rumit dan lebih murah dibandingkan sistem lainnya. Kerugian lainnya adalah kualitas tegangan yang kurang baik pada gardu paling ujung karena penurunan tegangan terbesar terjadi pada ujung saluran.

B. Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

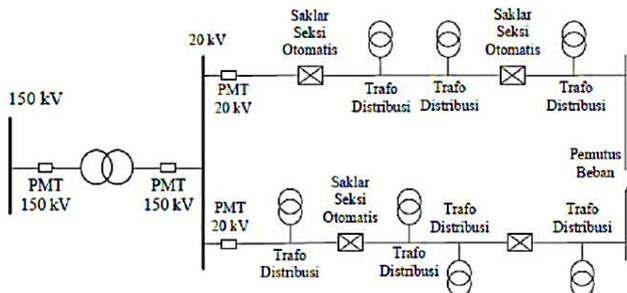
Sistem distribusi *Tie Line* seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini digunakan untuk pelanggan prioritas yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lainlain). Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch*.



Gambar 2. 2Jaringan Distribusi TieLine

C. Jaringan Lingkaran (*Loop*)

Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (*Loop*) seperti Gambar di bawa ini dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian

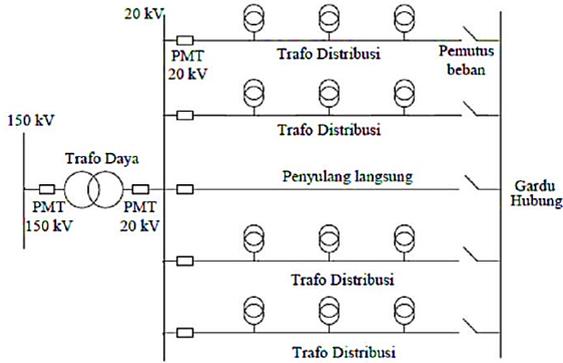


Gambar 2. 3 Jaringan Distribusi Loop

D. Jaringan Spindel

Sistem Spindel ditunjukkan pada Gambar di bawah ini adalah gabungan jaringan dari pola Radial dan Ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang tegangannya

diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH).



Gambar 2. 4 Jaringan Distribusi Spindel

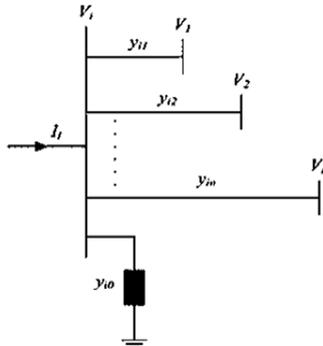
Polanya, Spindel sering digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah atau saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Meskipun Spindel digunakan, dalam operasinya, sistem ini berperan sebagai sistem Radial. Dalam satu penyalang aktif ada gardu distribusi yang berperan dalam menyebarkan tegangan ke konsumen, termasuk konsumen dengan tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM).

2.2 Studi Aliran Daya

Power Flow Analysis/Load Flow Analysis atau studi aliran daya adalah cara untuk mendapatkan nilai dari beberapa variabel. Besar tegangan V dan fasa tegangan δ digunakan untuk mendapatkan aliran daya. Hasil dari perhitungan ini digunakan untuk menghitung besar aliran daya aktif P dan daya reaktif Q di setiap peralatan listrik, besarnya daya aktif P dan daya reaktif Q yang harus dibangkitkan setiap pusat pembangkit serta jumlah rugi-rugi di sistem[11].

Pada setiap bus G.I. terdapat 4 variabel terkait yaitu, daya aktif P , daya reaktif Q , sudut fasa δ , dan tegangan V . Supaya aliran daya dapat dihitung maka harus diketahui 2 (dua) variabel dari 4 (empat)[11]. Tiap G.I. dalam sistem tenaga dikelompokkan menjadi 3 tipe yaitu :

1. Bus Beban : Variabel yang diketahui adalah daya aktif P dan daya reaktif Q. Kemudian hasil perhitung adalah sudut fasa δ dan tegangan V.
2. Bus Pembangkit : variabel yang diketahui adalah daya aktif P dan tegangan V. Kemudian hasil perhitung adalah daya reaktif Q dan sudut fasa δ .
3. Bus Penyangga (slack) ; variabel yang diketahui sudut fasa δ dan tegangan V. Kemudian hasil perhitung adalah daya aktif P dan daya reaktif Q.



Gambar 2. 5 Diagram garis tipe dari sistem tenaga listrik

Arus pada G.I. i adalah :

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=i}^n y_{ij} V_j \text{ dimana } j \neq i \quad (2.1)$$

Persamaan daya pada bus ke I adalah :

$$P_i + jQ_i = V_i I_i I_i^* \quad (2.2)$$

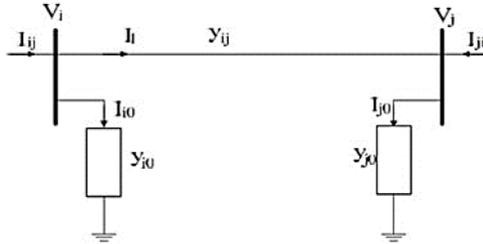
Atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.3)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.1) ke persamaan (2.3)

diperoleh :

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=i}^n y_{ij} V_j \text{ dimana } j \neq i \quad (2.4)$$



Gambar 2. 6 Representasi rugi daya saluran

Bus Y merupakan matriks persegi yang dimensinya sama dengan jumlah bus. Matriks ini simetris sepanjang diagonalnya.

$$Y = \begin{bmatrix} Y_{11} & \dots & Y_{1N} \\ \dots & \dots & \dots \\ Y_{N1} & \dots & Y_{nm} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Nilai elemen diagonal (Y_{ii}) sama dengan jumlah masukan yang terhubung ke bus. Elemen di luar diagonal (Y_{ij}) sama dengan negatif masukan yang menghubungkan kedua bus i dan j . Perlu dicatat bahwa dengan sistem yang besar, Y -bus adalah matriks yang jarang.

Dari gambar 2.5 dinyatakan bahwa arus yang mengalir dari i ke j adalah :

$$I_i = I_l + I_{i0} = y_i(V_i - y_j) + y_{i0}V_j \quad (2.6)$$

Begitu pula sebaliknya arus mengalir dari j ke i dapat dinyatakan dengan :

$$I_j = -I_l + I_{j0} = y_j(V_j - y_i) + y_{j0}V_i \quad (2.7)$$

Daya semu S_i dari bus i ke j dan dari S_j bus j ke i yang terjadi pada konduktor adalah :

$$S_i = V_i I_{i*} \quad (2.8)$$

$$S_j = V_j I_{j*} \quad (2.9)$$

Rugi-rugi daya yang terjadi dari bus i ke j secara rumus dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_{Li} = S_i + S_j \quad (2.10)$$

Dengan begitu untuk menghitung nilai rugi-rugi secara keseluruhan dari jaringan dapat dihitung dengan menjumlahkan seluruh rugi-rugi yang diperoleh pada setiap saluran [12].

$$S_L = \sum_{j=i+1}^n S_j; (i \neq j) \quad (2.11)$$

2.2.1 Jatuh tegangan

Jatuh tegangan (voltage drop) adalah penurunan tegangan yang terjadi dalam sistem listrik saat aliran listrik melewati konduktor, peralatan, atau elemen-elemen dalam sistem. Ini adalah hasil dari hambatan dalam konduktor, jarak yang ditempuh oleh arus listrik, dan karakteristik peralatan atau elemen lain dalam sirkuit.[12]. Penurunan tegangan bisa menjadi perhatian penting dalam perencanaan dan operasi sistem listrik, terutama ketika tegangan yang stabil diperlukan untuk peralatan yang sensitif.

Berikut adalah beberapa faktor yang mempengaruhi jatuh tegangan dalam sistem listrik:

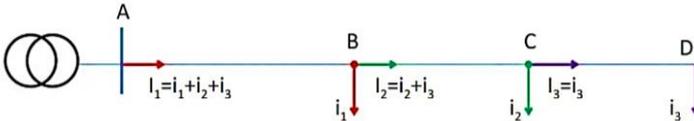
1. Hambatan Konduktor : Semakin panjang konduktor (kabel atau saluran listrik), semakin besar hambatan yang akan dihadapi arus listrik. Hambatan ini menyebabkan penurunan tegangan yang lebih besar sepanjang konduktor.
2. Arus Listrik : Semakin besar arus listrik yang mengalir melalui konduktor, semakin besar pula jatuh tegangan yang terjadi. Ini dinyatakan oleh Hukum Ohm, $V = I * R$, di mana V adalah tegangan, I adalah arus, dan R adalah hambatan.
3. Panjang Konduktor : Semakin panjang konduktor, semakin besar penurunan tegangan yang terjadi. Ini berlaku terutama untuk sistem distribusi listrik yang melibatkan jarak yang cukup jauh.
4. Ukuran Konduktor : Menggunakan konduktor dengan penampang lebih kecil (diameter lebih kecil) akan menyebabkan jatuh tegangan yang lebih besar karena hambatan konduktor akan lebih besar.
5. Beban Listrik : Semakin besar beban listrik yang terhubung ke sirkuit, semakin besar pula jatuh tegangan yang terjadi.
6. Kualitas Kontak dan Konektor : Kualitas konektor dan kontak

yang buruk di dalam sirkuit dapat menyebabkan penurunan tegangan yang signifikan.

7. Frekuensi dan Harmonisa : Dalam sistem yang melibatkan harmonisa (komponen frekuensi non-sinusoidal), penurunan tegangan tambahan dapat terjadi.

Penting untuk menghitung dan memantau jatuh tegangan dalam sistem listrik, terutama untuk memastikan bahwa peralatan sensitif menerima tegangan yang memadai. Ini juga dapat mempengaruhi keandalan sistem dan efisiensi energi.

Dalam perencanaan sistem, insinyur listrik menggunakan perangkat perhitungan khusus untuk memodelkan dan memprediksi jatuh tegangan, sehingga dapat diambil tindakan yang tepat untuk menguranginya, seperti pemilihan konduktor yang sesuai, transformator dengan tapan tegangan yang benar, dan penggunaan peralatan kompensasi.



Gambar 2. 7 Representasi jatuh tegangan pada sistem

$$\text{Jatuh tegangan antara } A - B = (\Delta V_{AB}) = I_1 x I_1 (r_1 \cos \phi_A + x_1 \sin \phi_A) \quad (2.12)$$

$$\text{Jatuh tegangan antara } B - C = (\Delta V_{BC}) = I_2 x I_2 (r_2 \cos \phi_B + x_2 \sin \phi_B) \quad (2.13)$$

$$\text{Jatuh tegangan antara } C - D = (\Delta V_{CD}) = I_3 x I_3 (r_3 \cos \phi_C + x_3 \sin \phi_C) \quad (2.14)$$

Keterangan:

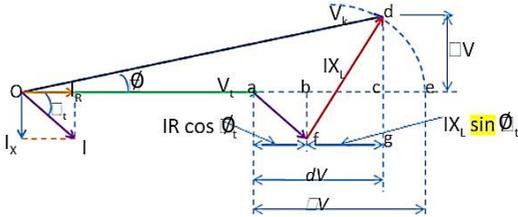
ΔV = Jatuh tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir (Amper)

R = Tahanan saluran (Ohm)

X = Reaktansi (Ohm)

2.2.2 Phasor



Gambar 2. 8 Representasi diagram phasor

Phasor tegangan dan arus adalah vektor kompleks dengan magnitudo (amplitudo) dan sudut fase yang sesuai. Phasor tegangan menggambarkan tegangan pada masing-masing fase (fase A, fase B, dan fase C) dalam sistem tiga fasa,

$$V^* = Vm \angle \phi \text{ dan } I^* = Im \angle -\theta \tag{2.15}$$

2.2.3 Tegangan ke pu (per-unit)

Mengubah tegangan ke satuan per-unit (pu) adalah langkah umum dalam analisis sistem tenaga listrik untuk menyederhanakan perbandingan antara nilai tegangan pada berbagai titik dalam sistem.

Satuan per-unit (pu) adalah cara untuk menyatakan besaran dalam bentuk persentase atau fraksi dari nilai referensi, biasanya tegangan atau arus basis. Ini digunakan untuk memudahkan perbandingan dan analisis sistem yang berbeda dalam sistem tenaga listrik.

Untuk mengubah tegangan ke satuan per-unit (pu), langkah-langkah berikut ini dapat diikuti:

1. Tentukan Tegangan Basis (V_{base}):
Pilih nilai tegangan basis (V_{base}) yang akan digunakan sebagai dasar per-unit. Nilai ini biasanya dipilih berdasarkan karakteristik sistem yang sedang dianalisis. Contoh: jika Anda menganalisis sistem distribusi, mungkin Anda akan memilih tegangan basis sebesar 12 kV atau 24 kV.

2. Hitung Nilai Tegangan dalam Satuan Per-Unit (pu):

Untuk mengubah nilai tegangan V ke satuan per-unit, gunakan rumus berikut:

$$V_{pu} = \frac{V}{V_{base}} \quad (2.16)$$

3. Gunakan Nilai Tegangan dalam Satuan Per-Unit (pu) dalam Analisis:

Setelah Anda menghitung nilai tegangan dalam satuan per-unit, Anda dapat menggunakannya dalam analisis sistem tenaga listrik. Ini akan memudahkan perbandingan antara nilai tegangan pada berbagai titik dalam sistem, terutama saat membandingkan antara elemen-elemen yang berbeda dalam sistem.

Penting untuk memilih nilai tegangan basis yang sesuai dengan karakteristik sistem yang Anda analisis, agar per-unit values-nya memberikan gambaran yang baik tentang hubungan antara berbagai elemen dalam sistem.

2.3 PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

PLTS adalah singkatan dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Ini adalah sistem yang menggunakan energi matahari untuk menghasilkan listrik. PLTS biasanya terdiri dari panel surya (atau sel surya) yang mengumpulkan energi matahari dan mengubahnya menjadi listrik yang dapat digunakan untuk memberi daya pada rumah, bisnis, atau fasilitas lainnya.

PLTS merupakan sumber energi ramah lingkungan dan dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil yang terbatas. Hal ini juga membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan dampak negatif lainnya terhadap lingkungan. PLTS telah menjadi salah satu pilihan paling populer ketika beralih ke sumber energi yang lebih berkelanjutan.

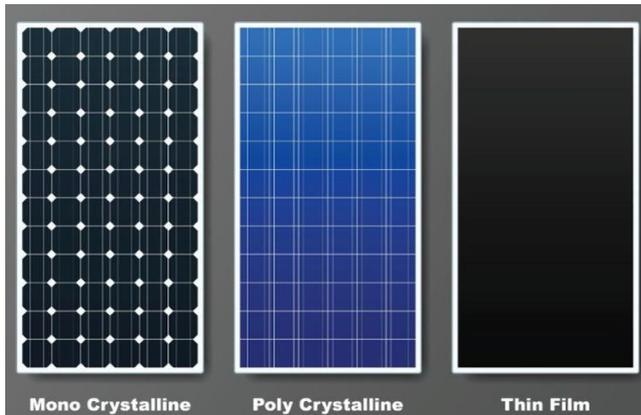
Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) mengubah energi matahari menjadi listrik melalui proses yang disebut efek fotovoltaik. Berikut langkah umum cara PLTS mengubah energi matahari menjadi listrik:

1. Penangkapan Sinar Matahari: Panel surya PLTS terdiri dari banyak sel surya, biasanya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Ketika sinar matahari menyinari panel surya, foton dari sinar matahari menumbuk atom-atom sel surya, menciptakan elektron yang bergerak.
2. Pemisahan elektron: Ketika foton menumbuk atom dalam sel surya, elektron dalam atom tersebut dapat terlepas dari atom. Proses ini menciptakan pasangan lubang elektron.
3. Aliran elektron: Elektron yang dilepaskan dari atom bergabung dengan aliran elektron yang melewati sel surya. Inilah saatnya energi sinar matahari diubah menjadi energi listrik.
4. Aliran elektron ke dalam kabel: Aliran elektron yang dihasilkan sel surya mengalir melalui kabel dan menggerakkan perangkat elektronik seperti inverter.
5. Pemanfaatan atau Penyimpanan: Arus listrik yang dihasilkan PLTS dapat digunakan langsung untuk mengoperasikan peralatan listrik atau dialirkan ke sistem penyimpanan energi seperti baterai. Dengan baterai, energi yang dihasilkan PLTS dapat disimpan dan digunakan saat matahari tidak bersinar.
6. Inverter: Dalam sistem fotovoltaik, inverter digunakan untuk mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan panel surya menjadi arus bolak-balik (AC), yang biasa digunakan di rumah dan area komersial.
7. Distribusi dan Penggunaan: Listrik yang dihasilkan oleh energi matahari dapat didistribusikan melalui switchboard rumah atau komersial dan digunakan sebagai sumber listrik untuk berbagai perangkat dan sistem elektronik.

Jenis Panel surya

Panel Surya berfungsi untuk menangkap sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik melalui proses fotoelektrik, listrik yang dihasilkan yaitu arus DC atau searah.

Panel surya memiliki bentuk, jenis dan kemampuan yang berbeda,



Gambar 2. 9 Jenis-jenis panel surya

berikut beberapa jenis panel surya:

a. Monocrystalline (Kristal Tunggal)

Modul surya Monocrystalline merupakan jenis modul dengan efisiensi yang cukup tinggi, sekitar 16 hingga 17%. Monocrystalline terbuat dari batangan kristal silikon murni yang diiris tipis sebagai bahan baku utama pembuatan sel surya.

Secara fisik, panel ini berwarna hitam gelap dengan potongan di setiap sudutnya. Kelemahan modul jenis ini adalah tidak dapat berfungsi dengan baik jika sinar matahari (teduh) tidak mencukupi dan efisiensinya akan menurun tajam.

b. Bahan polycrystalline (Multi Kristal)

Hal ini tercipta karena harga jenis ini cenderung lebih murah dibandingkan kristal tunggal. Polikristalin terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dicairkan lalu dituangkan ke dalam cetakan persegi.

Keaslian silikon kristal tidak seasli sel surya monokristalin. Efisiensi modul jenis ini lebih rendah dibandingkan jenis kristal tunggal, yaitu mencapai 12-14%. Polikristalin dapat menghasilkan listrik meskipun cahaya

matahari kurang (mendung). *Thin Film Fotovoltaik* Berbeda dengan *Monocrystalline* dan *Polycrystalline*, *Thin film Fotovoltaik* merupakan panel surya dengan struktur lapisan yang tipis.

Inverter



Gambar 2. 10 Inverter solar

Cara kerja inverter pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) secara ringkas adalah sebagai berikut:

1. Inverter menerima listrik searah (DC) dari panel surya.
2. Inverter mengubah listrik DC menjadi listrik bolak-balik (AC), yang sesuai dengan kebutuhan rumah tangga atau jaringan listrik.
3. Inverter memastikan sinkronisasi dengan frekuensi dan fase jaringan listrik umum, jika terhubung ke jaringan.
4. Inverter memantau kondisi cuaca dan intensitas cahaya matahari untuk mengoptimalkan produksi listrik.
5. Inverter memiliki fitur keamanan untuk mendeteksi gangguan dan melindungi sistem PLTS.

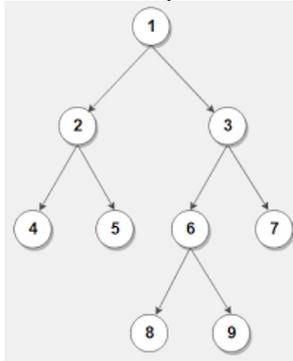
Ini merupakan cara yang umum dilakukan PLTS untuk mengubah energi matahari menjadi listrik. Proses ini mengikuti prinsip dasar fenomena fotovoltaiik, yang berarti konversi langsung energi matahari menjadi listrik tanpa emisi atau gas

rumah kaca.

2.4 *Backward and Forward Sweep*

Backward and Forward Sweep adalah metode yang aliran daya yang digunakan khusus aliran daya pada sistem distribusi radial. [13]. Metode ini adalah penegmbangan dari metode *Newton Raphson* pada sistem distribusi radial metode tersebut memakan waktu yang lama. Dari penelitian yang telah dilakukan menyatakan bahwa metode *BFS* ini metode yang paling disukai untuk jaringan distribusi radial. Beban komputasi lebih sedikit dan kemampuan konvergensinya lebih baik dibandingkan NR Karena perhitungan yang rumit seperti inversi matriks Jacobian dan masalah singularitas ketika transformator dimasukkan dalam metode NR, maka disimpulkan bahwa metode sapuan maju/balik adalah metode yang paling sesuai untuk sistem distribusi radial[14].

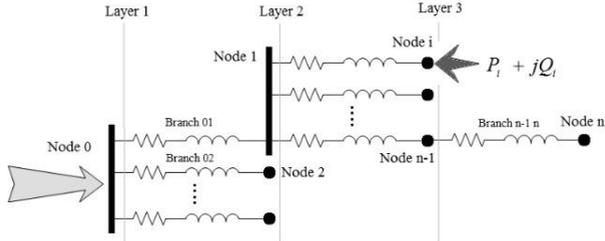
Contoh sistem distribusi radial dapat dilihat.



Gambar 2. 11 Sistem Distribusi Radial

Secara sederhana, sistem distribusi radial adalah sistem di mana listrik mengalir dari satu sumber utama (biasanya gardu induk) ke titik-titik distribusi dengan jalur tunggal yang menjauh dari sumber tersebut, dan kemudian bercabang untuk memasok ke berbagai beban. Sistem distribusi ini tidak melibatkan sirkuit berulang (loop).[15].

Dapat dilihat pada Gambar 2.6 yang menggambarkan cabang dan titik pada jaringan distribusi.



Gambar 2. 12 Cabang dan titik pada jaringan Distribusi

$$S = \begin{bmatrix} \overline{S_1} \\ \dots \\ \overline{S_i} \\ \dots \\ \overline{S_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 + jQ_1 \\ \dots \\ P_i + jQ_i \\ \dots \\ P_n + jQ_n \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Dimana daya aktif dan reaktif nodal bersih diberikan oleh daya yang dihasilkan dan diminta:

$$P_i = PG_i - PD_i \quad (2.18)$$

$$Q_i = QG_i - QD_i \quad (2.19)$$

Metode aliran daya BFS mencari arus dengan cabang-cabang yang dituju (*backward sweep*) dengan menggunakan rumus (*Kirchoff Current Laws*) KCL dengan rumus[15]:

$$J^k = -T \cdot I^k \quad (2.20)$$

Dari elemen diatas dapat dikalkulasikan sebagai fungsi injeksi \overline{S}_i ,

$$\overline{I}_i^k = \frac{\overline{S}_i^*}{\overline{V}_i^k}, i = 1, \dots, n \quad (2.21)$$

Lalu akan menghitung tegangan magnitude dan sudut fasa pada setiap bus dimulai dari titik sumber menuju bus terakhir (*forward sweep*)[13]:

$$V^{k+1} = V_0 - T^T \cdot D_Z \cdot J^k \quad (2.22)$$

di mana V_0 adalah vektor elemen-n dengan semua entri diatur pada tegangan pada titik asal (swing node) V_0 dan impedansi cabang D adalah matriks diagonal dari vektor Z [15]:

$$V^{k+1} = V_0 + T^T \cdot D_Z \cdot T \cdot I^k \quad (2.23)$$

Keterangan :

DZ	Diagonal matrix of branch impedance vector Z
R	Diagonal matrix of branch resistance vector $\Re Z$
X	Diagonal matrix of branch reactance vector $\text{Im}Z$
ε	Convergence criteria
I	Current vector
J	Branch Current vector
Jn	Number of nodes, excluding origin
P	Active Power Injected vector
Q	Reactive Power Injected vector
P_j	Active Power Injected at node j
Q_j	Reactive Power Injected at node j
PD_j	Active Power Demanded at node j
QD_j	Reactive Power Demanded at node j
PG_j	Active Power Generated at node j
QG_j	Reactive Power Generated at node j
R_{ij}	Resistance between node i and node j
SD_j	Apparent Power Demanded at node j
T	Transpose Matrix
D	Diagonal Matrix
i	Associated to node i
j	Associated to node j
k	Associated to iteration k

2.4.1 Sistem Integrasi

Sistem integrasi adalah rangkaian perpaduan yang meliputi pembangkit tenaga listrik, jaringan distribusi, energi terbarukan (angin, air, surya, biomassa). Sistem ini biasanya dikenal dengan sistem interkoneksi. Sistem ini bertujuan menciptakan sistem energi yang berkelanjutan, hemat energi, dan ramah lingkungan dengan mengelola beban secara cerdas.

2.5 Flower Pollination Algorithm (FPA)

Metode optimasi FPA adalah pendekatan yang mengadopsi konsep penyerbukan bunga sebagai inspirasi. Proses inti dalam analogi ini adalah bagaimana serbuk sari bunga mencapai kepala putiknya, dan banyak faktor memengaruhi bagaimana serbuk sari ini jatuh, seperti pengaruh angin, bantuan dari serangga, atau bahkan burung. Polinator adalah elemen yang membantu dalam menggalakkan proses penyerbukan ini. Dalam

konteks metode FPA ini, yang terpilih adalah "bunga" yang memiliki karakteristik terbaik atau penampilan terbaik, sesuai dengan pernyataan di atas. Metode FPA diimplementasikan berdasarkan konsep ini. x[10].

Metode FPA mengikuti dua tahap utama, yaitu penyerbukan lokal dan penyerbukan global. Penyerbukan lokal adalah ketika serbuk sari jatuh pada putik yang sama, dipengaruhi oleh faktor non-biotik seperti angin dan hujan. Sementara itu, penyerbukan global melibatkan polinator seperti serangga yang menggunakan pola pergerakan yang unik, yaitu "*levy flight*," sehingga serbuk sari bisa menyebar ke permukaan putik yang berbeda[8]. Dalam penyerbukan global, serbuk sari bisa dibawa oleh polinator untuk mencari solusi terbaik, yang biasanya diwakili oleh parameter "*fitness*" g^* . Hubungan antara dua tahap ini mungkin dijelaskan dengan rumus matematis yang relevan. (2.22).

$$x_i^{t+1} = x_i^t + L(g, -x_i^t) \quad (2.24)$$

Dimana :

x_i^t = serbuk sari i atau solusi vektor x_i pada iterasi ke t
 L = persamaan jarak terbang serangga (polinator)

L pada persamaan (2.23) biasa disebut dengan fungsi *Levy*. Penyerbukan bersumber dari parameter L . Fungsi *Levy* dapat dinyatakan dengan persamaan (2.23).

$$L \sim \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin\left(\frac{\pi\lambda}{2}\right)}{\pi} \cdot \frac{1}{\delta^{1+\lambda}}, (\delta \gg \delta_0 > 0) \quad (2.25)$$

$\Gamma(\lambda)$ merupakan fungsi gamma, dan pada persamaan bernilai valid saat $\delta > 0$, pada teorinya nilai $\delta_0 = 0,1$.

Jika nilai yang dipilih lebih kecil dari probabilitas peralihan P , maka jenis penyerbukan yang terjadi adalah lokal. Hal ini mengurangi jumlah wilayah untuk mengurangi waktu eksploitasi ditunjukkan oleh rumus berikut :

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \epsilon (x_j^t - x_k^t) \quad (2.26)$$

Secara mudahnya diasumsikan tiap tumbuhan memiliki satu bunga dan hanya bunga tersebut hanya produksi satu serbuk sari, dapat disimpulkan sebuah solusi x_i sebanding dengan jumlah bunga[8]. Pada Tabel 2.1 terlampir istilah dalam metode optimasi FPA [11].

Tabel 2. Istilah dalam Metode FPA

Istilah	Metode FPA
Fenomena Penyerbukan	Permasalahan Optimasi
Populasi Bunga	Data Bus dan Saluran
Tingkat Kecocokan Bunga	Fungsi Objektif DG
Usaha Penyerbukan	Iterasi
Polinator	Solusi yang dilakukan pada setiap iterasi
Kemungkinan Terjadinya Polinasi Global atau Lokal	<i>Probability Switch</i>
Banyaknya Solusi yang ingin Didapatkan	Dimensi

Menentukan optimasi untuk unit PLTS dinyatakan dengan persamaan berikut:

Obj.function harus memenuhi dari berbagai kendala jaringan distribusi :

1.1. *Power loss minimization*

$$\min f_1(X) = \sum_{k=1}^{nb} |I_k|^2 R_k \quad (2.27)$$

Dimana R_k adalah hambatan, I_k adalah besar arus, k adalah cabang, dan nb adalah total nomor dari cabang

1.2. *Power balance*

$$P_{slack} + \sum_{k=1}^{N_{SDG}} P_{SDG,k} = \sum_{k=1}^{N_L} P_{DG} + \sum_{k=1}^{nb} P_{LOSS}(k) \quad (2.28)$$

Terdapat kekangan untuk bus yang bisa diintegrasikan dan kapasitas maksimum dan minimum pada PLTS yaitu terlampir pada persamaan (2.27) dan (2.28).

$$2 \geq x_{bus} \geq 20 \quad (2.29)$$

$$1 \geq x_{kapasitas} \geq 5000 \quad (2.30)$$

Dimana :

x_{bus} = solusi pada bus

$x_{kapasitas}$ = solusi kapasitas DG

Sesuai persamaan untuk mencari profil tegangan pada sistem distribusi GI Cangkringmalang, diberikan batasan pada persamaan (2.4.7) agar solusi x_{bus} dan $x_{kapasitas}$ memenuhi tujuan penelitian yaitu mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan pada sistem[6].

$$V_{min} \geq V_{bus} \geq V_{max} \quad (2.31)$$

Dimana :

$$V_{min} = 0.95 pu$$

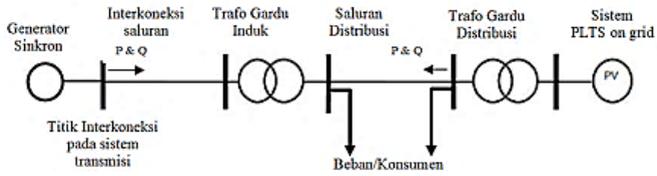
$$V_{max} = 1.05 pu$$

Untuk Aliran daya optimal harus memenuhi batasan batasan yang telah ditentukan untuk mendapatkan solusi V_{bus} dan $V_{kapasitas}$ pada metode optimasi FPA.

2.5 PLTS on Grid

PLTS on-grid merupakan model pembangkitan yang terhubung langsung dengan jaringan distribusi sisi pelanggan.[16] PLTS yang terhubung ke jaringan listrik yang sudah ada dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan kapasitasnya, termasuk skala kecil (5 kW - 100 kW), skala menengah (100 kW - 500 kW), dan skala besar (500 kW - 10 MW) [17].

Panel surya menghasilkan listrik DC yang kemudian diubah menjadi listrik AC melalui perangkat yang disebut inverter. Inverter ini terhubung ke trafo step-up yang selanjutnya terhubung dengan grid atau jaringan listrik yang ada (sistem distribusi). [18] Kualitas arus (IPV) dan tegangan (VPV) dari sistem PLTS sangat memengaruhi persyaratan sambungan ke jaringan utama terkait dengan arus (IAC) dan tegangan (VDC) pada jaringan tersebut.[19]. Berikut gambar PLTS on grid :



Gambar 2.11 Aliran Daya PLTS on grid

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam analisis integrasi PLTS untuk mencari lokasi dan kapasitas PLTS secara optimal dan berdampak memperbaiki profil tegangan dan penurunan rugi-rugi daya, peneliti menguji program tersebut menggunakan *IEEE 33 bus distribution system*[20] sebagai titik acuan dalam proses pelaksanaan dan pengerjaannya. Penelitian ini adalah pengembangan dari skripsi sebelumnya yaitu pada[10]. Langkah-langkah penelitian ini menggunakan 3 case sebagai berikut :

- a. Case 1 disimulasikan memasang satu PLTS
- b. Case 2 disimulasikan memasang dua PLTS
- c. Case 3 disimulasikan memasang tiga PLTS

Pada tiap case diatas PLTS akan di integrasikan dengan seluruh bus beban dengan tujuan untuk mencari lokasi paling optimal dari jumlah PLTS dan kapasitas masing-masing PLTS secara optimal. Dengan batas kapasitas Pembangkit 1kw-5000kw

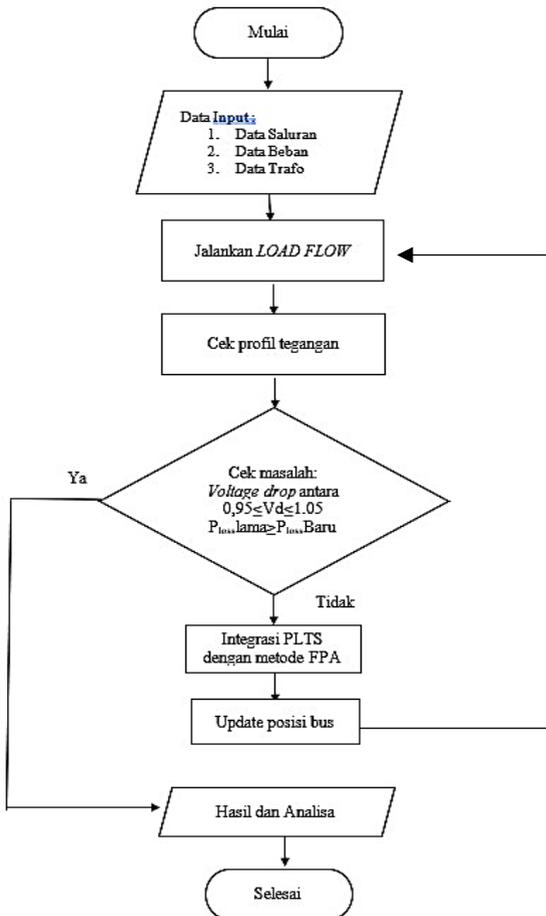
Untuk optimasi penempatan dan kapasitas PLTS dilakukan dengan matlab 2018b menggunakan metode FPA.

3.1 Tahapan Pembuatan Simulasi

Pada proses pengerjaan nya ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu :

1. Melakukan input Data meliputi beban aktif dan reaktif
2. Melakukan optimasi dengan metode FPA menggunakan Matlab R2018b yang nantinya digunakan penempatan PLTS dan kapasitas PLTS untuk memperbaiki jatuh tegangan dan rugi-rugi daya.
3. Data yang digunakan adalah sistem distribusi Cangkringmalang, Bangil

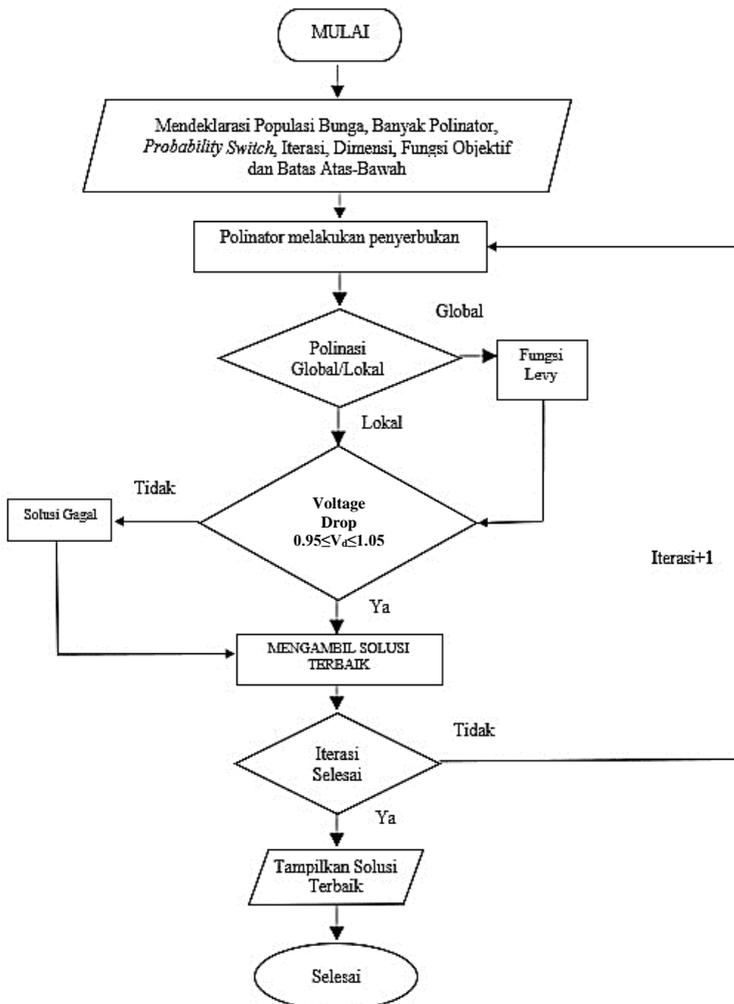
3.2 Flow Chart



Gambar 3. 1Flow Chart Metode Penelitian

Keterangan :

1. Mulai
2. Memasukkan data input berupa : Data Saluran, Data Beban, dan DataTrafo
Data saluran : meliputi saluran antara bus dan impedansi
Data beban : meliputi beban (watt) dari suatu sistem
Data Trafo : meliputi KVA base dan KV base
3. Menjalankan loadflow pada program matlab untuk mendapatkan profil tegangan pada suatu sistem dengan kondisi existing
4. Cek profil tegangan
5. Menerapkan batasan masalah dengan cek masalah pada profil tegangan dan drop tegangan
6. Jika tidak, maka sistem harus diintegrasikan dengan PLTS menggunakan metode FPA untuk mencari kapasitas dan lokasi bus yang terbaik untuk diintegrasikan
7. Lalu sistem akan menampilkan lokasi bus terbaik untuk diintegrasikan
8. Lalu kembali ke no.3
9. Jika iya, maka dapat dilihat hasil dan dapat ditarik analisa
10. Selesai



Gambar 3. 2 Flow Chart optimasi metode FPA

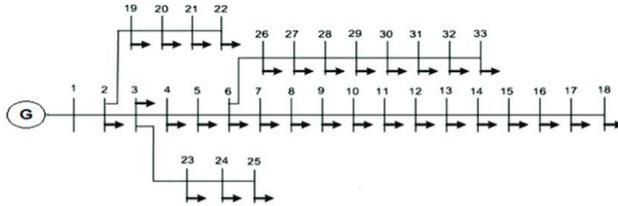
Keterangan :

1. Mulai
2. Memasukkan parameter metode FPA seperti jumlah serangga, populasi bunga, *probability switch*, iterasi, dimensi, fungsi objektif DG, dan batas atas-bawah solusi yang ingin didapatkan.
3. Polinator akan melakukan penyerbukan
4. Nilai akan mulai dimasukkan kedalam fungsi objektif DG untuk mendapatkan solusi Nilai yang dimasukkan ke dalam fungsi objektif DG adalah nilai untuk mendapatkan solusi posisi bus
5. Akan dilalukan seleksi apakah penyerbukan yang dilakukan polinator adalah penyerbukan lokal atau global. Apa bila terjadi penyerbukan global maka akan dimasukkan parameter fungsi *Levy Flight* ke dalam parameter pencarian solusi dalam fungsi objektif DG.
6. Setelah mendapatkan beberapa solusi sementara dari nilai posisi bus dan juga kapasitas DG dari iterasi saat ini, maka akan dilakukan seleksi apakah solusi-solusi yang didapatkan sesuai dengan kekangan batas atas dan batas bawah yang telah dikehendaki di awal.
7. Jika solusi sesuai dengan kekangan maka akan ditampung, jika tidak sesuai maka solusi akan diproses ulang agar sesuai dengan kekangan. Setelah semua solusi sesuai dengan kekangan selanjutnya akan dipilih nilai solusi terbaik saat ini.
8. Kemudian kembali ke angka 3
9. Selanjutnya dilakukan seleksi jika nilai iterasi sudah mencapai nilai yang dimasukkan awal, sebaliknya proses pemberian nilai pada fungsi tujuan DG akan diulangi hingga iterasi tersebut selesai .
10. Jika sudah dilakukan iterasi maka akan diperoleh nilai solusi terbaik dari seluruh iterasi metode FPA,
11. Dengan menggunakan solusi terbaik, hasil akhir dari program optimasi ini adalah nilai optimal lokasi bus tempat DG dipasang serta kapasitas instalasi masing-masing DG
12. Selesai

BAB IV ANALISIS DAN HASIL

4.1 Data *IEEE 33 bus*

Pada pengujian ini menggunakan standart *IEEE 33 bus radial distribution system* dengan tegangan kerja 12,66 kV dan 2,3 MVAR.



Gambar4. 1 Single line diagram *IEEE 33 bus*

Tabel 4. 1 Data saluran *IEEE 33 bus*

No.	From	To	R (Ω)	X (Ω)
1	1	2	0.0922	0.0477
2	2	3	0.4930	0.2511
3	3	4	0.3660	0.1864
4	4	5	0.3811	0.1941
5	5	6	0.8190	0.7070
6	6	7	0.1872	0.6188
7	7	8	1.7114	1.2351
8	8	9	1.0300	0.7400
9	9	10	1.0400	0.7400
10	10	11	0.1966	0.0650
11	11	12	0.3744	0.1238
12	12	13	1.4680	1.1550
13	13	14	0.5416	0.7129
14	14	15	0.5910	0.5260
15	15	16	0.7463	0.5450
16	16	17	1.2890	1.7210
17	17	18	0.7320	0.5740

No.	F	T	R (Ω)	X (Ω)
18	2	19	0.1640	0.1565
19	19	20	1.5042	1.3554
20	20	21	0.4095	0.4784
21	21	22	0.7089	0.9373
22	3	23	0.4512	0.3083
23	23	24	0.8980	0.7091
24	24	25	0.8960	0.7011
25	6	26	0.2030	0.1034
26	26	27	0.2842	0.1447
27	27	28	1.0590	0.9337
28	28	29	0.8042	0.7006
29	29	30	0.5075	0.2585
30	30	31	0.9744	0.9630
31	31	32	0.3105	0.3619
32	32	33	0.3410	0.5302

Tabel 4. 2 Data beban IEEE 33 bus

Bus	Beban		Bus	Beban	
	P (kW)	Q (kW)		P (kW)	Q (kW)
1	0	0	18	90	40
2	100	60	19	90	40
3	90	40	20	90	40
4	120	80	21	90	40
5	60	30	22	90	40
6	60	20	23	90	50
7	200	100	24	420	200
8	200	100	25	420	200
9	60	20	26	60	25
10	60	20	27	60	25

Bus	P (kW)	Q (kW)	Bus	P (kW)	Q (kW)
11	45	30	28	60	20
12	60	35	29	120	70
13	60	35	30	200	600
14	120	80	31	150	70
15	60	10	32	210	100
16	60	20	33	90	40
17	60	20			

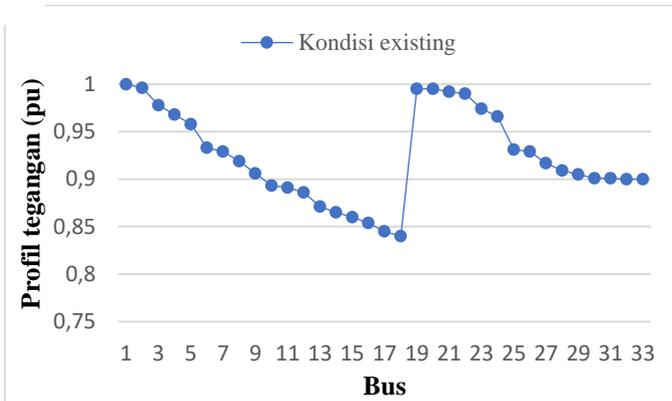
4.1.1 Hasil *load flow* pada kondisi existing

Setelah dilakukannya run *load flow* pada sistem distribusi IEEE 33 bus didapatkan hasil profil tegangan tiap bus nya.

Tabel 4. 3 Profil tegangan IEEE 33 bus existing

Bus	Profil tegangan (pu)	Bus	Profil tegangan (pu)
1	1	18	0,840
2	0,996	19	0,995
3	0,978	20	0,995
4	0,968	21	0,992
5	0,958	22	0,990
6	0,933	23	0,974
7	0,929	24	0,966
8	0,919	25	0,931
9	0,906	26	0,929
10	0,893	27	0,917
11	0,891	28	0,909
12	0,886	29	0,905
13	0,871	30	0,901
14	0,865	31	0,901
15	0,860	32	0,900
16	0,854	33	0,900
17	0,845		

Kondisi diatas meliputi profil tegangan tiap bus, pada tabel diatas profil tegangan paling rendah terdapat pada bus 18 yaitu 0,840 pu atau 16,8 kV dan *losses* existing atau P_{loss} adalah 456,44 kW dengan grafik profil tegangan sebagai berikut :



Gambar 4. 2 Grafik profil tegangan IEEE 33 bus existing

Gambar diatas adalah grafik dari hasil *load flow* pada kondisi existing dimana belum dilakukannya integrasi PLTS. Dimana terdapat penurunan profil tegangan dari bus 1 ke bus 18.

4.1.2 Optimasi integrasi PLTS dengan FPA

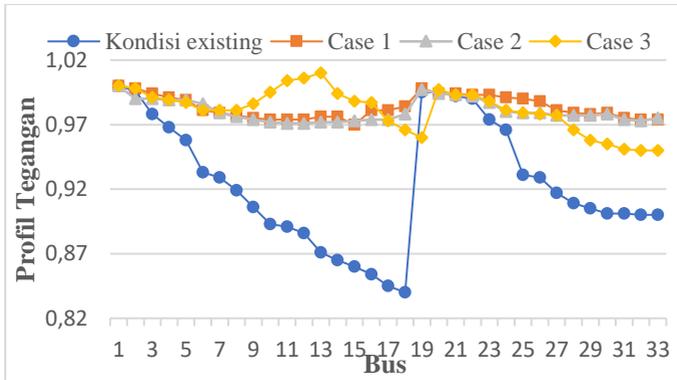
Pada tahapan ini dilakukan *runing load flow* tiap case untuk mendapatkan hasil profil tegangan setelah dilakukan integrasi yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Profil tegangan IEEE 33 bus tiap case

Bus	Case 1 (pu)	Case 2(pu)	Case 3 (pu)
1	1	1	1
2	0,998	0,990	0,998
3	0,994	0,990	0,991
4	0,991	0,989	0,989
5	0,989	0,989	0,987
6	0,981	0,986	0,981
7	0,979	0,979	0,981
8	0,977	0,976	0,981

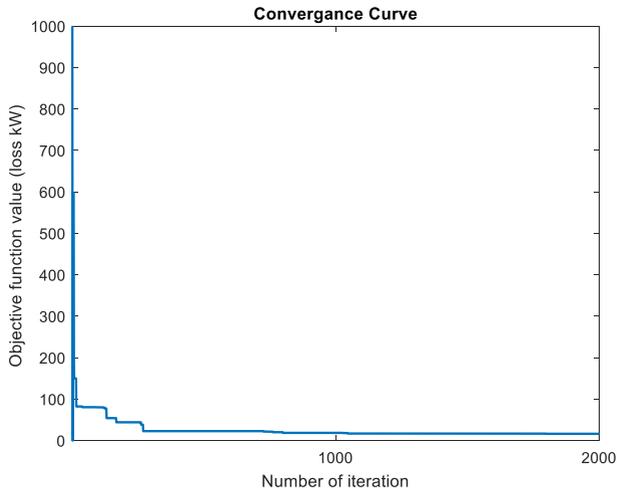
Bus	Case 1 (pu)	Case 2(pu)	Case 3 (pu)
9	0,975	0,974	0,986
10	0,974	0,972	0,995
11	0,974	0,971	1,004
12	0,974	0,971	1,006
13	0,976	0,972	1,010
14	0,976	0,972	0,994
15	0,970	0,973	0,988
16	0,981	0,974	0,987
17	0,981	0,974	0,973
18	0,984	0,978	0,966
19	0,998	0,997	0,960
20	0,994	0,994	0,997
21	0,994	0,993	0,993
22	0,993	0,992	0,993
23	0,993	0,987	0,988
24	0,991	0,980	0,981
25	0,990	0,979	0,979
26	0,988	0,979	0,978
27	0,981	0,977	0,977
28	0,979	0,977	0,966
29	0,978	0,977	0,958
30	0,979	0,978	0,955
31	0,975	0,974	0,951
32	0,974	0,973	0,950
33	0,974	0,975	0,950

Pada tabel diatas adalah hasil dari optimasi penambahan PLTS dengan tiap tiap case menghasilkan profil tegangan tiap busnya. Setelah dilakukan iterasi sebanyak 5000 kali untuk mendapatkan kapasitas dan posisi bus yang optimal untuk dipasang PLTS.



Gambar4. 3 Profil Tegangan tiap Case IEEE 33 bus

Pada tabel 4.3 adalah hasil dari optimasi penambahan PLTS dengan tiap tiap case menghasilkan profil tegangan tiap busnya. Pada optimasi ini dilakukan iterasi sebanyak 5000 kali dan ditunjukkan pada gambar dibawah ini



Gambar4. 4 Grafik konvergen IEEE 33 bus

Gambar 4.4 pada iterasi 4000-5000 grafik menunjukkan grafik menjadi stabil atau konvergen yang menyatakan bahwa kondisi tersebut sudah optimal.

Tabel 4. 5 Hasil optimasi dari data IEEE 33 bus

Case	Letak bus PLTS	Kapasitas PLTS (kW)	Total kapasitas PLTS (kW)	Losses (kW)
1 PLTS	12	3193,30	3193,30	188,46
2 PLTS	30	1299,67	2910,71	87,98
	18	1611,04		
3 PLTS	18	1622,91	3719,24	74,21
	30	1225,76		
	24	870,57		

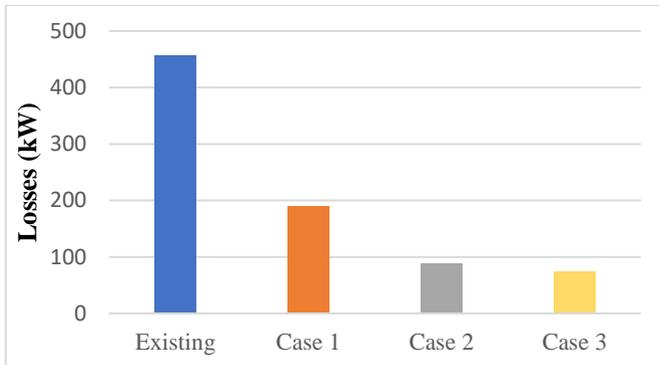
Tabel 4.5 adalah hasil peletakan PLTS, kapasitas PLTS, total kapasitas PLTS, dan Losses tiap case yang dihasilkan setelah melakukan iterasi.

Tabel 4. 6 Perbandingan tegangan tiap case IEEE 33 bus

Case	Minimal tegangan	Maksimal tegangan	Waktu (s)
Existing	0,840 pu pada bus 18	1 pada bus 1	157
1 PLTS	0,998 pada bus 2	1,01 pada bus 13	157
2 PLTS	0,971 pada bus 12	1 pada bus 1	162
3PLTS	0,972 pada bus 14	1 pada bus 1	157

Berikut hasil yang dapat disimpulkan untuk pemasangan kapasitas PLTS yang diterapkan pada sistem IEEE 33 bus :

- Pada kondisi *existing* dengan *losses* adalah 456,44 kW dan tegangan minimum adalah 0,840 pu pada bus 18 tanpa menempatkan PLTS.
- Menempatkan satu PLTS mengalami penurunan daya menjadi 188,46 kW dan pada bus 33 tegangan minimum 0,950 pu.
- Menempatkan dua PLTS bersamaan mengalami penurunan daya menjadi 87,98 kW dan pada bus 11 tegangan minimum 0,971 pu.
- Menempatkan tiga PLTS bersamaan mengalami penurunan daya menjadi 74,21 kW dan pada bus 12 tegangan minimum 0,974 pu.

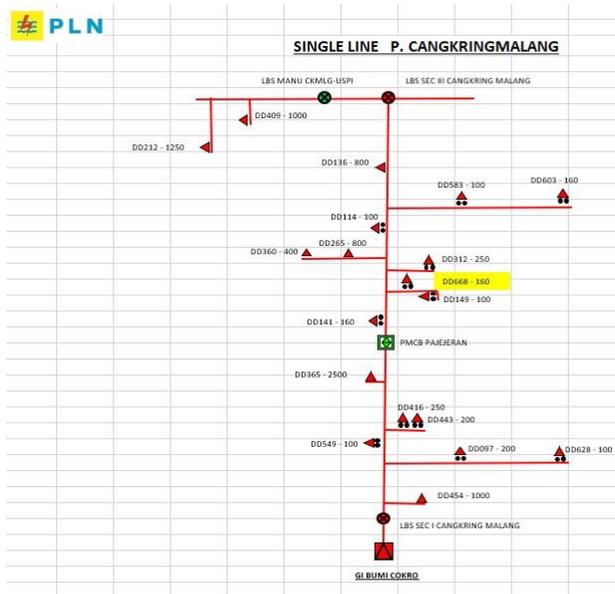


Gambar4. 5 Grafik losses tiap case IEEE 33 bus

Pada gambar 4.5 menunjukkan grafik losses tiap case pada IEEE 33 bus, didapat losses paling rendah setelah melakukan iterasi yaitu pada case 3 dengan 74,21 kW dan losses pada kondisi existing yang paling tinggi yaitu 188,46 kW. Tegangan minimum pada IEEE 33 bus ini adalah 0,84 pu atau 16,8 kV setelah dilakukan integrasi paling optimal pada case 3 tegangan minimum menjadi 0,972 atau 19,440 kV.

4.2 Data sistem distribusi Cangkringmalang 20kV

Pengujian ini menggunakan data real dapat dilihat pada lampiran yang diambil pada rata-rata beban puncak pada jam 18.00-21.00.



Gambar4. 6 Single line diagram P. Cangkringmalang

Tabel 4. 7 Data rata-rata beban puncak P. Cangkringmalang 18.00-21.00

Nama	Data Beban(%)	Data Trafo (kVA)	Data Beban (kVA)	P(kW)	Q(kVAR)
DD545	63	1000	700	630	70,0
DD097	55	200	122	109,8	12,2
DD628	56	100	62	55,8	6,2
DD549	61	100	67	60,3	6,7
DD416	67	250	185	166,5	18,5
DD443	62	200	136	122,4	13,6

Nama	Data Beban(%)	Data Trafo (kVA)	Data Beban (kVA)	P(kW)	Q(kVAR)
DD365	68	2500	1875	1687,5	187,5
DD141	52	160	91,2	82,08	9,12
DD149	58	100	64	57,6	6,4
DD312	59	250	162,5	146,25	16,25
DD265	68	800	600	540	60
DD360	70	400	308	277,2	30,8
DD114	61	100	67	60,3	6,7
DD583	35	100	39	35,1	3,9
DD603	63	160	112	100,8	11,2
DD136	60	800	528	475,2	52,8
DD409	54	1000	600	540	60
DD212	59	1250	812,5	731,25	81,25

Tabel 4. 8 Data saluran P.Cangkringmalang

No	From	To	Rx	Lx	Panjang saluran (km)
1	1	2	0,9220	0,3264	1,453
2	1	3	0,4930	0,2511	2,442
3	3	4	0,3660	0,1864	1,4
4	4	5	0,3811	0,1941	2,33
5	1	6	0,8190	0,7070	2,42
6	6	7	0,1872	0,6188	2,42
7	7	8	0,7114	0,2351	1,533
8	8	9	1,0300	0,7400	1,422
9	1	10	1,0440	0,7400	1,437
10	10	11	0,1966	0,0650	1,437
11	11	12	0,3744	0,1238	2,437
12	12	13	1,4680	1,1550	3,477
13	13	14	0,5416	0,7129	2,42
14	14	15	0,5910	0,5260	2,33

No	From	To	Rx	Lx	Panjang saluran (km)
15	1	16	0,7463	0,5450	2,52
16	16	17	1,2890	1,7210	2,33
17	17	18	0,7320	0,5740	1,52
18	18	19	0,1640	0,1565	5,552
19	19	20	0,7089	0,9373	5,975

4.2.1 Hasil load flow kondisi existing

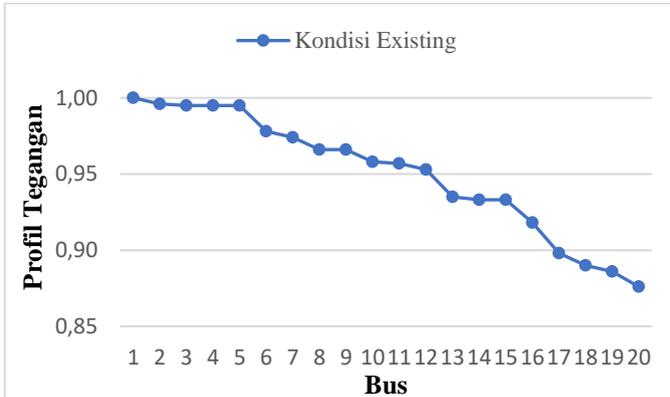
Didapat hasil dari kondisi existing yaitu :

Tabel 4. 9 Profil Tegangan P.Cangkringmalang existing

Bus	Profil Tegangan (pu)
1	1
2	0,996
3	0,995
4	0,995
5	0,995
6	0,978
7	0,974
8	0,966
9	0,966
10	0,958
11	0,957
12	0,953
13	0,935
14	0,933
15	0,933
16	0,918
17	0,898
18	0,890
19	0,886
20	0,876

Tabel 4.9 adalah hasil dari *load flow* pada kondisi existing dimana belum dilakukannya integrasi PLTS. Kondisi diatas

meliputi profil tegangan tiap bus, pada tabel diatas profil tegangan paling rendah terdapat pada bus 20 yaitu 0,876 pu dan *losses existing* atau P_{loss} adalah 309,7492 kW dengan grafik profil tegangan sebagai berikut :



Gambar4. 7 Grafik profil tegangan P.Cangkringmalang bus existing

Gambar 4.7 adalah grafik dari hasil *load flow* pada kondisi existing dimana belum dilakukannya integrasi PLTS. Dimana terdapat penurunan profil tegangan dari bus 1 ke bus 20.

4.2.2 Optimasi integrasi PLTS

Percobaan Optimasi ini dilakukan dengan kekangan kapasitas PLTS 1 – 2000 kW dan profil tegangan setelah optimasi 0,95 pu – 1,05 pu.

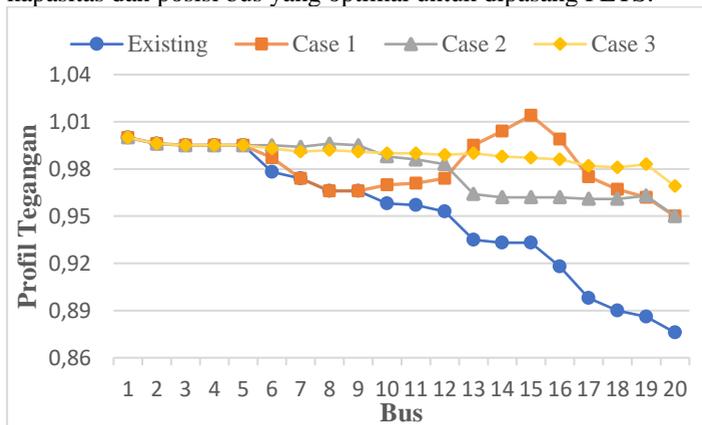
Seperti yang telah dijelaskan pada bab 3 untuk pengujian menggunakan metode FPA dengan hasil profil tegangan untuk masing masing case yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 10 Profil Tegangan P.Cangkringmalang tiap case

Bus	Case 1	Case 2	Case 3
1	1	1	1
2	0,996	0,996	0,996
3	0,995	0,995	0,995
4	0,995	0,995	0,995

5	0,995	0,995	0,995
6	0,987	0,995	0,993
7	0,974	0,994	0,991
8	0,966	0,996	0,992
9	0,966	0,995	0,991
10	0,970	0,988	0,990
11	0,971	0,986	0,990
12	0,974	0,983	0,989
13	0,995	0,964	0,990
14	1,004	0,962	0,988
15	1,014	0,962	0,987
16	0,999	0,962	0,986
17	0,975	0,961	0,982
18	0,967	0,961	0,981
19	0,962	0,963	0,983
20	0,950	0,950	0,969

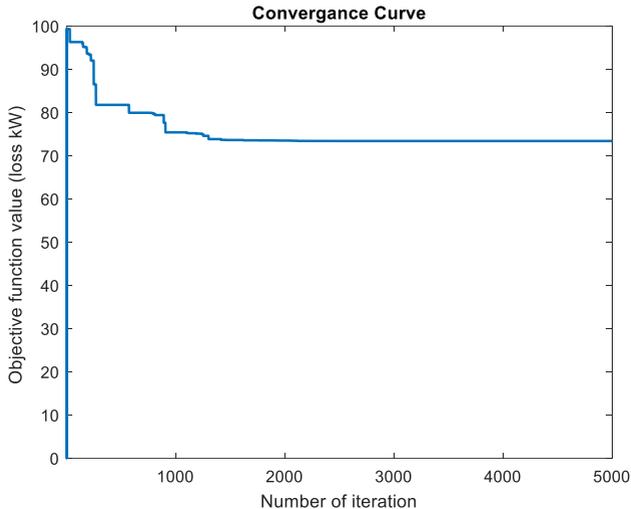
Pada tabel 4.10 adalah hasil dari optimasi penambahan PLTS dengan tiap tiap case menghasilkan profil tegangan tiap busnya. Setelah dilakukan iterasi sebanyak 2000 kali untuk mendapatkan kapasitas dan posisi bus yang optimal untuk dipasang PLTS.



Gambar4. 8 Profil Tegangan tiap Case P.Cangkringmalang

Pada tabel 4.8 adalah hasil dari optimasi penambahan PLTS dengan tiap tiap case menghasilkan profil tegangan tiap busnya.

Pada optimasi ini dilakukan iterasi sebanyak 2000 kali dan ditunjukkan pada gambar dibawah ini



Gambar4. 9 Grafik konvergen P.Cangkringmalang

Pada gambar 4.9 pada iterasi 1000-2000 grafik menunjukkan grafik menjadi stabil atau konvergen yang menyatakan bahwa kondisi tersebut sudah optimal.

Tabel 4. 11 Hasil Optimasi PLTS tiap case

Case	Letak bus	Kapasitas PLTS (kW)	Total kapasitas (kW)	Losses (kW)
1 PLTS	15	3087,911	3087,911	336,012
2 PLTS	19	3001,128	6423,89	72,569
	8	3422,771		
3 PLTS	19	2681,280	7089,78	23,658
	13	1465,71		
	8	2942,79		

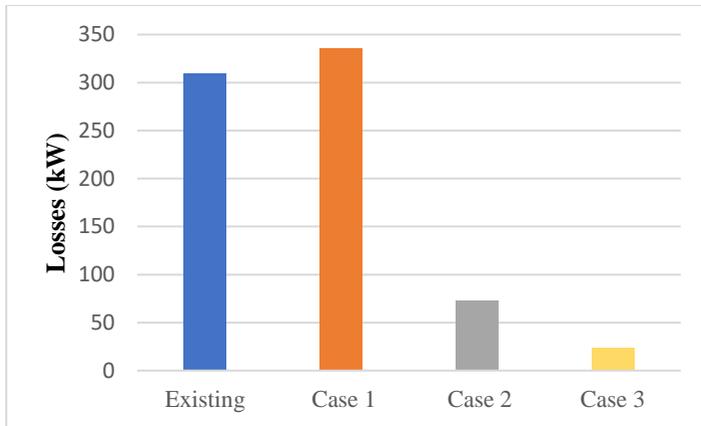
Tabel 4.11 adalah asil peletakan PLTS, kapasitas PLTS, total kapasitas PLTS, dan Losses tiap case yang dihasilkan setelah melakukan iterasi.

Tabel 4. 12 Perbandingan tegangan tiap case P.Cangkringmalang

Case	Minimal tegangan	Maksimal tegangan	Waktu (s)
<i>Existing</i>	0,876 pu pada bus 20	1 pada bus 1	42
1 PLTS	0,95 pada bus 20	1,014 pada bus 15	42
2 PLTS	0,95 pada bus 20	1 pada bus 1	43
3PLTS	0,969 pada bus 20	1 pada bus 1	175

Pada tabel 4.11 dan 4.12 menunjukkan hasil dari simulasi optimasi penempatan dan kapasitas PLTS. Berikut hasil yang dapat disimpulkan untuk pemasangan kapasitas PLTS yang diterapkan pada sistem distribusi P.Cangkringmalang :

- Pada kondisi *existing* dengan *losses* adalah 309,7492 kW dan tegangan minimum adalah 0,876 pu pada bus 20 tanpa menempatkan PLTS.
- Menempatkan satu PLTS mengalami kenaikan menjadi 336,012 kW dan pada bus 20 tegangan minimum 0,95 pu.
- Menempatkan dua PLTS bersamaan mengalami penurunan daya menjadi 72,569 kW dan pada bus 20 tegangan minimum 0,950 pu.
- Menempatkan tiga PLTS bersamaan mengalami penurunan daya menjadi 23,658 kW dan pada bus 20 tegangan minimum 0,969 pu



Gambar4. 10 Grafik losses tiap case P.Cangkringmalang

Pada gambar 4.10 menunjukkan grafik losses tiap case pada Penyulang Cangkringmalang, Bangil, didapat losses paling rendah setelah melakukan iterasi yaitu pada case 3 dengan 23,65 kW dan losses pada kondisi existing yang paling tinggi. Tegangan minimum pada sistem distribusi P.Cangkringmalang ini adalah pada 0,876 pu atau 17,52 kV setelah dilakukan integrasi paling optimal pada case 3 tegangan minimum menjadi 0,969 atau 19,380 kV.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Setelah dilakukannya uji coba program dengan IEEE 33 bus dan dibandingkan dengan jurnal acuan yang ada maka untuk program terbukti benar dengan pemasangan 3 PLTS dapat menurunkan rugi daya sebesar 382,23 kW dan meningkatkan profil tegangan 0,840 menjadi 0,966.
2. Pada sistem distribusi IEEE 33 bus lokasi optimal pemasangan PLTS pada bus 18, 30, 24 dengan kapasitas berturut-turut yaitu 1622,91 kW, 1225,76 kW, 870,56kW.
3. Pemasangan PLTS pada sistem distribusi Cangkringmalang, Bangil dengan pemasangan 3 PLTS terbukti dapat menurunkan rugi daya dari 309,7492 kW menjadi 23,658 kW serta meningkatkan profil tegangan untuk nilai terendahnya dari 0,876 pu menjadi 0,969 pu.
4. Pada sistem distribusi Cangkringmalang, Bangil lokasi optimal pemasangan PLTS pada bus 8, 13, 19 dengan kapasitas berturut-turut yaitu 2681,280 kW, 1465,71 kW, 2942,79kW.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang ditulis, maka dapat menentukan beberapa saran sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dibandingkan dengan metode optimasi yang lainnya agar bisa membandingkan metode yang terbaik.
2. Penelitian selanjutnya dapat mengubah metode aliran daya agar dapat membandingkan hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

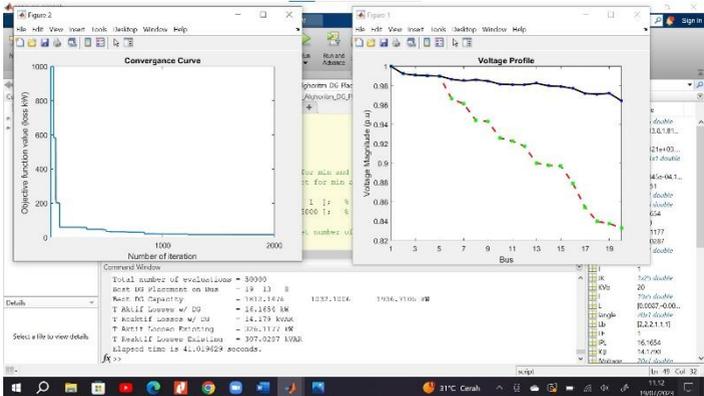
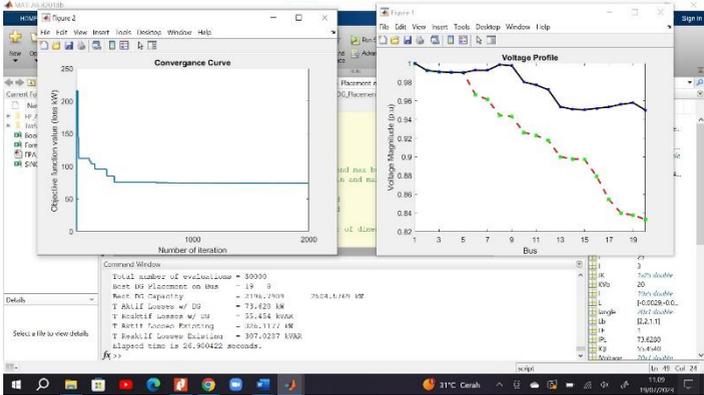
- [1] S. Ekanugraha and A. B. Pulungan, “Memperbaiki Drop Tegangan dengan Simulasi Rekonfigurasi Jaringan Sistem 20 kV,” vol. 3, no. 1, pp. 249–256, 2022, doi: 10.24036/jtein.v3i1.231.
- [2] A. Kurniawan, “Naskah Arif Fix Upload,” *ANALISA JATUH TEGANGAN DAN PENANGANAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV RAYON PALUR PT. PLN (PERSERO) MENGGUNAKAN ETAP 12.6*, pp. 1–2, 2016, Accessed: Jun. 24, 2023. [Online]. Available: <https://eprints.ums.ac.id/50011/1/Naskah%20Arif%20Fix%20Upload.pdf>
- [3] R. Fuaddi, “14832-34634-1-PB,” *Penentuan Lokasi DG dan Kapasitor Bank dengan Rekonfigurasi Jaringan untuk Memperoleh Rugi Daya Minimal pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Algoritma Genetika*, vol. 5, no. 2337–3539, 2016.
- [4] M. Zainuddin, *Pengaruh Masuknya PLTS on Grid Skala Besar Pada Sistem Distribusi 20 KV Terhadap Kualitas Tegangan dan Rugi-rugi Daya*.
- [5] D. Kusdiana, “PANDUAN PENGELOLAAN LINGKUNGAN PLTS-GRAFIS ttd Dirjen,” in *PANDUAN PENGELOLAAN LINGKUNGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS)*, Jakarta: Direktur Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi, 2020.
- [6] M. A. Baihaqi, R. N. Hasanah, and H. Suyono, “OPTIMASI PENEMPATAN DISTRIBUTION GENERATION PADA PENYULANG PUJON MENGGUNAKAN METODE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION,” *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, vol. 7, no. 1, pp. 38–46, Apr. 2020, doi: 10.33019/ecotipe.v7i1.1650.
- [7] PLN, “dokumen.tips_spln-1-1995-tegangan-standar-pln,” in *Standart Perusahaan Listrik Negara*, Jakarta, 1995.
- [8] S. Kumar Sudabattula, “Flower Pollination Algorithm Based Optimal Placement of Solar Based Distributed

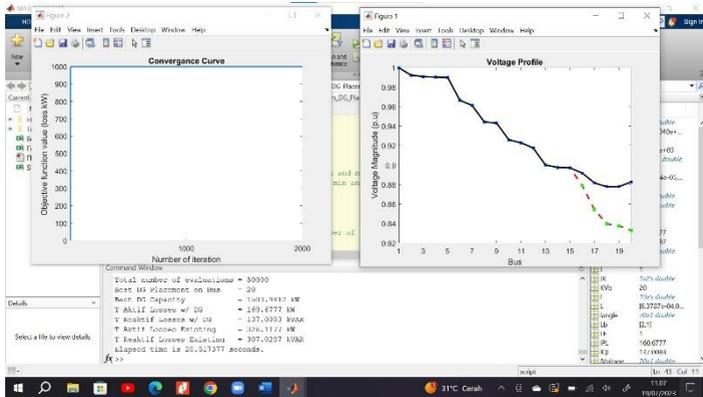
- Generators in Distribution System,” 2016.
- [9] R. W. Novialifiah, “Algoritma Aliran Daya untuk Sistem Distribusi Radial dengan Beban Sensitif Tegangan,” *JURNAL TEKNIK POMITS*, vol. 3, no. 2337-3539 (2301-9271 Print), 2014.
- [10] R. Kaur and A. Kumar, “Optimasi Penempatan Lokasi Based Transceiver Station Menggunakan Flower Pollination Algorithm,” *Optimasi Penempatan Lokasi Based Transceiver Station Menggunakan Flower Pollination Algorithm*, vol. 6, no. 2337-3520 (2301-928X Print), 2017.
- [11] WILHELMINA S.Y.M SAWAI., “STUDI ALIRAN DAYA. SISTEM JAWA-BALI 500 kV TAHUN 2007-2011,” UI, Jakarta, 2011.
- [12] A. Hasibuan *et al.*, “Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Fast Decoupled Menggunakan Software Etap,” 2020, doi: 10.30596/rele.v1i1.5236.
- [13] Y. Alif Augusta and W. B. Pramono, “Optimasi Penempatan Dan Kapasitas Multi DG Pada Sistem Distribusi Dengan Metode Flower Pollination Algorithm (FPA).”
- [14] Institute of Electrical and Electronics Engineers Kolkata Section, National Power Systems Conference 18 2014.12.18-20 Guwahati, and NPSC 18 2014.12.18-20 Guwahati, *2014 Eighteenth National Power Systems Conference (NPSC) 18-20 Dec. 2014, Guwahati, India.* 2016.
- [15] S. Lalljith, I. Fleming, U. Pillay, K. Naicker, Z. J. Naidoo, and A. K. Saha, “Applications of Flower Pollination Algorithm in Electrical Power Systems: A Review,” *IEEE Access*, vol. 10. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 8924–8947, 2022. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3138518.
- [16] J. Ilmiah and S. Teknika, “Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya (Renewable Energy Optimization of Electrical Power Generation toward the Energy Self-Sufficient Village in Margajaya),” 2012.

- [17] M. M. Begovic, K. Ii, N. Iii, J. Romero, and A. Iv, "Integration of Photovoltaic Distributed Generation in the Power Distribution Grid."
- [18] J. Fahmi, J. Windarta, and A. Y. Wardaya, "Studi Awal Penerapan Distributed Generation untuk Optimalisasi PLTS Atap On Grid pada Pelanggan PLN Sistem Jawa Bali untuk Memenuhi Target EBT Nasional," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 1, pp. 1–13, Mar. 2021, doi: 10.14710/jebt.2021.10038.
- [19] H. Suyono and M. Zainuddin, "Injection Impact of Photovoltaic Distributed Generations (PVDG) on Power Distribution System Stability," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 785, pp. 403–408, Aug. 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.785.403.
- [20] D. B. Prakash and C. Lakshminarayana, "Multiple DG Placements in Distribution System for Power Loss Reduction Using PSO Algorithm," *Procedia Technology*, vol. 25, pp. 785–792, 2016, doi: 10.1016/j.protcy.2016.08.173.

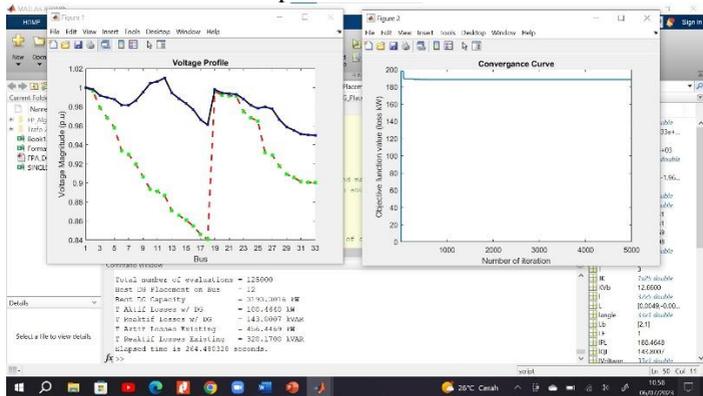
LAMPIRAN

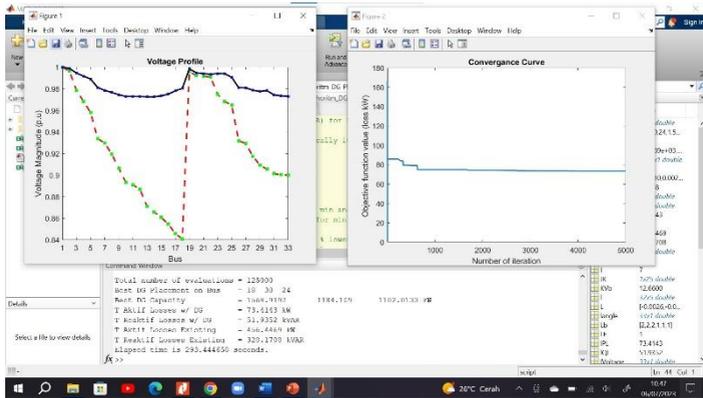
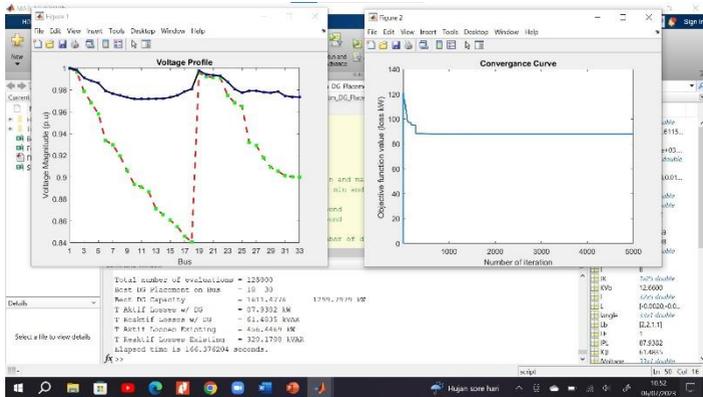
Hasil optimasi P.Cangkringmalang





Hasil optimasi IEEE 33 bus





SKRIPSI – ENERGI LISTRIK INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DENGAN JARINGAN DSITRIBUSI UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN DAN RUGI DAYA

ORIGINALITY REPORT



PRIMARY SOURCES

1	dspace.uii.ac.id Internet Source	4%
2	eprints.itn.ac.id Internet Source	3%
3	prosiding-old.pnj.ac.id Internet Source	2%
4	docplayer.info Internet Source	1%
5	pdfcoffee.com Internet Source	1%
6	repository.its.ac.id Internet Source	1%
7	jurnal.unismabekasi.ac.id Internet Source	1%
8	www.scribd.com Internet Source	1%
9	eprints.umm.ac.id Internet Source	1%

10	repository.unhas.ac.id	Internet Source	1%
11	123dok.com	Internet Source	1%
12	jurnal.uwp.ac.id	Internet Source	1%

Exclude quotes Off

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography Off

Integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Jaringan Dstribusi untuk Memperbaiki Profil Tegangan dan Rugi Daya

ORIGINALITY REPORT

16%

SIMILARITY INDEX

17%

INTERNET SOURCES

6%

PUBLICATIONS

%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	jurnal.unismabekasi.ac.id Internet Source	6%
2	jtera.polteksmi.ac.id Internet Source	3%
3	core.ac.uk Internet Source	2%
4	repository.unhas.ac.id Internet Source	1%
5	journal.unhas.ac.id Internet Source	1%
6	journal.ubb.ac.id Internet Source	1%
7	123dok.com Internet Source	1%
8	eprints.itn.ac.id Internet Source	1%

nrc-publications.canada.ca

9

Internet Source

1%

10

repository.unj.ac.id

Internet Source

1%

Exclude quotes Off

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography Off



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417836 Fax. (0341) 417834 Malang

LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Nama : Daffa Aryudha Yuntardi
NIM : 2112901
Program Studi : Teknik Elektro S-1
Peminatan : Teknik Energi Listrik
Masa Bimbingan : Semester Genap 2022-2023
Judul Skripsi : **INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DENGAN JARINGAN DSITRIBUSI UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN DAN RUGI DAYA**

Tanggal	Uraian	Paraf
Penguji I		
(2-8-2023)		

Disetujui,
Dosen Penguji I

Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT.
NIP. P. 1028700171

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Eng. I Made Wartana, MT
NIP. 19610503 199202 1 001

Dr. Irrine Budi Suslistiawati, ST., MT
NIP. 19770615 200501 1 002



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Nama : Daffa Aryudha Yuntardi
NIM : 2112901
Program Studi : Teknik Elektro S-1
Peminatan : Teknik Energi Listrik
Masa Bimbingan : Semester Genap 2022-2023
Judul Skripsi : **INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DENGAN JARINGAN DISTRIBUSI UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN DAN RUGI DAYA**

Tanggal	Uraian	Paraf
Penguji I (3-8-2023)	Menambahkan single line diagram	
	Mencoba dipasang 4 DG	

Disetujui
Dosen Penguji II

Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19900301 200501 1 002

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Eng. I Made Wartana, MT
NIP. 19610503 199202 1 001

Dr. Irrine Budi Suslistiawati, ST., MT
NIP. 19770615 200501 1 002



PT BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hurdling), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Ken 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2012/2023

Nama : Daffa Aryudha Yuntardi
NIM : 2112901
Nama Pembimbing : Prof. Dr. Eng. I Made Wartana, MT.
Judul Skripsi : Integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Jaringan Dsistribusi untuk Memperbaiki Profil Tegangan dan Rugi Daya

No	Hari, Tanggal	Waktu Bimbingan	Materi Bimbingan	Paraf
1.	Selasa, 9 Mei 2023	12.00-13.00	Revisi BAB 2	
2.	Rabu, 17 Mei 2023	12.00-13.00	Ditambahkan gambar pendukung (BAB 4)	
3.	Selasa, 23 Mei 2023	12.00-13.00	Menambahkan perbandingan tabel optimasi tiap case	
4.	Selasa, 6 Juni 2023	12.00-13.00	Menambahkan diagram balok hasil losses tiap case	
5.	Rabu, 27 Juni 2023	12.00-13.00	Ditambahkan data saluran pada lampiran	

Malang, 2 Agustus 2023

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Eng. I Made Wartana, MT.
NIP. 19610503 199202 1 001



PT BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Harding), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2012/2023**

Nama : Daffa Aryudha Yuntardi
NIM : 2112901
Nama Pembimbing : Dr. Irrine Budi Sulistiawati., ST, MT
Judul Skripsi : Integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)
dengan Jaringan Dstribusi untuk Memperbaiki
Profil Tegangan dan Rugi Daya

No	Hari, Tanggal	Waktu Bimbingan	Materi Bimbingan	Paraf
1.	Jumat, 12 Juni 2023	13.00-14.00	Latar Belakang diuraikan lagi	
2.	Kamis, 25 Mei 2023	13.00-14.00	Ditambahkan gambar pendukung (BAB 2)	
3.	Senin, 26 Juni 2023	10.00-11.00	Revisi penomoran gambar	
4.	Selasa, 4 Juli 2023	12.00-13.00	Menambahkan diagram balok hasil losses tiap case	
5.	Rabu, 12 Juli 2023	13.00-14.00	Ditambahkan data saluran pada lampiran	

Malang, 2 Agustus 2023

Dosen Pembimbing


Dr. Irrine Budi Sulistiawati., ST, MT
NIP. 197706152005012002



PT BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : Daffa Aryudha Yuntardi
NIM : 2112901
Program Studi : Teknik Elektro S-1
Peminatan : Teknik Energi Listrik
Masa Bimbingan : Semester Genap 2022-2023
Judul Skripsi : **INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
SURYA (PLTS) DENGAN JARINGAN
DISTRIBUSI UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL
TEGANGAN DAN RUGI DAYA**

Diperlihatkan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada,
Hari : Selasa
Tanggal : 2 Agustus 2023
Nilai : **81,454**

Panitia Ujian Skripsi

Majelis Ketua Penguji

Sofyohadi, ST., MT.
NIP. Y. 1039700309

Sekretaris Majelis Penguji

Sofyohadi, ST., MT.
NIP. Y. 1039700309

Anggota Penguji

Dosen Penguji I

Dr. Ir. Widodo Pudi Muljanto, MT.
NIP. P. 1028700171

Dosen Penguji II

Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19500301 200501 1 002



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Daffa Aryudha Yuntardi
NIM : 2112901
Jurusan / Peminatan : S-i Elektro/Energi Listrik
ID KTP / Paspor : 3576020103000004
Alamat : Griya Permata Meri E1-08, Kota Mojokerto
Judul Skripsi : Integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Jaringan Dstribusi untuk Memperbaiki Profil Tegangan dan Rugi Daya

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat merupakan hasil karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari orang lain. Dalam skripsi ini tidak memuat karya orang lain kecuali dicantumkan sumber yang digunakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Apabila ternyata di dalam skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarisme, maka saya bersedia skripsi ini di gugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S-1) di batalkan, serta di proses sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, 3 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan



(DAFFA A. Y)