

IMPLEMENTASI INTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DAN MENURUNKAN RUGI-RUGI DAYA DI PRINGGABAYA

¹Fatkhur Rochman, ²Prof. Dr. Eng. I Made Wartana, MT, ³ Awan Uji Krismanto. ST., MT., Ph.D.

Institut Teknologi Nasional, Malang

¹1912078@scholar.itn.id, ²imadewartana65@gmail.com, ³awan_uji_krismanto@lecturer.itn.ac.id

Abstrak—Pemasangan Distributed Generation 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 Pringgabaya, Lombok. Dari penelitian ini penempatan serta kapasitas yang didapat adalah posisi bus yang diintegrasikan adalah pada bus 5, 10, dan 17 dengan masing masing kapasitas secara berurutan yaitu 4.1853 mW, 2.5102 mW dan 2.7521 mW dan profil tegangan terendah 0.94404 pu menjadi 1.00176 pu dan dapat menurunkan rugi-rugi daya aktif dan reaktif dari 0,36 mW menjadi 0,19 mW dan dari 0,74 mVar menjadi 0,33 mVar.

Dari hasil optimasi dapat disimpulkan pemasangan PLTS mampu menurunkan losses dan meningkatkan profil tegangan pada sistem distribusi Pringgabaya.

Kata Kunci—komponen; Distributed Generation, PLTS, rugi-rugi daya, drop tegangan, FPA.

I. PENDAHULUAN

Pada umumnya tenaga listrik dihasilkan oleh pembangkit listrik yang jauh dari pusat beban, listrik yang dihasilkan akan dialirkan ke pusat beban melalui jaringan transmisi dan distribusi. Jarak yang jauh ini akan mengakibatkan rugi daya, karena pada saat menyalurkan daya dari genset ke konsumen atau pelanggan akan terjadi rugi daya dan drop tegangan. Oleh karena itu, ada solusinya yaitu memasang Distributed Generator (DG) yang kapasitas listriknya lebih kecil dari genset induk[1]. Penggunaan energi terbarukan dunia saat ini sedang berkembang pada pembangkitan jaringan terdistribusi atau Distributed Generations (DG) [2], sistem DG adalah pembangkit terdistribusi yang terhubung langsung ke jaringan distribusi sisi klien. Pendistribusian pembangkit di jaringan

distribusi memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan kualitas jaringan distribusi, antara lain: arus, profil voltase yang ditingkatkan, keandalan yang meningkat, dan kehilangan daya yang berkurang.

Sumber energi terbarukan mempunyai sifat terbarukan serta berkesinambungan dan pemanfaatan sumber energi terbarukan merupakan alternatif yang perlu terus dikembangkan. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menggunakan energi matahari sebagai sumber terbarukan dan mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Dari permasalahan tersebut ditemukan energi baru untuk mengantisipasi krisis energi fosil yang terjadi saat ini. Mengintegrasikan unit DG yang dekat dengan titik beban dapat secara efektif dan efisien memanfaatkan sumber daya kecil yang ada sambil meningkatkan ketersediaan daya dan stabilitas saluran listrik[7]. Penelitian ini akan membahas tentang desain integrasi dengan jaringan distribusi menggunakan tenaga surya sebagai supply pada bus yang mengalami drop tegangan dengan tujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan pada jaringan distribusi sehingga efisiensi daya listrik yang disalurkan dapat diterima dengan baik. Dengan analisa aliran daya menggunakan metode Newton Raphson dan menggunakan metode Flower Pollination Algorithm (FPA). FPA merupakan metode optimasi sistem yang terinspirasi oleh proses penyerbukan (polinasi) pada bunga yang disebabkan oleh polinator di alam, penelitian ini disimulasikan pada program DigSILENT PowerFactory.

II. TINJAUAN PUSTAKA

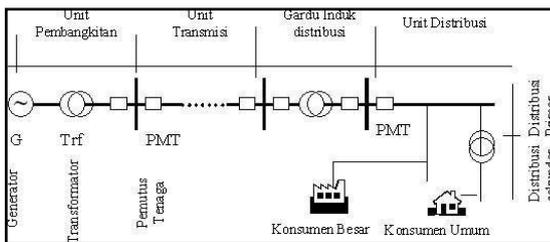
A. Sistem Distribusi Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem kelistrikan. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya besar ke konsumen. Dengan demikian, fungsi distribusi tenaga adalah;

- mendistribusikan atau mendistribusikan tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan)
- merupakan subsistem kelistrikan yang berhubungan langsung dengan pelanggan, karena pasokan listrik ke

pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung oleh jaringan distribusi.

Listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dikuatkan oleh gardu induk dengan trafo step up menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi listrik. Tujuan dari kenaikan tegangan adalah untuk memperkecil rugi daya pada saluran transmisi, dalam hal ini rugi daya sebanding dengan kuadrat arus sirkulasi (I^2R). Dengan kapasitas yang sama, jika nilai tegangan dinaikkan maka arus yang mengalir akan semakin kecil, sehingga rugi daya juga kecil. Dari saluran transmisi, tegangan kembali diturunkan menjadi 20 kV oleh trafo tegangan rendah di gardu distribusi, kemudian dengan sistem tegangan ini, penyaluran daya dilakukan melalui saluran distribusi utama yaitu 220/380 Volt. Kemudian didistribusikan melalui saluran distribusi sekunder ke konsumen [4].



Gambar 1 Sistem Distribusi Listrik

B. Distributed generation

Pembangkit listrik terdistribusi adalah sistem pembangkit listrik dari banyak sumber energi kecil. Keunggulan sistem ini dibandingkan dengan sistem tenaga terpusat adalah dapat dioperasikan secara mandiri, tidak memerlukan wilayah operasi yang besar dan rumit, jaringan transmisi pendek, dapat menggunakan pembangkit listrik adaptif, daerah yang membutuhkan elektrifikasi. Pembangkit listrik terdistribusi dapat mengurangi kehilangan energi di transmisi daya karena pemasangannya dekat dengan pengguna dan dapat mengurangi jumlah saluran listrik bangun. Sistem DG adalah pembangkit terdistribusi yang terhubung langsung ke jaringan distribusi sisi konsumen[9].

C. PLTS Pringgabaya 7 MWP

PT.Vena Energy Indonesia wilayah site Pringgabaya atau disebut ITA terletak di Jl. Raya Labuhan Lombok Desa Pringgabaya Utara Kec. Pringgabaya Kab. Lombok Timur. PT Vena Energy merupakan IPP terbesar yang bergerak di bidang energi terbarukan. Untuk lombok terdiri dari 3 site yang tersebar yaitu ITC di Sengkol, ITB di Selong dan ITA di Pringgabaya. Proyeknya di kerjakan oleh PT Pembangunan Perumahan (Persero) Tbk, disingkat PT PP (Persero) Tbk. Proyek ini mulai di kerjakan pada bulan Februari 2018 dan selesainya pada akhir tahun 2018. Setelah proyek selesai kemudian menjalankan masa uji coba sistem atau Commissioning selama 3 bulan dan kemudain mulai beroperasi sejak 2 Juli 2019.



Gambar 2 PLTS Pringgabaya

D. Profil Tegangan

Profil tegangan merupakan kondisi suatu tegangan yang berada dalam kondisi tegangan nominalnya dalam sistem tenaga saat terjadi perubahan kondisi beban maupun rugirugi tegangan. Stabilitas tegangan dalam sistem tenaga didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan tegangan pada setiap bus dalam sistem dibawah normal dan setelah mengalami gangguan. Dalam kondisi normal tegangan dari sistem tenaga stabil, tetapi ketika terjadi gangguan dalam sistem, maka tegangan menjadi tidak stabil sehingga menyebabkan berbagai kondisi tegangan.

Batas stabilitas tegangan dapat didefinisikan sebagai tahap pembatas dalam sistem tenaga. Besar deviasi tegangan yang merupakan deviasi maksimum dari semua bus yang berbeda dalam suatu sistem tenaga berada di kisaran ($0.95 \leq n \leq 1.05 p.u$) dari tegangan nominal bus. Jika nilai tegangan dalam sistem berada di bawah 0.95 p.u maka tegangan sistem mengalami undervoltage dan jika nilai tegangan dalam sistem berada diatas 1.05 p.u maka tegangan sistem mengalami overvoltage[12].

E. Studi Aliran Daya

Pada prosesnya, perhitungan aliran daya dilakukan dengan metode berulang atau iterasi. Proses ini akan selesai jika nilai akhirnya telah mencapai konvergensi. Nilai konvergensi mengikuti hukum Kirchoff[6], dimana jumlah nilai arus pada suatu bus atau jumlah tegangan pada suatu loop harus bernilai nol. Dikatakan suatu nilai akhir adalah konvergen, apabila nilai tersebut telah mencapai batas toleransi yang ditentukan untuk nilai perhitungan dengan prinsip hukum Kirchoff yang telah disebutkan[7]

1. Backward Forward Sweep

Merupakan metode komputasi iteratif untuk menyelesaikan persoalan aliran daya pada sistem distribusi radial. Digunakan metode ini karena metode komputasi aliran daya lainnya kurang efisien pada sistem distribusi radial[5].

Pada metode aliran daya BFS untuk mengetahui aliran daya pada setiap cabang dimulai dengan menghitung aliran arus beban pada bus terakhir menuju ke titik sumber (*backward*)[5], selanjutnya akan dihitung tegangan magnitude dan sudut fasa pada setiap bus dimulai dari titik sumber menuju bus terakhir (*forward*).

2. Klasifikasi bus

2.1 Bus generator

Bus ini terdapat generator – generator yang nilai tegangan dan daya aktifnya diketahui, sementara daya reaktif dan sudut fasa tegangan δ dihitung.

2.2 Bus slack

Pada bus ini nilai daya aktif dan daya reaktif dibiarkan atau tidak diketahui, hal ini dikarenakan daya yang dikirim kepada sistem oleh generator tidak dapat di pastikan terlebih dahulu. Besarnya daya aktif dan daya reaktif selain ditentukan oleh besarnya beban

2.3 Bus beban

Pada bus ini terhubung dengan beban – beban yang permintaannya daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) jelas diketahui, sedangkan tegangan (V) dan sudut fasa tegangan δ . Pada bus ini nantinya PLTS di hubungkan

F. Metode FPA (Flower Pollination Algoritma)

Metode optimasi FPA merupakan metode optimasi dengan meniru konsep penyerbukan (polinasi) pada bunga[8]. Inti dari proses penyerbukan bunga adalah bagaimana serbuk sari jatuh ke kepala putik. Jatuhnya serbuk sari ke kepala putik tentu dengan berbagai alasan seperti tertiuip angin, terbawa oleh serangga bahkan burung. Subjek yang membantu proses penyerbukan, disebut Polinator. Pada metode ini tentu saja bunga yang terpilih untuk di hinggapi polinator merupakan bunga dengan penampilan terbaik, atas dasar tersebut metode FPA dijalankan.

Pada metode FPA terdapat dua langkah kunci yaitu polinasi lokal dan polinasi global. Polinasi lokal adalah polinasi yang dilakukan oleh polinator abiotik seperti angin dan hujan, polinasi lokal terjadi saat serbuk sari suatu bunga jatuh pada putik bunga itu sendiri. Polinasi global adalah polinasi yang dilakukan oleh polinator biotik seperti serangga yang melakukan gerakan unik serangga (Levy Flights) dimana serbuk sari dapat jatuh pada putik dibunga lain[8]. Pada polinasi global serbuk sari dapat dengan jauh dibawa oleh polinator, hal tersebut untuk memastikan suatu solusi dengan hasil terbaik, solusi terbaik (fitness) di representasikan dengan g . [5] Hubungan tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan (1)

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

Dimana :

x_i^t = serbuk sari i atau solusi vektor x_i pada itersasi ke- t ,

L = persamaan jarak terbang serangga (polinator).

L pada persamaan (1) biasa disebut dengan fungsi Levy. Parameter L merupakan kekuatan dari penyerbukan. Fungsi Levy dapat dinyatakan dengan persamaan (2).

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

Untuk penyederhanaan, diasumsikan setiap tumbuhan hanya memiliki satu bunga dan bunga tersebut hanya memproduksi satu serbuk sari, dapat disimpulkan sebuah solusi x_i , sebanding dengan jumlah bunga[8].

Pada polinasi lokal atau aturan kedua, hubungan spesifik bunga direpresentasikan sebagai:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \epsilon (x_j^t - x_k^t) \quad (3)$$

Dimana x_k^t dan x_j^t adalah serbuk sari dari bunga yang lain pada jenis yang sama. Secara sistematis, x_k^t dan x_j^t dating dari jenis yang sama atau dipilih dari populasi yang sama akan menjadi langkah acak lokal jika nilai ϵ merupakan distribusi seragam dari 0 hingga 1. Kebanyakan aktivitas penyerbukan bunga dapat terjadi pada skala local maupun global[8].

Para praktiknya, bunga yang berdekatan lebih sering terpolinasi dari serbuk sari bunga lokal. Oleh karena itu, digunakan kemungkinan pergantian seperti pada aturan keempat atau kemungkinan pendekatan untuk berganti dari polinasi global bersama menjadi polinasi lokal yang intensif [1]. Untuk memulai, dapat digunakan $p = 0,5$ sebagai nilai awal, dan telah diteliti bahwa untuk simulasi, nilai $p = 0,8$ bekerja lebih baik pada kebanyakan aplikasi [6]. Pada Tabel 1 terlampir istilah dalam metode optimasi FPA [5].

Tabel 1 Istilah 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

Perumusan matematika masalah optimasi untuk aplikasi unit DG dinyatakan menggunakan persamaan dibawah ini.

1. Constraint

Obj.function harus memenuhi dari berbagai kendala jaringan distribusi :

1.1. Power loss minimization

$$f_1(X) = \sum_{k=1}^{nb} |I_k|^2 R_k \quad (4)$$

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

1.2. Power balance

$$P_{slack} + \sum_{k=1}^{NSDG} P_{SDG,k} = \sum_{k=1}^{NL} P_{DG} + \sum_{k=1}^{nb} P_{Loss}(k) \quad (5)$$

1.3. DG sizing limits

$$P_{SDG,min} \leq P_{SDGk} \leq P_{SDG,max} \quad (6)$$

1.4. Batasan tegangan yang ijin berada pada $\pm 5\%$ tegangan nominal, sebagaimana dinyatakan pada [10].

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \quad (7)$$

Dengan,

$i = \text{nomor bus} \quad I = 1, 2, 3, 4, \dots, n$

$V_{min} = 0,95 \text{ pu}$

$V_{max} = 1,05 \text{ pu}$

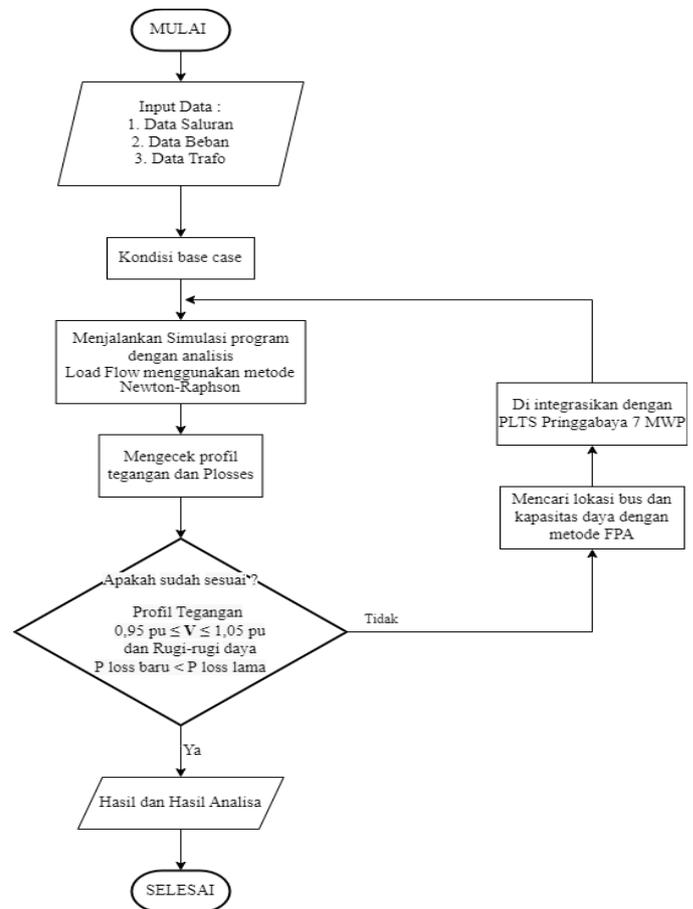
III. METODE PENELITIAN

Model sistem distribusi yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem distribusi Pringgabaya. Dengan tegangan 20kV dan daya semu 100 MVA. Diagram garis tunggal dapat dilihat pada gambar 2 sebagai berikut :

Penelitian ini adalah studi kasus jaringan distribusi dalam sistem tenaga elektrik, dimana yang akan diteliti, yaitu peletakan posisi bus dan kapasitas PLTS yang akan diintegrasikan. Adapun data yang dikumpulkan yaitu daya beban aktif, daya beban reaktif, impedansi, dan reaktansi pada jaringan distribusi Pringgabaya.

Untuk mendapatkan loadflow maka aplikasi yang digunakan adalah DigSilent Power Factory 15.1 dan melakukan optimasi integrasi penempatan dan kapasitas PLTS menggunakan matlab R2018b dengan KV base yaitu 20KV dan MVA base yaitu 100MVA.

Seperti ditunjukkan gambar 2, langkah pertama untuk membuat simulasi loadflow yaitu memasukan data input meliputi, data saluran, data beban, data trafo. Lalu menjalankan loadflow cek tegangan pada tiap bus apakah sudah sesuai. Jika tidak maka dilakukan integrasi PLTS dengan mencari kapasitas dan penempatannya menggunakan matlab dan metode FPA. Setelah didapat solusi terbaik maka Kembali menjalankan loadflow dan cek batas apakah sudah sesuai. Jika sudah sesuai maka akan diambil hasil dan Analisa.

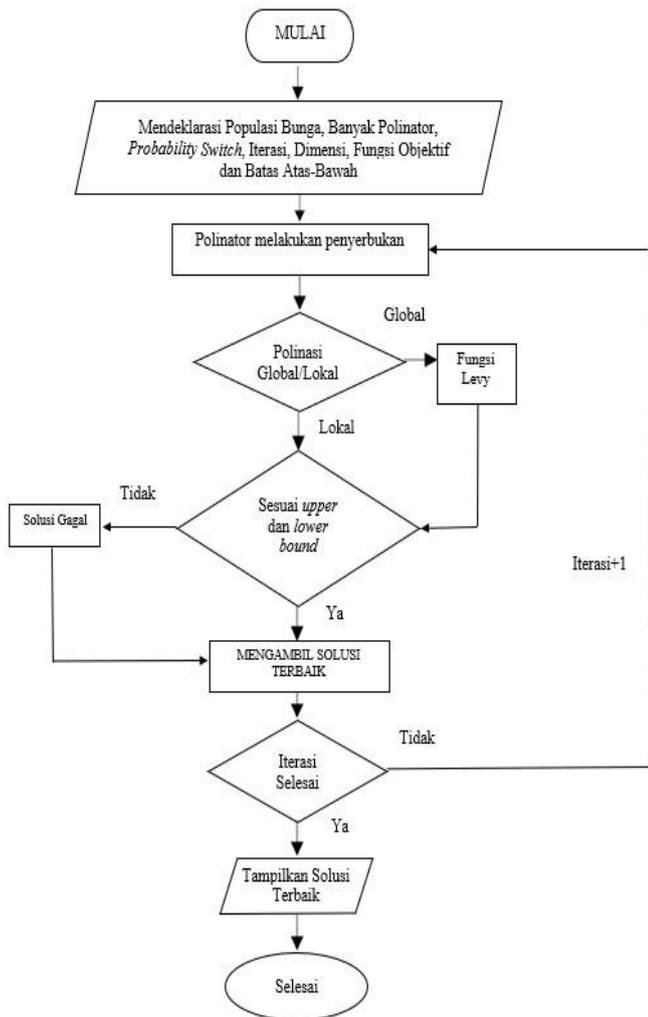


Gambar 2 Flow Chart Load Flow

Diagram alir metode optimasi FPA dapat dilihat pada Gambar 3, adapun penjelasan dari gambar tersebut adalah sebagai berikut [5] :

1. Memasukkan parameter metode FPA seperti jumlah serangga, populasi bunga, *probability switch*, iterasi, dimensi, fungsi objektif DG, dan batas atas-bawah solusi yang ingin didapatkan.
2. 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
3. Akan dilakukan 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.
4. Setelah mendapatkan beberapa solusi dari masing-masing serangga yang telah diseleksi kedalam nilai solusi yang sesuai dengan batas atas dan batas bawah yang ditetapkan, selanjutnya akan dipilih nilai solusi terbaik.
5. Selanjutnya akan dilakukan seleksi apakah nilai iterasi telah mencapai nilai yang dimasukkan diawal, jika tidak maka akan dilakukan pengulangan ke proses pemberian nilai ke dalam fungsi objektif DG hingga iterasi selesai.
6. Jika iterasi sudah tercapai maka akan diambil nilai solusi terbaik dari keseluruhan iterasi metode FPA, hasil akhir

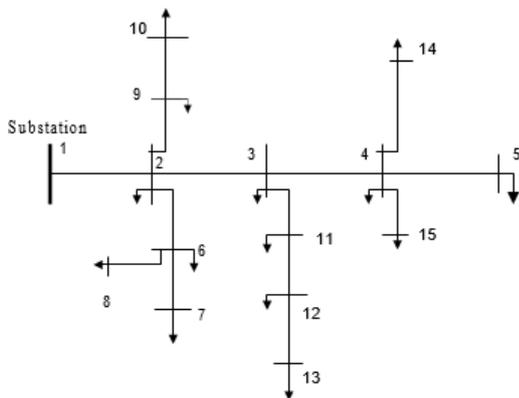
dari program optimasi ini adalah nilai posisi bus optimal dimana DG dipasang dan juga kapasitas masing-masing DG yang akan dipasang.



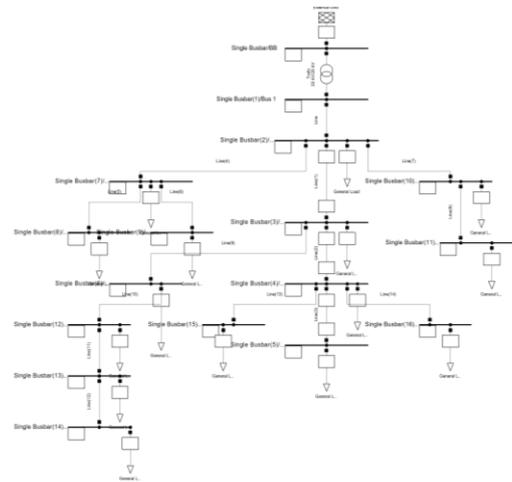
Gambar 3 Optimasi penempatan dan kapasitas metode FPA

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Study kasus pada IEEE 15 Bus radial distribution system



Gambar 4 Single Line Diagram IEEE 15 bus



Gambar 5 Pemodelan Single Line Diagram IEEE 15 bus

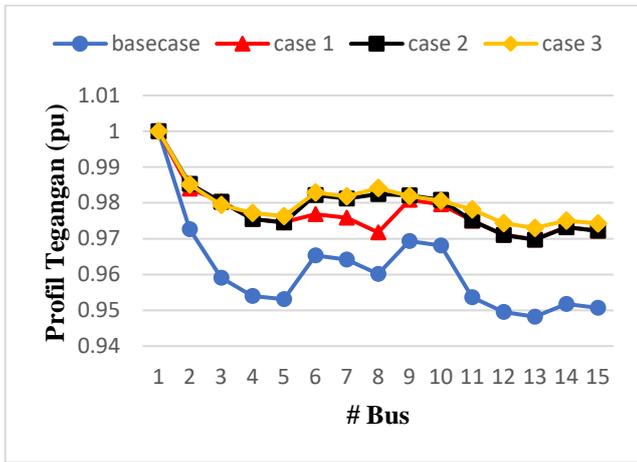
Pada tabel 2 menunjukkan hasil dari simulasi optimasi penempatan dan kapasitas PLTS, berikut hasil yang dapat disimpulkan untuk pemasangan kapasitas PLTS yang diterapkan pada sistem IEEE 15 Bus :

1. Pada kondisi existing losses adalah 53.63 kW dan tegangan minimum adalah 0.9482 pu pada bus 13 tanpa menempatkan PLTS.
2. Menempatkan satu PLTS menghasilkan pengurangan daya menjadi 34.24 kW dan pada bus 8 tegangan minimum 0.9717 pu.
3. Menempatkan dua PLTS bersamaan menghasilkan pengurangan daya menjadi 31.79 kW dan pada bus 13 tegangan minimum 0.9697 pu.
4. Menempatkan dua PLTS bersamaan menghasilkan pengurangan daya menjadi 30.57 kW dan pada bus 13 tegangan minimum 0.973 pu.

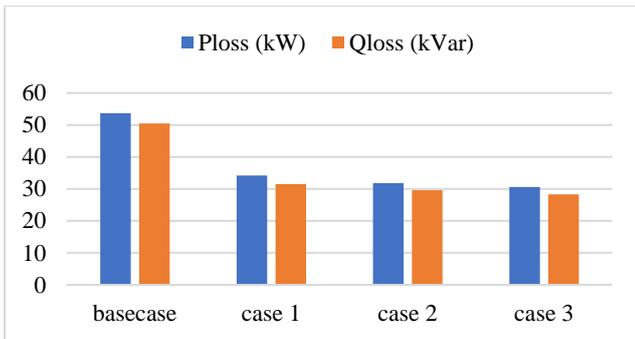
Tabel 2 Hasil simulasi dari data IEEE 15 Bus

case	letak bus	kapasitas (kW)	Total kapasitas (kW)	P Losses (kW)	Q Losses (kVar)
case 1	3	930.468	930.468	34.24	31.53
case 2	3	799.56	1034.28	31.79	29.58
	8	234.72			
case 3	4	388.45	957.39	30.57	28.35
	11	307.53			
	8	261.41			

Pada gambar 6 ditampilkan grafik profil tegangan dari tiap case.



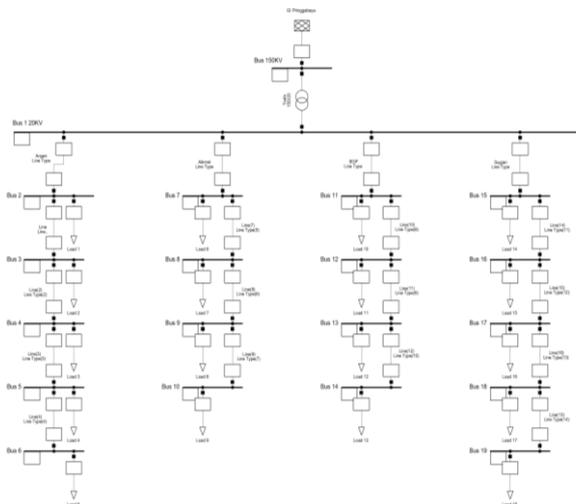
Gambar 6 Perbandingan Profil Tegangan tiap case IEEE 15 bus



Gambar 7 Grafik Hasil Losses pada case dengan kondisi basecase

4.2. Pemodelan single line sistem distribusi 20 kV Pringgabaya

Membuat pemodelan single line diagram sistem kelistrikan 20 kV Lombok Nusa Tenggara Barat menggunakan software *DigSilent Power Factory 15.1*, merupakan langkah awal dalam melakukan analisa. Dimana dalam pemodelan ini akan dimasukkan semua data-data teknik yang meliputi kapasitas, pembangkit, saluran, trafo step-up, trafo distribusi, dan beban.



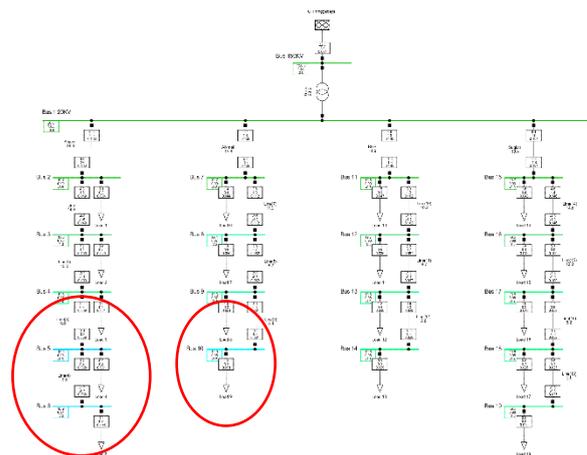
Gambar 8 Single Line Diagram Pringgabaya

Pada penelitian ini dilakukan optimasi penempatan dan kapasitas PLTS pada jaringan distribusi Pringgabaya, dimana setiap bus terjadi kenaikan 50% dari beban awal dan profil tegangan harus bernilai 0,95 pu – 1,05 pu.

Penelitian ini dilakukan 3 case sebagai berikut:

1. Mengintegrasikan PLTS pertama dengan daya yang sudah ditentukan dan posisi bus pertama yang sudah ditentukan.
2. Kemudian mengintegrasikan kapasitas PLTS kedua yang di tentukan ke bus kedua yang sudah ditentukan.
3. Setelah itu mengintegrasikan kapasitas PLTS ketiga yang di tentukan ke bus ketiga yang sudah ditentukan.

Simulasi ini dilakukan sebanyak 2000 iterasi untuk mendapatkan hasil yang optimal. Pencarian kapasitas PLTS ditentukan dalam rentang 1 – 7000 kW. Hasil terbaik dari penentuan lokasi dan kapasitas PLTS diindikasikan oleh rugi-rugi daya (P_{loss}) terendah.



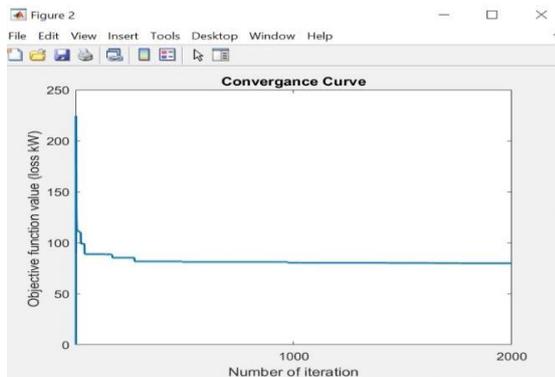
Gambar 9 Load Flow Single Line Diagram Pringgabaya System

Pada gambar 9 adalah kondisi *existing* setelah menjalankan *loadflow* dimana terdapat bus yang bermasalah yaitu jatuh tegangan berada di luar dari Batasan yang telah di tentukan pada rumus 7 dan total losses pada kondisi ini yaitu 0,36 mW dan 0,74 mVar.

A. Optimasi penempatan PLTS menggunakan metode FPA

Pada tahapan ini dilakukan optimasi pemasangan PLTS pada Pringgabaya. Optimasi ini nantinya dilakukan pada bus beban dimana terdapat daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). Dengan bertujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan menggunakan metode FPA.

Berdasarkan *flowchart load flow* pada gambar 3 untuk menggambarkan tahapan optimasi pada Pringgabaya. Gambar 4 yaitu optimasi penempatan dan kapasitas meode FPA menjelaskan tentang Integrasi PLTS menggunakan FPA pada gambar 3.

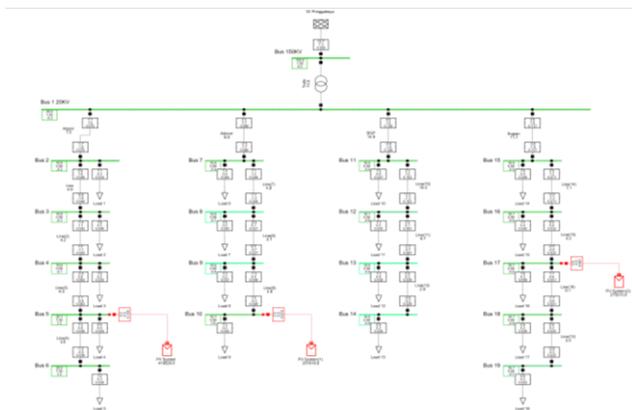


Gambar 10 Convergen Curve FPA

Tabel 3 Hasil penempatan dan kapasitas tiap case

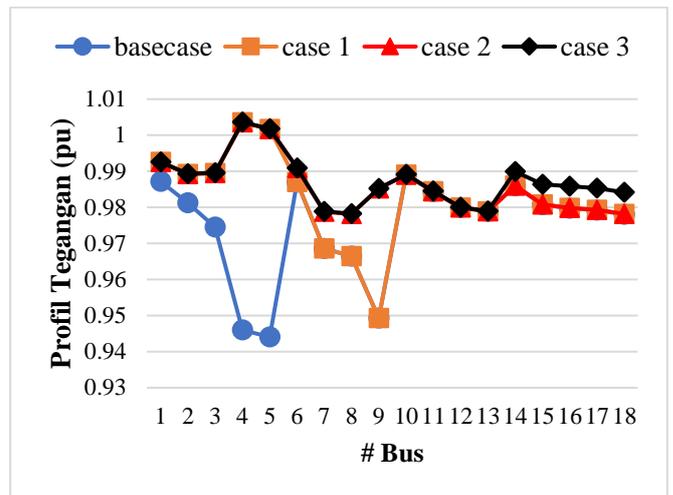
PLTS	Posisi Bus	Kapasitas PLTS (mW)
Case 1	5	4.1853
Case 2	10	2.5102
Case 3	17	2.7521

Setelah dilakukan optimasi menggunakan metode FPA didapat hasil dari penempatan dan kapasitas PLTS tiap case yang terdapat pada tabel 3 dengan masing masing bus dan kapasitas tersebut kemudian implementasikan pada software DigSilent Power Factory 15.1 seperti pada gambar 11.



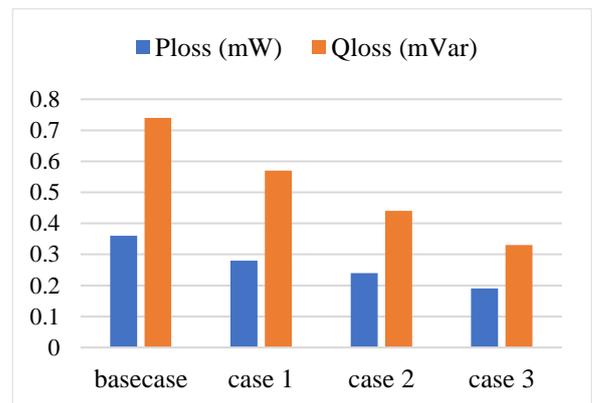
Gambar 11 Implementasi Integrasi PLTS.

Pada gambar 9 menunjukkan losses terendah didapatkan pada case 3 yaitu dengan 3 PLTS dengan letak bus berurutan 5, 10, dan 17 dengan masing masing kapasitas secara berurutan yaitu 4185,3 kW, 2510,2 kW dan 2752,1 kW.. Berikut grafik perbandingan profil tegangan pada kondisi existing dan masing-masing case terdapat pada gambar 8.



Gambar 12 Hasil Study Case Integrasi PLTS

Pada gambar 12 di kondisi existing dapat dilihat tegangan minimum 0,94404 pu pada bus 5, untuk kondisi setelah integrasi dengan 3 PLTS tegangan minimum yaitu 1 pu pada bus 5



Gambar 13 Grafik Hasil Losses pada case dengan kondisi basecase

V. KESIMPULAN

Pada penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa Optimasi penempatan dan kapasitas PLTS menggunakan metode FPA pada penyulang Pringgabaya :

1. Integrasi PLTS-DG pada system 15 bus radial dengan mampu meningkatkan profil tegangan, yang sebelumnya profil tegangan 0,9482 pu menjadi 0,9730 pu dan mereduksi rugi-rugi daya dari 53.63 kW dan 50.46 kVar menjadi 30.57 kW dan 28.35 kVar.
2. Sedangkan untuk sistem kelistrikan Pringgabaya 20 kV yang sebelumnya profil tegangan 0,94404 pu dapat ditingkatkan menjadi 1,00176 pu dengan penempatan PLTS optimal terletak pada bus 5, 10, dan 17 dengan masing masing kapasitas secara berurutan yaitu 4185,3 kW, 2510,2 kW dan 2752,1 kW. Dengan total kapasitas PLTS 9447,6 kW dapat meningkatkan profil tegangan dan menurunkan rugi daya aktif dan reaktif dari 0,36 mW menjadi 0,19 mW dan dari 0,74 mVar menjadi 0,33 mVar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. I. B. Fitrizawati, Suharyanto, "Pengaruh Pemasangan Distributed Generation terhadap Profil Tegangan pada jaringan Distribusi," vol. 13, no. 1, pp. 12–19, 2012.
- [2] T. Ackermann, G. Andersson, and L. Söder, "Distributed generation: A definition," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 57, no. 3, pp. 195–204, 2001, doi: 10.1016/S0378-7796(01)00101-8.
- [3] M. I. Mashudi, A. U. Krismanto, and ..., "Analisa Pengaruh Variasi Beban Terhadap Profil Tegangan Pada Feeder GI Polehan Distribusi 20 kV PLN Kota Malang," *Anal. Pengaruh Variasi ...*, pp. 367–377, 2020, [Online]. Available: [http://eprints.itn.ac.id/6464/%0Ahttp://eprints.itn.ac.id/6464/1/Analisa Pengaruh Variasi Beban Terhadap Profil Tegangan Pada Feeder GI Polehan Distribusi 20 kV PLN Kota MalangDownload.pdf](http://eprints.itn.ac.id/6464/%0Ahttp://eprints.itn.ac.id/6464/1/Analisa%20Pengaruh%20Variasi%20Beban%20Terhadap%20Profil%20Tegangan%20Pada%20Feeder%20GI%20Polehan%20Distribusi%2020%20kV%20PLN%20Kota%20MalangDownload.pdf)
- [4] A. D. A. Primayanti, "Analisis Integrasi PLTA Wonorejo Terhadap PROFIL TEGANGAN DAN RUGI-Rugi Daya," 2022.
- [5] S. Konstruksi, "Standar konstruksi jaringan tegangan menengah tenaga listrik," 2010.
- [6] B. H. Purwoto, J. Jatmiko, M. A. Fadilah, and I. F. Huda, "Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 1, pp. 10–14, 2018, doi: 10.23917/emit.v18i01.6251.
- [7] I. M. Wartana, T. Herbasuki, and N. P. Agustini, "Integrasi Optimal Distributed Generator untuk Meningkatkan Performansi Sistem dengan Teknik Optimasi Evolusi," pp. 411–420, 2015.
- [8] T. Hidayat, L. Mahfudz Hayusman, and R. Setiawan, "Integrasi Distributed Generation (Dg) Pada Sistem Distribusi 20 Kv Sebagai Upaya Mengurangi Losses Dan Meningkatkan Profil Tegangan," *Ind. Inov. J. Tek. Ind.*, vol. 8, no. 2, pp. 22–26, 2018, doi: 10.36040/industri.v8i2.650.
- [9] M. Nizam, "Pembangkit Listrik Terdistribusi (Distributed Generation) Sebagai Upaya Pemenuhan Kebutuhan Energi Listrik di Indonesia," *J. Kanika*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2008.
- [10] 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," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 1, pp. 1–13, 2021, doi: 10.14710/jebt.2021.10038.
- [11] J. Sardi, A. B. Pulungan, R. Risfendra, and H. Habibullah, "Teknologi Panel Surya Sebagai Pembangkit Listrik Untuk Sistem Penerangan Pada Kapal Nelayan," *J. Penelit. dan Pengabd. Kpd. Masy. UNSIQ*, vol. 7, no. 1, pp. 21–26, 2020, doi: 10.32699/ppkm.v7i1.794.
- [12] M. Plts, I. T. N. Malang, and I. T. Nasional, "ANALISIS PROBABILISTIK PENGARUH TERHADAP PROFIL TEGANGAN SISTEM," pp. 1–8, 2022.
- [13] S. Sunardiyo, "Studi Analisis Aliran Beban (Load Flow) Sistem Tenaga Listrik Implementasi Pada Jaringan Kelistrikan Di Unnes," *Teknik-UNISFAT*, vol. Vol.4, no. Maret 2009, pp. 117–128, 2009.
- [14] DigSILENT GmbH, "DigSilent Power Factory V 15.1.7," 2014, [Online]. Available: <https://www.digsilent.de/en/>
- [15] Y. Alif Augusta and W. B. Pramono, "Optimasi Penempatan Dan Kapasitas Multi DG Pada Sistem Distribusi Dengan Metode Flower Pollination Algorith (FPA)." 2018, 123456789/7962
- [16] S. Kumar Sudabattul, "Flower Pollintion Algorithm Based Optimal Placement of Solar Based Distributed Generators in Distribution System," Vol. 6, no.4, 2016.

VI. BIODATA PENULIS

FOTO
MAHA
SISWA

Nama Fatkhur Rochmn, lahir tanggal 1 bulan Juni tahun 2000 di Kota Pasuruan, Jawa Timur. Pada tahun 2006-2012 menempuh pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SDN Karang Ketug 02, pada tahun 2013-2015 melanjutkan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 07 Pasuruan, pada tahun 2016-2018 melanjutkan sekolah di Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 02 Pasuruan, dan pada tahun 2019 memulai pendidikan Perguruan Tinggi Swasta (PTS) di Institut Teknologi Nasional Malang, Jawa Timur mengambil jurusan Teknik Elektro S-1 konsentrasi Energi Listrik.