

**OPTIMASI PENENTUAN LOKASI PENEMPATAN
DISTRIBUTED GENERATION MENGGUNAKAN METODE
HYBRID FLOWER POLLINATION ALGORITHM (FPA) DAN β -
HILL CLIMBING**



Disusun dan Diajukan oleh:

**M. SAHRUL RAMADHAN
D032202009**

Pembimbing:

**ARDIATY ARIEF, ST.,MTM., Ph. D
Dr. Ir. RHIZA S. SADJAD, MSEE**

**PROGRAM PASCASARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022**

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
BAB I 1 PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Batasan Masalah	6
E. Manfaat Penelitian	6
F. Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Sistem Tenaga Listrik	8
B. Sistem Pembangkit Tenaga Listrik	8
C. Sistem Distribusi Tenaga Listrik	9
D. Distributed Generation (DG)	11
E. Analisis Aliran Daya	13
F. Backward and Forward Sweep (BFS)	14
G. Flower Pollination Algorithm (FPA)	16
H. Algoritma β -Hill Climbing	19
I. Kerangka Pikir	21
J. State of The Art Penelitian	22
BAB III METODE PENELITIAN	31
A. Jenis Penelitian	31
B. Software yang Digunakan	31
C. Waktu dan Lokasi Penelitian	31
D. Diagram Penelitian	33
DAFTAR PUSTAKA	35

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pembangkit terdistribusi atau *Distributed Generation* (DG) telah memperoleh banyak daya tarik di sektor listrik karena kemampuannya dalam pengurangan rugi-rugi daya, peningkatan keandalan, biaya investasi yang rendah, dan yang paling signifikan, untuk mengeksplorasi sumber daya energi terbarukan, yang menghasilkan listrik dengan emisi gas rumah kaca minimum seperti angin fotovoltaik dan turbin mikro (Tan et al., 2013). Selain itu kontribusi generator terdistribusi untuk sistem tenaga termasuk peningkatan efisiensi energi dan kualitas daya untuk keandalan dan keamanan (Pesaran H.A et al., 2017). Sehubungan dengan kemampuannya dalam memanfaatkan sumber energi alternatif, DG memberikan masa depan yang menjanjikan untuk pembangkit listrik di jaringan listrik.

Jaringan distribusi radial dirancang untuk aliran daya satu arah dan bersifat pasif. Namun dengan penetrasi (DG), aliran listrik menjadi dua arah dan jaringan menjadi aktif. Integrasi DG ke dalam jaringan distribusi memberikan banyak tantangan diantaranya: kestabilan sistem, koordinasi proteksi, kualitas daya, islanding, penempatan dan ukuran yang tepat (Katyara et al., 2018).

Rugi-rugi daya pada jaringan distribusi semakin mengakibatkan kerugian ekonomi selama penyaluran daya ke konsumen. Untuk mengurangi rugi-rugi seperti itu, koneksi (DG) ke sistem distribusi telah diidentifikasi sebagai cara untuk memecahkan masalah tersebut jika ditempatkan dengan benar di jaringan (Musa, 2019).

Terdapat beberapa penelitian yang mengangkat tema optimasi penempatan dan kapasitas DG seperti yang dilakukan oleh (Al Abri et al., 2013), pada penelitian tersebut dilakukan optimasi DG dengan menggunakan Metode Penempatan dan Ukuran Optimal untuk meningkatkan Margin Kestabilan Tegangan, dan didapatkan kesimpulan bahwa DG ukuran dan lokasi dapat berdampak positif pada margin kestabilan tegangan. Oleh karena itu, metode optimasi dapat digunakan untuk menentukan lokasi dan ukuran unit DG, untuk mencapai target peningkatan margin kestabilan tegangan. Menurut (Sanjay et al., 2017) pada penelitian tersebut dengan menggunakan metode *Hybrid Grey Wolf Optimizer* menunjukkan bahwa ada pengurangan rugi-rugi daya yang cukup besar dan peningkatan profil tegangan bus di seluruh jaringan.

Empat jenis injeksi daya DG yang umum adalah dijelaskan di sini. Tipe pertama, tipe 1 adalah yang menyediakan hanya injeksi daya nyata, seperti yang biasanya terjadi pada sumber fotovoltaik. Tipe 2 adalah yang memberikan kekuatan nyata injeksi dalam hubungannya dengan konsumsi daya reaktif, seperti dengan generator induksi yang biasa ditemukan di angin

turbin. Tipe 3 mampu memberikan yang nyata dan reaktif injeksi daya, dan dikaitkan dengan sinkron generator. Tipe 4 memberikan injeksi hanya daya reaktif, dan termasuk perangkat seperti SVC dan kondensor sinkron (Chang et al., 2011).

Metode Flower Pollination Algorithm (FPA) adalah metode optimasi sistem berbasis proses penyerbukan (polinasi) bunga di alam. Metode FPA digunakan karena lebih efektif daripada metode yang lebih umum digunakan dalam proses optimasi seperti Genetic Algorithm (GA) dan Particle Swarm Optimization (PSO)(Al-Betar et al., 2019).

FPA memiliki kelebihan dibandingkan dengan algoritma berbasis populasi lainnya, seperti mudah digunakan, parameter bebas turunan, tanpa parameter, kesederhanaan, kemampuan beradaptasi, dapat digunakan kembali, fleksibilitas, dan skalabilitas(Alkareem Alyasseri et al., 2021). Oleh karena itu, beberapa masalah optimasi telah berhasil ditangani oleh FPA. Namun, seperti algoritma berbasis populasi lainnya, FPA juga memiliki kelemahan terkait dengan proses eksploitasinya. Oleh karena itu, beberapa percobaan hibridisasi telah dilakukan untuk mengatasi kelemahannya.

Dalam makalah ini, β -Hill climbing optimizer dihibridisasi dengan FPA sebagai metode penyempurnaan lokal untuk menekankan proses eksploitasi FPA. Tujuan utama mengusulkan *Hybrid Flower Pollination Algorithm* (FPA)

dan β -Hill Climbing adalah untuk meningkatkan keseimbangan antara eksplorasi dan eksploitasi melalui proses pencarian.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi penentuan penempatan (DG) menggunakan metode *Hybrid Flower Pollination Algorithm* dan β -hill climbing untuk meminimalkan rugi-rugi daya serta meningkatkan profil tegangan pada sistem. Penelitian ini akan dilakukan dengan model sistem distribusi IEEE 33 dan 69 bus dengan standar IEEE. Diharapkan dengan menggunakan metode *Hybrid Flower Pollination Algorithm* dan β -hill climbing ini, penentuan lokasi dan kapasitas DG tipe 1, tipe 2 dan tipe 3 dapat optimal sehingga menjadi efektif dan efisien.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana menerapkan metode optimasi *Hybrid Flower Pollination Algorithm* (FPA) dan β -Hill Climbing untuk penentuan lokasi dan ukuran DG yang optimal?
2. Bagaimana mengoptimalkan penempatan lokasi dan kapasitas DG untuk meminimalkan rugi-rugi jaringan dan memaksimalkan keluaran daya aktif DG dalam sistem distribusi radial menggunakan metode *Hybrid Flower Pollination Algorithm* (FPA) dan β -Hill Climbing ?

3. Bagaimana efektifitas metode FPA pada saat melakukan penempatan DG dengan membandingkan nilai rugi-rugi daya tanpa menggunakan metode dan dengan menggunakan metode *Hybrid Flower Pollination Algorithm* (FPA) dan *β -Hill Climbing* ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian optimasi penentuan lokasi penempatan distributed generation menggunakan metode *Hybrid Flower Pollination Algorithm* (FPA) dan *β -Hill Climbing*:

1. Menerapkan metode optimasi *Hybrid Flower Pollination Algorithm* (FPA) dan *β -Hill Climbing* untuk penentuan lokasi dan ukuran DG yang optimal?
2. Mengoptimalkan penempatan lokasi dan kapasitas DG untuk meminimalkan rugi-rugi jaringan dan memaksimalkan keluaran daya aktif DG dalam sistem distribusi radial menggunakan metode *Hybrid Flower Pollination Algorithm* (FPA) dan *β -Hill Climbing*.
3. Mengevaluasi efektifitas metode FPA pada saat melakukan penempatan DG dengan membandingkan nilai rugi-rugi daya tanpa menggunakan metode dan dengan menggunakan metode *Hybrid Flower Pollination Algorithm* (FPA) dan *β -Hill Climbing*.

D. Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam penelitian ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut :

1. Fungsi obyektif dari optimisasi yang dilakukan adalah meminimalkan rugi daya dan memperbaiki kestabilan tegangan pada sistem distribusi.
2. Menggunakan sistem distribusi IEEE 33 bus dan 69 bus.
3. Metode aliran daya yang digunakan pada penelitian ini adalah *Backward and Forward Sweep* (BFS).
4. Metode optimasi yang digunakan adalah *Hybrid Flower Pollination Algorithm* (FPA) dan *β -Hill Climbing*.

E. Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menjadi pertimbangan bagi pihak pengembang sistem distribusi aktif untuk dapat menggunakan metode yang diusulkan dan digunakan baik dalam perencanaan maupun pengembangan sistem distribusi kedepan.
2. Menjadi referensi bagi untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan optimasi penentuan penempatan *distributed generation* dan aliran daya distribusi aktif.

F. Sistematika Penulisan

Penulisan pada proposal penelitian ini disusun dalam suatu sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, permasalahan, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang teori pendukung yang digunakan dalam penulisan proposal penelitian ini yang menjelaskan teori mengenai dasar sistem tenaga listrik dan analisa aliran daya.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, metode yang digunakan dan diagram penelitian yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik terdiri dari 3 sub sistem, yaitu sistem pembangkit tenaga, sistem penyaluran dan instalasi pengguna listrik. Sistem pembangkit digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan mengubah energi sebagai batu bara, bahan bakar minyak bumi, panas bumi, pembangkit listrik tenaga air, energi matahari, angin, dan lain-lain. Di dalam sistem tenaga listrik dengan kapasitas cukup besar sistem pembangkitannya adalah sistem pembangkitan dengan menggunakan generator sinkron. Sistem penyaluran berfungsi untuk meyalurkan tenaga listrik yang dibangkitkan dari sistem pembangkit ke sistem instalasi pengguna tenaga listrik. Sistem penyaluran dibagi menjadi dua, yaitu sistem transmisi dan distribusi. Misalnya yaitu instalasi rumah, instalasi pabrik, instalasi gedung bertingkat, instalasi hotel, dan lain-lain (Hasanah et al., 2015).

B. Sistem Pembangkit Tenaga Listrik

Sistem pembangkit berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik dengan cara mengkonversi energi primer seperti batu bara, bahan bakar minyak, panas bumi, tenaga air, tenaga surya, tenaga angin, dan lain-lain. Dalam sistem tenaga listrik dengan kapasitas yang cukup besar sistem

pembangkitnya merupakan sistem pembangkit dengan menggunakan generator sinkron. Sistem pembangkit ditinjau dari jenis energi primernya dapat digolongkan menjadi 2 yaitu :

1. Pembangkit dengan energi primer tak terbarukan. Energi Primer tak terbarukan merupakan bahan bakar fosil. (Non renewable) seperti : Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), dan lain-lain.
2. Pembangkit dengan energi primer terbarukan. (*Renewable*), seperti: Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), dan lain-lain.

Sehubungan dengan bahan bakar fosil di Indonesia semakin menipis, untuk itu Pemerintah Indonesia merencanakan penggunaan energi primer terbarukan untuk meningkatkan penggunaan energi primer yang terbarukan yang masih berpotensi untuk dikembangkan, seperti Pembangkit Listrik Tenaga *Thermal* dengan menggunakan *biofuel*, PLTP, PLTS, PLTB, dan lain-lain (Hasanah et al., 2015).

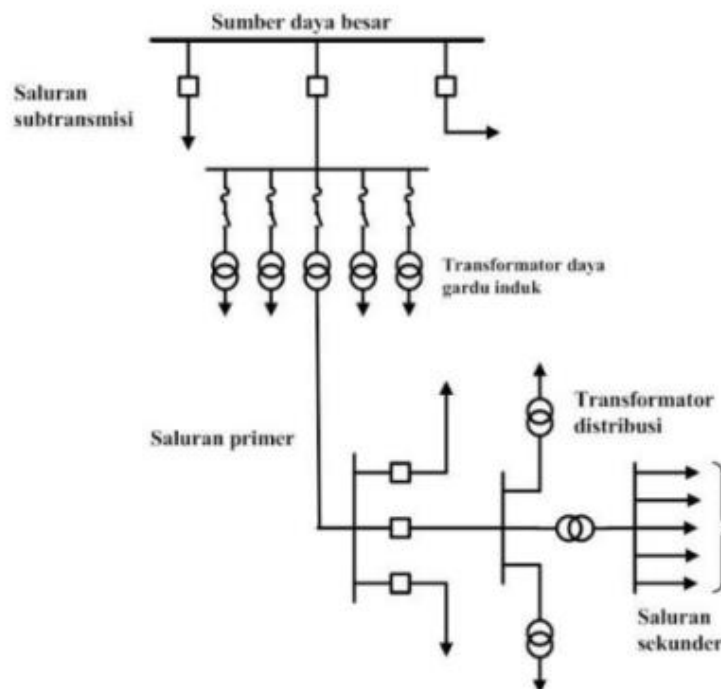
C. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dalam definisi secara umum, sistem distribusi adalah bagian dari sistem perlengkapan elektrik antara sumber daya besar (*bulk power source*, BPS) dan

peralatan hubung pelanggan (*costumer service switches*). Berdasarkan definisi ini maka sistem distribusi meliputi komponen-komponen berikut:

1. Sistem subtransmisi
2. Gardu induk distribusi
3. Penyulang distribusi atau penyulang primer
4. Transformator distribusi
5. Pelayanan pelanggan

Gambar 2.1 menunjukkan diagram satu garis dari sistem distribusi yang khas. Rangkaian subtransmisi mengirimkan energi dari sumber daya besar ke gardu induk distribusi. Tegangan subtransmisi berkisar antara 12,47 kV sampai dengan 245 kV.



Gambar 2. 1 Diagram satu garis sistem distribusi (Sumber: Imran et al., 2019)

Setelah energi listrik sampai pada gardu induk distribusi, kemudian diturunkan tegangannya menggunakan *transformator step-down* menjadi tegangan menengah yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Kecenderungan pada saat ini tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah tegangan 20 kV. Setelah energi listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM), maka energi listrik kemudian diturunkan lagi tegangannya dalam gardu-gardu distribusi (*transformator distribusi*) menjadi tegangan rendah, yaitu tegangan 380/220 Volt, dan selanjutnya disalurkan melalui saluran sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR) ke pelanggan PLN (Imran et al., 2019).

D. *Distributed Generation (DG)*

Distributed Generation (DG) adalah pembangkit listrik dengan kapasitas kecil yang terletak dekat dengan titik konsumen. *Distributed Generation* memiliki potensi untuk digunakan pada sistem tenaga listrik untuk meningkatkan keandalan sistem baik secara langsung maupun tidak langsung. Misalnya, DG dapat digunakan secara langsung untuk mendukung level tegangan lokal dan menghindari pemadaman listrik (Erwin Prawira Santosa et al., 2015).

Menurut International Council on Large Electricity System (CIGRE) definisi DG sebagai setiap unit pembangkit dengan kapasitas maksimum 50 MW sampai 100 MW, yang biasanya terhubung ke jaringan distribusi. Di

samping itu *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), mendefinisikan DG sebagai pembangkit energi listrik yang dilakukan oleh peralatan yang lebih maju lebih kecil dari pembangkit listrik pusat sehingga memungkinkan interkoneksi dalam hampir semua titik pada sistem tenaga listrik. Sementara itu, *International Energy Agency* (IEA), mendefinisikan DG sebagai unit pembangkit listrik pada konsumen dan memasok tenaga listrik langsung ke jaringan distribusi lokal (Purchala et al., 2006).

DG memiliki beberapa jenis seperti mikrohidro, pembangkit fotovoltai, pembangkit angin dan mesin diesel dan baterai yang terdiri dari beberapa modul. Kapasitas pembangkitan DG terdiri dari beberapa kategori, berikut ini adalah Tabel klasifikasi *Distributed Generation* (DG) berdasarkan kapasitas pembangkitnya (Erwin Prawira Santosa et al., 2015).

Tabel 2.1 Klasifikasi *Distributed Generation* (DG) berdasarkan Kapasitas Pembangkitan (Erwin Prawira Santosa et al., 2015).

Jenis DG	Kapasitas Pembangkitan
<i>Micro</i> DG (DG Mikro)	1 Watt < 5 kW
<i>Small</i> DG (DG Kecil)	5 kW < 5 MW
<i>Medium</i> DG (DG Sedang)	5 MW < 50 MW
<i>Large</i> DG (DG Besar)	50 MW < 300 MW

Empat jenis injeksi daya DG yang umum adalah dijelaskan di sini. Tipe pertama, tipe 1, adalah yang menyediakan hanya injeksi daya aktif, seperti yang biasanya terjadi pada sumber fotovoltaik. Tipe 2 adalah yang memberikan injeksi daya aktif namun konsumsi daya reaktif, seperti dengan generator induksi yang biasa ditemukan di angin turbin. Tipe 3 mampu memberikan yang nyata dan reaktif injeksi daya, dan dikaitkan dengan sinkron generator. Tipe 4 memberikan injeksi hanya daya reaktif, dan termasuk perangkat seperti SVC dan kondensor sinkron (Chang et al., 2011).

E. Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya adalah alat penting untuk sistem tenaga perencanaan dan operasi. Namun, aliran daya konvensional metode seperti Newton-Raphson atau Fast Decoupled, yang biasanya dirancang untuk sistem transmisi listrik, tidak cocok untuk analisis aliran beban sistem distribusi daya. Jaringan distribusi biasanya bersifat radial dan pengumpulan memiliki rasio R/X yang tinggi, oleh karena itu tidak dikondisikan untuk hal tersebut aliran beban. Untuk berbagai aplikasi dalam *Distribution Automation* (DA), beberapa metode aliran daya telah dikembangkan dalam dua dekade terakhir, yang dikenal sebagai metode *Distribution system load flow* (DSLFL). Metode ini memanfaatkan karakteristik topologi khusus dari *Radial distribution network* (RDN). Di antara beberapa metode DSLFL, metode berbasis *Backward and*

Forward Sweep (BFS) terbukti menjadi metode yang paling sederhana dan cepat untuk melakukan distribusi aliran beban sistem.

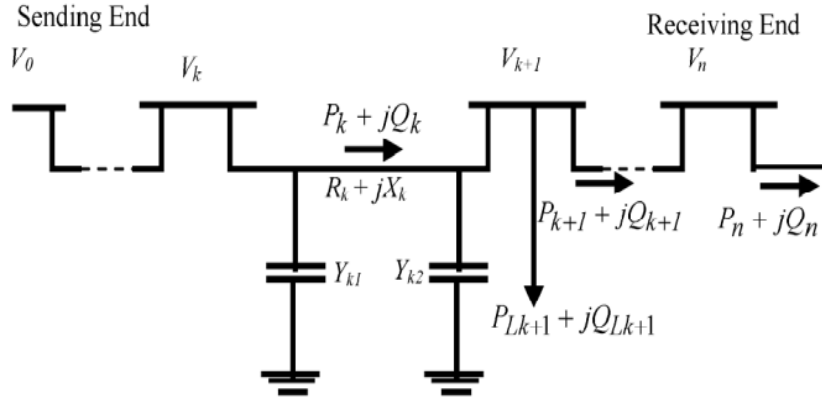
Dewasa ini sistem distribusi listrik menjadi fokus karena untuk meningkatkan penetrasi DG. Integrasi DG ke dalam sistem distribusi mengubah dasar konfigurasi dari sistem pasif ke sistem aktif. Ini membawa manfaat tertentu serta tantangan, manfaat teknis utama adalah (Mishra et al., 2014):

1. Mengurangi rugi-rugi pada saluran.
2. Peningkatkan profil tegangan.
3. Pengurangan emisi polutan,
4. Peningkatan efisiensi energi secara keseluruhan.
5. Keandalan dan keamanan sistem yang ditingkatkan.
6. Peningkatan kualitas daya.
7. Kemacetan/kongesti transmisi dan distribusi yang berkurang.

F. *Backward and Forward Sweep (BFS)*

Mari kita pertimbangkan jaringan radial, metode *Backward and Forward Sweep* (BFS) untuk perhitungan aliran beban adalah metode iteratif di mana, pada setiap iterasi, dua tahap komputasi dilakukan: Aliran beban dari jaringan sumber tunggal dapat diselesaikan secara iteratif dari dua set persamaan rekursif. Himpunan persamaan pertama untuk perhitungan aliran daya pada setiap cabang dimulai dengan menghitung aliran arus beban pada bus terakhir

menuju ke titik sumber (*backward*). Himpunan persamaan lainnya adalah untuk menghitung besarnya tegangan dan sudut setiap fasa pada setiap bus dimulai dari titik sumber menuju bus terakhir (*forward*).



Gambar 2. 2 Diagram satu garis aliran daya (Sumber: Rupa & Ganesh, 2014)

Metode BFS sekarang dirumuskan kembali dengan cara yang sesuai untuk analisis konvergensi proses berulang. Perhatikan Gambar 2.2, cabang terhubung antara bus 'k' dan 'k+1'. Aktif efektif (P_k) dan reaktif (Q_k) daya yang mengalir melalui cabang dari bus 'k' ke bus 'k+1' dapat dihitung mundur dari simpul terakhir dapat dinyatakan pada persamaan:

$$P_k = P'_{k+1} + r_k \frac{(P'^2_{k+1} + Q'^2_{k+1})}{V_{k+1}^2} \quad (1)$$

$$Q_k = Q'_{k+1} + X_k \frac{(P'^2_{k+1} + Q'^2_{k+1})}{V_{k+1}^2} \quad (2)$$

Dimana,

$$P'_{k+1} = P_{k+1} + P_{Lk+1} \quad (3)$$

$$Q'_{k+1} = Q_{k+1} + Q_{Lk+1} \quad (4)$$

P_{Lk+1} dan Q_{Lk+1} merupakan beban-beban yang terhubung pada bus 'k+1', P_{k+1} dan Q_{k+1} adalah aliran daya nyata dan reaktif yang efektif dari bus 'k+1'.

Nilai tegangan dan sudut fasa pada bus yang diperlukan untuk metode perhitungan metode *forward*. Perhitungan persamaan dengan metode *forward* termasuk $V_k < \delta_k$ di bus 'k' serta mengetahui $V_{k+1} < \delta_{k+1}$ di bus 'k+1', maka arus mengalir melalui cabang yang memiliki impedansi, $z_k = r_k + jx_k$ terhubung antara 'k' dan 'k+1' dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$I_k = \frac{V_k - V_{k+1}}{r_k + jx_k} \quad (5)$$

Awalnya, profil tegangan datar di semua bus yaitu 1,0 pu. daya dihitung secara iteratif dengan tegangan yang diterapkan ke setiap bus. Dalam metode aliran daya yang diusulkan, penjumlahan daya dilakukan dengan metode *backward* dan tegangan dihitung dengan metode *forward* (Rupa & Ganesh, 2014).

G. Flower Pollination Algorithm (FPA)

Flower Pollination Algorithm (FPA) atau algoritma penyerbukan bunga dikembangkan oleh Xin-She Yang pada tahun 2012, terinspirasi oleh proses penyerbukan aliran tanaman berbunga. FPA telah diperluas ke multi-tujuan optimasi. Untuk kesederhanaan, empat aturan berikut digunakan:

1. Penyerbukan biotik dan penyerbukan silang dapat dianggap sebagai proses penyerbukan global, dan penyerbuk yang membawa serbuk sari bergerak dengan cara yang mematuhi Lévy flight.
2. Untuk penyerbukan lokal, digunakan penyerbukan abiotik dan penyerbukan sendiri.
3. Penyerbuk seperti serangga dapat mengembangkan keteguhan bunga, yang setara dengan reproduksi probabilitas yang sebanding dengan kesamaan dua bunga yang terlibat.
4. Interaksi atau peralihan penyerbukan lokal dan penyerbukan global dapat dikendalikan oleh probabilitas saklar $p \in [0,1]$, sedikit bias terhadap penyerbukan lokal.

Untuk merumuskan rumus pembaruan, aturan di atas harus diubah menjadi persamaan pembaruan yang tepat. Misalnya, dalam langkah penyerbukan global, gamet serbuk sari bunga dibawa oleh penyerbuk seperti serangga, dan serbuk sari dapat melakukan perjalanan jarak jauh karena serangga sering dapat terbang dan bergerak dalam jarak yang jauh lebih jauh. Oleh karena itu, Aturan 1 dan keteguhan bunga (Aturan 3) dapat direpresentasikan secara matematis sebagai:

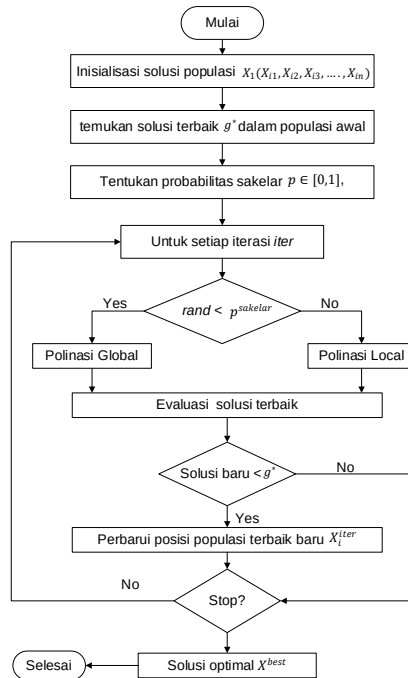
$$x_i^{t+1} = x_i^t + \gamma L(\lambda)(g_* - x_i^t) \quad (6)$$

Dimana x_i^t = serbuk sari / atau solusi vektor x_i pada itersai ke- t dan g_* adalah solusi terbaik yang ditemukan saat ini di antara semua solusi pada generasi/iterasi. γ adalah faktor penskalaan untuk mengontrol langkah ukuran.

L pada persamaan (6) biasa disebut dengan fungsi Levy. Parameter L merupakan kekuatan dari penyerbukan. Fungsi Levy dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$L \sim \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin\left(\frac{\pi\lambda}{2}\right)}{\pi} \cdot \frac{1}{\delta^{1+\lambda}}, (\delta \gg \delta_0 > 0) \quad (7)$$

$\Gamma(\lambda)$ merupakan fungsi gamma, dan pada persamaan (7) bernilai valid saat $\delta > 0$, pada teorinya nilai $\delta_0 = 0,1$ (Yang et al., 2014). Gambar 2.3 memperlihatkan flowchart metode FPA.



Gambar 2. 3 Flowchart Flower Pollination Algorithm (Sumber: (Alyasseri et al., 2018))

H. Algoritma β -Hill Climbing

Hill Climbing (HC) adalah teknik optimasi langsung. Seperti dalam pendekatan pencarian lokal, teknik berulang dari pendakian bukit algoritma dimulai melalui pengembangan solusi acak kemudian dilanjutkan dengan pencarian lintasan mencari posisi yang lebih baik di ruang pencarian. Proses seperti itu diulangi sampai solusi teratas tidak dapat ditingkatkan lagi (Al-Betar, 2017).

Jadi, ada banyak tantangan dalam HC yang asli. Itu yang paling penting adalah yang hanya menerima gerakan menanjak. Oleh karena itu, banyak ekstensi telah diperkenalkan untuk mengatasi masalah seperti itu. Misalnya, (Al-Betar, 2017) mengusulkan β -Hill Climbing, di mana faktor β ditambahkan ke menyeimbangkan eksplorasi dan eksploitasi di ruang pencarian, seperti: bahwa $\beta \in [0,1]$.

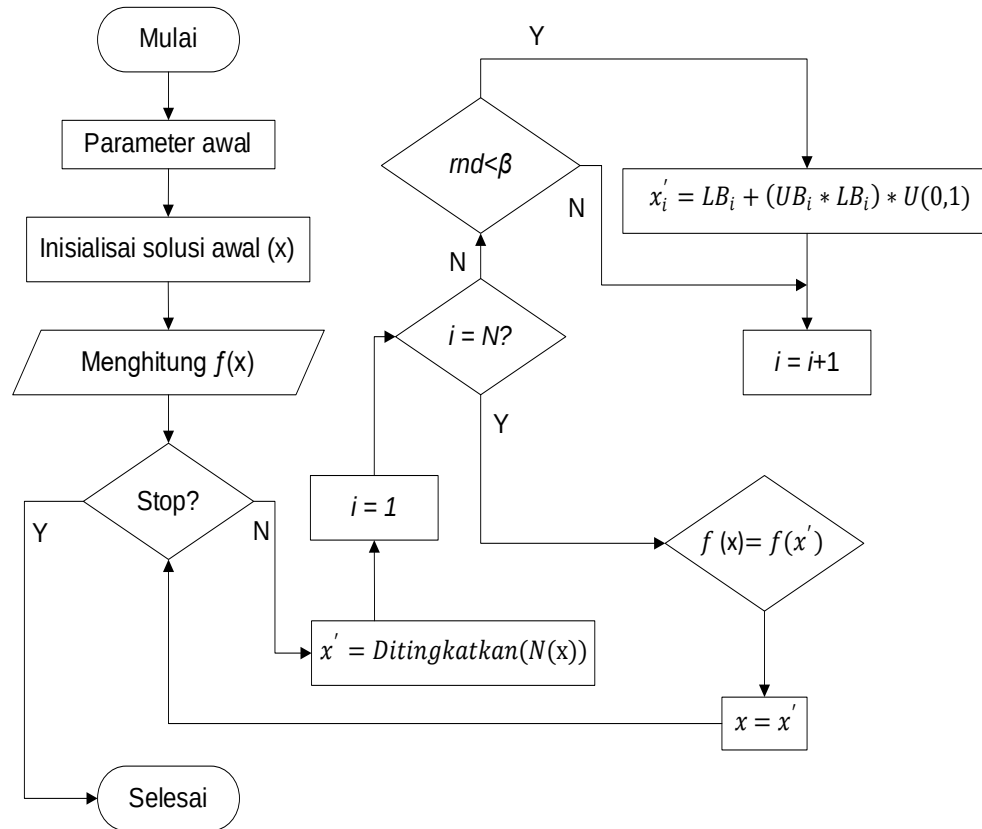
β -Hill Climbing dimulai dengan solusi awal acak $x = (x_1, x_2, \dots, x_N)$. Pada setiap iterasi, solusi baru $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_N)$ dihasilkan berdasarkan dua operator: navigasi lingkungan (yaitu, N-operator) dan β -operator. Dalam N-tahap operator, solusi tetangga acak dari solusi x diadopsi dengan cara meningkatkan fungsi (N) bersama dengan aturan penerimaan 'jalan acak' yang hanya bergerak satu langkah tanpa memeriksa perubahan fungsi tujuan, sebagai berikut:

$$x'_N = x_i \pm U(0,1) \times bw \quad (8)$$

Pada tahap β -operator, dengan rentang probabilitas β , masing-masing variabel tunggal dari solusi baru diberi nilai dasar baik nilai yang ada dari solusi saat ini atau secara acak dari jangkauan yang tersedia, sebagai berikut:

$$x'_i \leftarrow \begin{cases} x_r & \text{if } \text{rand} \leq \beta \\ x_i & \text{Sebaliknya.} \end{cases} \quad (9)$$

di mana $\beta \in [0,1]$, $x_r \in x_i$ adalah rentang yang mungkin untuk variabel keputusan x'_i , dan rand menghasilkan random uniform angka antara 0 dan 1. Dengan operator tersebut, konvergensi β -Hill Climbing didorong menuju solusi optimal. Secara sistematis, N -operator menavigasi solusi tetangga dari solusi saat ini dan mengembalikan salah satu solusi dengan nilai fungsi tujuan yang lebih baik. Dalam β -operator, konvergensi dapat dicapai dengan membangun bagian yang terkontrol dari solusi saat ini, dan oleh karena itu, laju konvergensi dapat ditingkatkan. β -Operator dapat dianggap sebagai sumber eksplorasi sedangkan N -operator dapat menjadi sumber eksploitasi. Dalam hal ruang pencarian, Operator sangat berguna yang memberdayakan algoritma β -Hill Climbing dalam melompat dari wilayah ruang pencarian ke wilayah lain di tingkat yang sama atau kurang. Melalui kemampuan ini, algoritma β -Hill Climbing dapat lolos dari jebakan minima lokal dengan mencoba nilai stokastik untuk beberapa variabel keputusan (Alomari et al., 2018).



Gambar 2.4 Flowchart Algoritma β -Hill Climbing (Sumber:(Alomari et al., 2018))

I. Kerangka Pikir

Perkembangan teknologi yang berbanding lurus dengan konsumsi daya listrik, sehingga menyebabkan jaringan listrik khususnya jaringan distribusi mengalami peningkatan rugi-rugi daya dan penurunan tegangan pada sistem. Distribusi jaringan sendiri merupakan subsistem dari keseluruhan sistem tenaga listrik. Jaringan distribusi jaringan listrik yang berhubungan langsung dengan sisi beban atau konsumen.

Salah satu solusi untuk mengurangi nilai rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan sistem distribusi adalah dengan memasang (DG). DG sendiri didefinisikan sebagai generator listrik skala kecil, dengan kapasitas pembangkit beberapa kilo Watt (kW) hingga beberapa Mega Watt (MW). Pemasangan DG pada saluran distribusi listrik dapat meningkatkan efisiensi, meningkatkan dan juga meningkatkan kualitas daya sistem, Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan penempatan dan kapasitas (DG) tipe 1, tipe 2 dan tipe 3 dengan injeksi daya yang berbeda untuk mengurangi kerugian daya dan meningkatkan profil tegangan pada sistem. Penelitian akan dilakukan dengan model sistem distribusi 33 bus dan 69 bus dengan standar IEEE dan menggunakan metode *Hybrid Flower Pollination Algorithm* (FPA) dan β -Hill Climbing.

J. State of The Art Penelitian

Tabel 2.2 menjelaskan tentang State of the Arts (SOTA). Artinya penelitian ini merupakan perekaptian dan inovasi dari beberapa penelitian sebelumnya. Diharapkan mampu memberikan hasil yang lebih optimal dari yang telah ada sebelumnya.

Tabel 2.2 Beberapa penelitian terkait penentuan lokasi dan kapasitas DG pada sistem Tenaga Listrik

Referensi	Judul Artikel	Metode yang Digunakan	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian yang diusulkan
(Devi & Geethanjali, 2014)	Optimal location and sizing determination of Distributed Generation and DSTATCOM using Particle Swarm Optimization algorithm	<i>Particle Swarm Optimization Algorithm</i>	Hasil analisis menggunakan Loss Sensitivity Factor menunjukkan penempatan dan ukuran optimal DG dan DSTATCOM dalam Sistem Distribusi Radial secara efektif meningkat profil tegangan dan mengurangi kerugian daya total sistem.	• Dalam penelitian ini, juga meninjau pengoptimalan Distribution STATicCOMpensator (DSTATCOM) • Metode yang digunakan berbeda
(H et al., 2012)	Penempatan dan Penentuan Kapasitas	Artificial Bee Colony (ABC)	pemasangan DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus dapat mengurangi kerugian daya	• Dalam penelitian ini hanya meninjau pengoptimalan pemasangan DG tipe 1

	Optimal Distributed Generator (DG) Menggunakan Artificial Bee Colony (ABC)		aktif sistem yang sangat signifikan sekaligus meningkatkan level tegangan pada tiap bus sehingga mencapai batas toleransi.	• Metode yang digunakan berbeda
(Al Abri et al., 2013)	Optimal Placement and Sizing Method to Improve the Voltage Stability Margin in a Distribution System Using	Metode Penempatan dan Ukuran Optimal untuk Ditingkatkan Margin Stabilitas Tegangan	Hasil simulasi menunjukkan bahwa ukuran dan lokasi DG dapat berdampak positif pada margin stabilitas tegangan. Oleh karena itu, metode optimasi dapat digunakan untuk menentukan lokasi dan ukuran unit DG, untuk mencapai target peningkatan margin stabilitas tegangan.	• Metode yang digunakan berbeda

	Distributed Generation			
(Mohamed et al., 2018)	A Simple Analytical Technique for Optimal Capacitor Placement in Radial Distribution System	<i>Forward/Backward Sweep Algorithm</i>	Hasil menunjukkan metode yang diusulkan sangat sederhana dibandingkan dengan metode lainnya. Metode ini dapat mudah diterapkan pada sistem distribusi radial dengan waktu komputasi dan jumlah iterasi yang lebih sedikit.	• Dalam penelitian ini, hanya meninjau pengoptimalan pemasangan kapasitor • Metode yang digunakan berbeda
(Liu et al., 2019)	Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation via an Improved Nondominated	Metode Peningkatan Nondominasi Sorting Algoritma Genetika II	Menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dapat mencapai presisi yang lebih baik dan keragaman. Dalam praktiknya, pilihan situs terbaik mungkin tidak selalu layak karena banyak	• Metode yang digunakan berbeda

	Sorting Genetic Algorithm II		kendala realitas. Tapi optimasi dan analisis di sini menunjukkan bahwa mempertimbangkan multiobjectives membantu untuk memutuskan penempatan dan ukuran unit Ditjen untuk pengambil keputusan.	
(Pereira et al., 2016)	Optimal Distributed Generation and Reactive Power Allocation in Electrical Distribution System	<i>Hybrid Algorithm (Tabu Search Algorithm and Chu – Beasley Genetic Algorithm)</i>	Hasil yang disajikan menunjukkan metode yang diusulkan sangat efisien dalam menemukan bus di mana CB dan DG harus dialokasikan, serta skema kontrol dari CB yang diaktifkan dan pengiriman DG, mempertimbangkan kendala fisik dan	• Dalam penelitian ini, juga meninjau pengoptimalan kapasitor • Metode yang digunakan berbeda

			operasional. Hasil berbeda dari studi kasus menunjukkan bahwa operasi CB dan DG sangat tergantung pada jenis DG (stochastic atau dispatchable) dan daya reaktif yang dihasilkan oleh Tabu Search (TS)	
(Doagou-Mojarrad et al., 2013)	Optimal placement and sizing of DG (distributed generation) units in distribution networks by novel <i>Hybrid</i>	Metode algoritma evolusi hibrida baru	Algoritma yang diusulkan diuji pada sistem uji distribusi 69-bus berdasarkan teknis, pertimbangan ekonomis dan perlindungan lingkungan. Hasil simulasi menggambarkan kebaikan kinerja dan penerapan metode yang diusulkan.	• Metode yang digunakan berbeda

	evolutionary algorithm			
(Sanjay et al., 2017)	Optimal Allocation Of Distributed Generation Using <i>Hybrid Grey Wolf Optimizer</i>	<i>Hybrid Grey Wolf Optimizer</i>	Hasilnya menunjukkan bahwa ada pengurangan yang cukup besar dalam kehilangan daya dan peningkatan profil tegangan bus di seluruh jaringan.	• Metode yang digunakan berbeda
(Mahmoud, 2017)	Optimal Integration of DG and Capacitors in Distribution System	Analytical Expression dan Optimal Power Flow (OPF)	Metode yang diusulkan dapat secara efektif menentukan solusi optimal untuk berbagai kasus. Hal ini menunjukkan bahwa menempatkan DG dan kapasitor secara simultan dapat sangat meningkatkan sistem distribusi dalam hal mengurangi rugi-rugi daya	• Dalam penelitian ini, juga meninjau pengoptimalan kapasitor • Metode yang digunakan berbeda

			dan profil tegangan. Metode yang diusulkan ini adalah alat yang berguna untuk perencanaan sistem distribusi untuk integrasi masa depan berbagai jenis DG dan kapasitor.	
(Tabarok et al., 2017)	Optimasi Penempatan <i>Distributed Generation</i> (DG) dan Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Metode <i>Genetic</i>	<i>Genetic Algorithm</i> (GA)	Dalam penelitian ini membuktikan dengan adanya penempatan DG dan kapasitor dapat memperbaiki daya aktif dan daya reaktifnya. Serta terdapat perbaikan profil tegangan disetiap busnya setelah adanya penempatan dari DG dan kapasitor dibandingkan sebelum adanya penempatan dari DG	• Dalam penelitian ini, juga meninjau pengoptimalan kapasitor • Metode yang digunakan berbeda

	<i>Algorithm</i> (GA) (Studi Kasus pada Penyalang Watu Ulo Jember)		dan kapasitor, dimana pada bus 60 mengalami perbaikan profil tegangan dari 0.8454 Volt menjadi 0.8523 Volt.	
--	---	--	---	--

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi kasus pada sistem kelistrikan Reability Test System IEEE dimana yang akan diteliti, yaitu penentuan lokasi dan kapasitas *Distributed Generator* (DG) menggunakan metode *Hybrid Flower Pollination Algorithm* (FPA) dan *β -Hill Climbing*. Data pada penelitian ini adalah data primer yang diperoleh dari Reability Test System IEEE khususnya data yang ada hubungannya dengan penelitian.

B. Software yang Digunakan

Software yang digunakan untuk melakukan simulasi pada penelitian kali ini adalah Matlab/Simulink.

C. Waktu dan Lokasi Penelitian

1. Waktu

Pelaksanaan penelitian ini direncanakan akan dimulai pada bulan Februari 2022 sampai dengan Desember 2022.

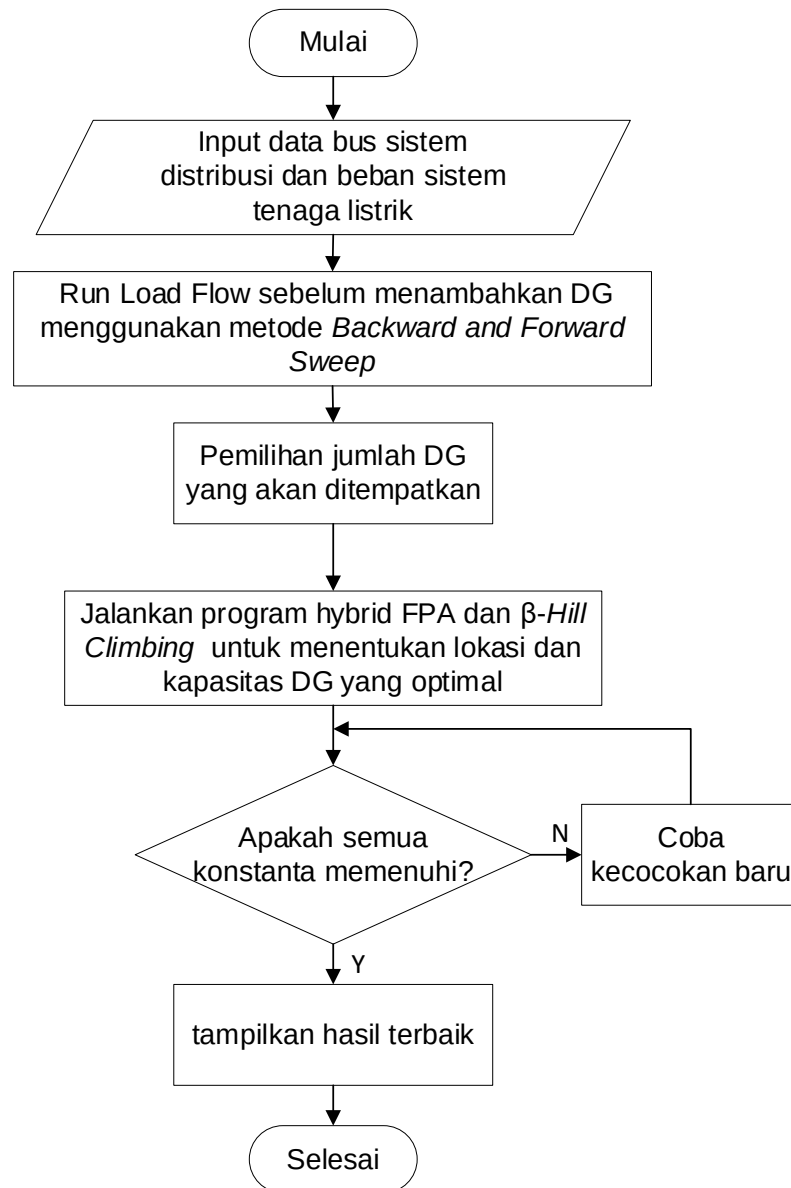
Tabel 3.1 Jadwal pelaksanaan penelitian

No.	Kegiatan	Waktu Penelitian (2022)										
		Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	Literature review											
2	Membuat proposal											
3	Seminar proposal											
4	Membuat program											
5	Simulasi dan analisis											
6	Penulisan makalah internasional											
7	Penyelesaian tesis											
8	Seminar hasil											
9	Ujian tutup											

2. Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan di Departement Teknik Elektro Unhas dengan menggunakan data Reliability Test System IEEE.

D. Diagram Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Penelitian

Gambar 3.1 menampilkan *flowchart* untuk penyelesaian penelitian ini, Tahapan awal dalam pengerjaan penelitian ini adalah melakukan analisa dari sistem yang akan menjadi objek tugas akhir. Diawali dengan membaca referensi yang berkaitan dengan penelitian yang akan dikerjakan dan mengumpulkan seluruh data yang dibutuhkan untuk melakukan analisa dalam penelitian ini. Pada penelitian ini sistem yang digunakan adalah sistem distribusi IEEE 33 dan 69 bus. Sistem ini adalah sistem radial yang terdiri atas 33 dan 69 bus yang akan menjadi sistem sebagai sistem yang akan dianalisa. Selanjutnya menjelaskan bagaimana pengaplikasian analisa studi aliran daya menggunakan metode *Backward and Forward Sweep* pada jaringan IEEE 33 dan 69 bus untuk mendapatkan besaran yang diperlukan. Setelah mendapatkan besaran yang diperlukan barulah hasil output dari analisa aliran daya ini dijadikan masukan untuk menemukan solusi terbaik pemasangan multi DG pada sistem distribusi terkait posisi dan kapasitas DG menggunakan metode optimasi *Hybrid Flower Pollination Algorithm* (FPA) dan *β -Hill Climbing* untuk mengurangi rugi-rugi daya serta meningkatkan profil tegangan. Tujuan dari metode ini ialah menemukan bus-bus yang memiliki nilai ketidakstabilan tegangan yang rendah. Bus-bus inilah yang menjadi lokasi penempatan DG. Penambahan DG pada jaringan tersebut bertujuan untuk mengurangi losess pada jaringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Betar, M. A. (2017). β -Hill climbing: an exploratory local search. *Neural Computing and Applications*, 28, 153–168.
<https://doi.org/10.1007/s00521-016-2328-2>
- Al-Betar, M. A., Awadallah, M. A., Abu Doush, I., Hammouri, A. I., Mafarja, M., & Alyasseri, Z. A. A. (2019). Island flower pollination algorithm for global optimization. *Journal of Supercomputing*, 75(8), 5280–5323.
<https://doi.org/10.1007/s11227-019-02776-y>
- Al Abri, R. S., El-Saadany, E. F., & Atwa, Y. M. (2013). Optimal placement and sizing method to improve the voltage stability margin in a distribution system using distributed generation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(1), 326–334. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2200049>
- Alkareem Alyasseri, Z. A., Al-Betar, M. A., Awadallah, M. A., Makhadmeh, S. N., Abasi, A. K., Doush, I. A., & Alomari, O. A. (2021). A *Hybrid* flower pollination with β -hill climbing algorithm for global optimization. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, xxxx.
<https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.06.015>
- Alomari, O. A., Khader, A. T., Al-Betar, M. A., & Awadallah, M. A. (2018). A novel gene selection method using modified MRMR and *Hybrid* bat-inspired algorithm with β -hill climbing. *Applied Intelligence*, 48(11), 4429–4447. <https://doi.org/10.1007/s10489-018-1207-1>
- Alyasseri, Z. A. A., Khader, A. T., Al-Betar, M. A., Awadallah, M. A., & Yang, X. S. (2018). Variants of the flower pollination algorithm: A review. *Studies in Computational Intelligence*, 744(January), 91–118.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-67669-2_5
- Chang, R. W., Mithulanathan, N., & Saha, T. K. (2011). Novel mixed-integer method to optimize distributed generation mix in primary distribution

- systems. *2011 21st Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC 2011, January*.
- Devi, S., & Geethanjali, M. (2014). Optimal location and sizing determination of Distributed Generation and DSTATCOM using Particle Swarm Optimization algorithm. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 62, 562–570.
<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.05.015>
- Doagou-Mojarrad, H., Gharehpetian, G. B., Rastegar, H., & Olamaei, J. (2013). Optimal placement and sizing of DG (distributed generation) units in distribution networks by novel *Hybrid* evolutionary algorithm. *Energy*, 54, 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.043>
- Erwin Prawira Santosa, Ontoseno Penangsang, & Ni Ketut Aryani. (2015). Optimasi Penentuan Lokasi Kapasitor dan Distributed Generation (DG) Dengan Rekonfigurasi Jaringan Untuk Meningkatkan Keluaran Daya Aktif DG Pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Genetic Algorithm (GA). *Jurnal Teknik Its*, 5(2).
- H, A. Z., Anam, S., & Robandi, I. (2012). Penempatan Dan Penentuan Kapasitas Optimal Distributed Generator (DG) Menggunakan Artificial Bee Colony (ABC). *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, No. 1, 1(1)*, 16–21.
- Hasanah, A. W., Makkulau, A., Fadhilah, Z. F., Elektro, T., Tinggi Teknik-Pln, S., & Com, A. (2015). Perencanaan Pengembangan Sistem Pembangkit Listrik Di Pulau Jawa. | *Jurnal Sutet*, 5(1), 8–13. <https://stt-pln.e-journal.id/sutet/article/view/604>
- Imran, M., Bintoro, A., & Ezwarsyah. (2019). Analisa Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Untuk Wilayah Kota Lhokseumawe Di PT. PLN (Persero) Rayon Kota Lhokseumawe. *Jurnal Energi Elektrik*, 08(1), 42–47.
- Katyara, S., Staszewski, L., & Leonowicz, Z. (2018). Protection coordination of properly sized and placed distributed generations—methods,

- applications and future scope. *Energies*, 11(10).
<https://doi.org/10.3390/en11102672>
- Liu, W., Luo, F., Liu, Y., & Ding, W. (2019). Optimal siting and sizing of distributed generation based on improved nondominated sorting genetic algorithm II. *Processes*, 7(12), 1–10. <https://doi.org/10.3390/PR7120955>
- Mahmoud, K. (2017). Optimal integration of DG and capacitors in distribution systems. *2016 18th International Middle-East Power Systems Conference, MEPCON 2016 - Proceedings*, 651–655.
<https://doi.org/10.1109/MEPCON.2016.7836961>
- Mishra, S., Das, D., & Paul, S. (2014). A simple algorithm for distribution system load flow with distributed generation. *International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering, ICRAIE 2014, May*.
<https://doi.org/10.1109/ICRAIE.2014.6909127>
- Mohamed, A. A., Kamel, S., & Aly, M. M. (2018). A simple analytical technique for optimal capacitor placement in radial distribution systems. *2017 19th International Middle-East Power Systems Conference, MEPCON 2017 - Proceedings, 2018-Febru(December)*, 928–933.
<https://doi.org/10.1109/MEPCON.2017.8301291>
- Musa, 2019. (2002). *MATLAB® for Photomechanics- A Primer*, 4(1), v.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-08-044050-7.50063-x>
- Pereira, B. R., Martins Da Costa, G. R. M., Contreras, J., & Mantovani, J. R. S. (2016). Optimal Distributed Generation and Reactive Power Allocation in Electrical Distribution Systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 7(3), 975–984. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2015.2512819>
- Pesaran H.A, M., Huy, P. D., & Ramachandaramurthy, V. K. (2017). A review of the optimal allocation of distributed generation: Objectives, constraints, methods, and algorithms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75(May), 293–312. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.071>
- Purchala, K., Belmans, R., Leuven, K. U., Exarchakos, L., & Hawkes, a D.

- (2006). Distributed generation and the grid integration issues. *Imperial College London*, 9.
- Rupa, J. a M., & Ganesh, S. (2014). Power Flow Analysis for Radial Distribution System Using Backward / Forward Sweep Method. *International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, 8(10), 1537–1541.
- Sanjay, R., Jayabarathi, T., Raghunathan, T., Ramesh, V., & Mithulananthan, N. (2017). Optimal allocation of distributed generation using *Hybrid grey Wolf optimizer*. *IEEE Access*, 5(c), 14807–14818.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2726586>
- Tabarok, D. K., Saleh, A., & Kaloko, B. S. (2017). Optimasi Penempatan Distributed Generation (DG) dan Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Metode Genetic Algorithm (GA) (Studi Kasus pada Penyulang Watu Ulo Jember). *Berkala Sainstek*, 5(1), 35.
<https://doi.org/10.19184/bst.v5i1.5373>
- Tan, W. S., Hassan, M. Y., Majid, M. S., & Abdul Rahman, H. (2013). Optimal distributed renewable generation planning: A review of different approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 626–645.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.039>
- Yang, X. S., Karamanoglu, M., & He, X. (2014). Flower pollination algorithm: A novel approach for multiobjective optimization. *Engineering Optimization*, 46(9), 1222–1237.
<https://doi.org/10.1080/0305215X.2013.832237>