



## PERBAIKAN TEGANGAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV MELALUI PENEMPATAN PEMBANGKIT TERSEBAR BERBASIS *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*

Yuli Asmi Rahman<sup>1</sup>, Sitti Nuradha Wati S<sup>2</sup>, Ratih Mar'atus Shalihah<sup>3</sup>, Irwan Mahmudi<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

Jl. Soekarno Hatta Km.9 Palu

Telp. (0451) 454014

E-mail: yuli.asmi@untad.ac.id

### ABSTRAK

*Received* :06-04-2022  
*Accepted* :10-04-2022  
*Published* :18-04-2022

Rugi-rugi tegangan merupakan permasalahan yang sering terjadi pada sistem distribusi yang mengakibatkan tegangan jatuh sehingga daya listrik yang disuplai ke konsumen akan berkurang. Penurunan tegangan yang diijinkan pada distribusi adalah + 5% dan - 10%. Salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan menempatkan pembangkit listrik tersebar dengan mempertimbangkan lokasi dan kapasitas yang diberikan (MW dan MVar). Dalam penelitian ini, optimasi penempatan generator menggunakan metode yang efektif adalah Particle Swarm Optimization (PSO). PSO adalah algoritma yang mengimplementasikan pemahaman masalah. Urutan pembangkit berita dilakukan dengan mengarahkan pada pemilihan Gbest yang memiliki nilai jatuh tegangan minimum dengan menambah jumlah partikel. Simulasi awal menggunakan studi aliran daya yang dijalankan melalui Matlab dan ETAP. Fungsi tujuan dari proses optimalisasi ini adalah minimisasi rugi tegangan dengan mempertimbangkan nilai rugi daya setiap saluran. Di percobaan terakhir, ditemukan bahwa lokasi pembangkit yang terbaik pada saluran 7,10, dan 13. Dari hasil tersebut, peningkatan tegangan diperoleh sebesar 4,05%, 9,05%, dan 10,15% pada setiap bus secara berurutan.

*Kata kunci* : rugi tegangan, kecerdasan buatan, Gbest, ETAP, rugi daya

### ABSTRACT

Voltage losses are problems that often occur in distribution systems, resulting in voltage drops to reduce the electrical power supplied to consumers. The allowable stress drop in the distribution is +5% and -10%. One way to overcome this is to place scattered power plants into account the given location and capacity (MW and MVar). In this study, optimization of generator placement using an effective method is Particle Swarm Optimization (PSO). PSO is an algorithm that implements problem understanding. The sequence of news generators is carried out by directing the selection of Gbest, which has a minimum voltage drop value by increasing the number of particles. Initial simulation using a power flow study run via Matlab and ETAP. The objective function of this optimization process is drop voltage minimization with constraint function is the power loss of each bus. The final simulation found the best generator locations on buses 7, 10, and 13. After optimization, the voltage increase was obtained by 4.05%, 9.05%, and 10.15% on each bus.

*Keywords*: voltage drop, swarm algorithm, Gbest, ETAP, power loss

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Penetrasi sumber daya pembangkit tersebar dalam sistem tenaga listrik dapat dianggap sebagai salah satu parameter pengembangan jaringan. Peningkatan keandalan, pengurangan pasokan

energi, pengurangan emisi gas rumah kaca, dan pengurangan kerugian total adalah manfaat utama pembangkit tersebar [1][2][3]. Pembangkit tersebar juga memiliki efek langsung pada sistem proteksi dan kualitas daya jaringan listrik [4][5].

Jatuh tegangan adalah hilangnya tegangan yang disebabkan oleh aliran arus melalui suatu hambatan dimana hal ini terukur dengan pembacaan tegangan di ujung penerima lebih rendah daripada di sisi pengirim. Jatuh tegangan merupakan gangguan kualitas daya yang menjadi perhatian operator sistem tenaga [6][7].

Banyak pendekatan telah dilakukan untuk menempatkan DG secara optimal dalam jaringan. Berdasarkan formula rugi daya [8], diperoleh metodologi untuk memperoleh pengurangan kerugian sebagai tujuan, dengan menggunakan pendekatan analitis. sebuah metodologi untuk meminimalkan kerugian dan meningkatkan profil tegangan menggunakan teknik PSO dimana metodologi ini telah diuji untuk berbagai sistem pengujian [9]. Penelitian [10] mempertimbangkan teknik PSO untuk penempatan pembangkit tersebar berbagai tipe yang berbeda secara optimal. Persamaan multi tujuan menggunakan PSO untuk menempatkan pembangkit tersebar dalam system juga telah diuji keberhasilannya [11].

Penelitian sebelumnya tentang optimasi berbasis PSO pada jaringan distribusi mikrogrid untuk mencari lokasi penempatan pembangkit tersebar untuk meminimalisasi rugi daya. Hasil dari penempatan DG optimum pada jaringan distribusi IEEE 34 bus yang terpasang di empat titik lokasi DG menggunakan metode PSO nilai rugi daya turun menjadi 442.85W [12]. Penempatan pembangkit tersebar juga telah disimulasikan pada penyulang Goa Lawah menggunakan PSO (Sastra Negara, dkk, 2018). Pada penelitian itu diperoleh penurunan nilai rugi daya sebelum interkoneksi pembangkit tersebar dari 72 kW menjadi 41 kW (turun 44%). Dalam penelitian [13] menghasilkan bahwa interkoneksi PLTS Kubu pada penyulang Abang selama 10 jam menurunkan *drop* tegangan dari 13,23% menjadi 10,85%.

Pada penelitian ini, optimasi penempatan pembangkit tersebar maka akan dilakukan metode komputasi evolusioner yang efektif yaitu PSO berbasis perangkat lunak *Matrix Laboratory* (MATLAB). Penempatan pembangkit tersebar yang optimal akan menghasilkan nilai total susut tegangan terkecil pada jaringan distribusi.

## 1.2 Pembangkit tersebar

Pembangkit tersebar dapat didefinisikan sebagai pembangkit yang dapat menampung dari beberapa sumber energi listrik sehingga menghasilkan energi yang memiliki kapasitas kecil dengan maksimum berkisaran 50 MW dan dihubungkan pada jaringan distribusi yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 [14]. Keuntungan dari sistem ini yaitu dapat membantu untuk melakukan penghematan daya listrik pada jaringan distribusi dan transmisi serta pembangkit tersebar juga dapat memberikan keandalan yang lebih besar dalam melakukan pemanfaatan daya pada jaringan transmisi karena jarak ke konsumen menjadi dekat sehingga memudahkan pemasangannya [15].

**Tabel 1. Klasifikasi pembangkit tersebar berdasarkan kapasitas pembangkitan**

<i>Macam-macam DG</i>	<i>Kapasitas Pembangkitan</i>
<i>Micro DG</i>	1 Watt – 5 kW
<i>Small DG</i>	5kW – 5 MW
<i>Medium DG</i>	5 MW – 50 MW
<i>Large DG</i>	50 W – 300 MW

**Tabel 2. Klasifikasi pembangkitan tersebar berdasarkan teknologi pembangkitan.**

<i>Teknologi DG</i>	<i>Kapasitas per Modul</i>
<b>Sumber fosil</b>	
<i>Combined Cycle Gas Turbine (CCGT)</i>	35 – 400 MW
<i>Internal combustion engines</i>	5 kW – 10 MW
<i>Combustion turbine</i>	1 – 250 MW
<i>Micro-Turbines</i>	35 kW – 1 MW
<b>Sumber energi terbarukan</b>	
PLTM	1 – 100 MW
PLTMh	25 kW – 1 MW
PLTB	200 Watt – 3 MW
PLTS	20 Watt – 100 kW
<i>Solar thermal, central receiver</i>	1 – 10 MW
<i>Solar thermal, Lutz system</i>	10 – 80 MW
Biomassa	100 kW – 20 MW
<i>Fuel cells</i>	200 kW – 2 MW
<i>Fuel cells, molten carbonate</i>	250 kW – 2 MW
<i>Fuel cells, proton exchange</i>	1 kW – 250 KW
<i>Fuel cells, solid oxide</i>	250 kW – 5 MW
Geotermal	5 kW – 100 MW
PLT Laut	100 kW – 1 MW
<i>Battery storage</i>	500 kW – 5 MW

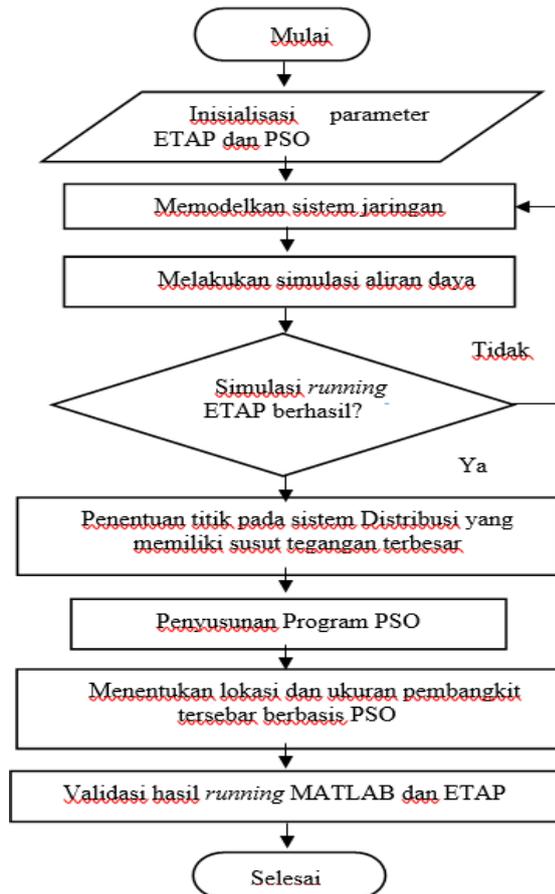
Mengacu pada klasifikasi pembangkit tersebar berdasarkan karakteristik daya aktif dan daya reaktif yang di injeksikan ke sistem distribusi, pada penelitian menggunakan jenis pembangkit PLTS dengan karakteristik menghasilkan daya aktif.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Bahan dan Tempat Penelitian

Dalam melakukan pengkajian tugas akhir ini menggunakan data diagram satu garis sistem jaringan distribusi Palu pada gardu induk Tipe dengan jumlah bus sebanyak 13. Data yang digunakan berupa data trafo, data beban, panjang kabel penampang, jenis kabel dan ukuran kabel jaringan distribusi. Untuk mengolah data digunakan

laptop Asus X441U dengan processor Intel Core i3-7020U, OS Windows 10. Perangkat ini digunakan untuk melakukan program MATLAB dan ETAP. Pada pengkajian ini, tahapan yang penelitian yang dilakukan tersaji pada gambar 1 berupa diagram alir.



Gambar 1. Flowchat penelitian

## 2.2 Tahapan algoritma PSO

Cara untuk mendapatkan nilai susut tegangan:

$$\text{Min} \sum_{k=1}^n \{G_{best,j}^k\}$$

Optimal penempatan pembangkit tersebar dihasilkan dari nilai paling rendah susut tegangan

dari partikel terbaik secara menyeluruh ( $G_{best,j}^k$ ). Dimana swarm adalah posisi pembangkit tersebar dan Gbest yaitu posisi yang menghasilkan nilai susut tegangan terendah.

## 2.2. Tahapan Inisialisasi data awal sebagai input data dan iterasi PSO

Tahapan awal yang dilakukan dalam proses optimasi adalah mendefinisikan data variabel yang disebut dengan inisiasi data awal. Proses ini berupa penamaan dan penginputan data awal [12]. Data tersebut antara lain:

1. Jumlah partikel yang akan digunakan dalam metode PSO, nilai dari koefisien akselerasi ( $c_1$  dan  $c_2$ ), beban partikel paling tinggi dan paling

rendah ( $W_{max}$  dan  $W_{min}$ ), serta kode dan jumlah banyaknya iterasi ( $k$ ).

2. Letak awal partikel ( $x_{ij}^0$ ). Nilai ini bersifat acak sesuai besar ukuran pada setiap partikel.
3. Kecepatan awal partikel ( $v_{ij}^0$ ). Pada pengaturan awalnya adalah nilai nol dimana data letak partikel ( $x_{ij}^0$ ) berupa matriks yang memiliki ukuran. Ukuran dan posisi matriks terbentuk dari jumlah data tiap partikel ( $m$ ) dan jumlah partikel pada swarm ( $n$ ). Sementara nilai data setiap partikel juga diperoleh secara random sesuai ukuran. Bentuk dan ukuran matriks ditunjukkan pada persamaan 1.

$$x_{ij}^k = \begin{bmatrix} x_{11}^k & x_{12}^k & \dots & x_{1m}^k \\ x_{21}^k & x_{22}^k & \dots & x_{2m}^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1}^k & x_{n2}^k & \dots & x_{nm}^k \end{bmatrix} \quad (1)$$

Setiap iterasi yang dilakukan dengan nilai kecepatan ( $v_i^{k+1}$ ) akan memperbarui letak partikel. Nilai kecepatan dihasilkan dari jejak partikel ( $x_i^k$ ) dan jejak yang dihasilkan oleh partikel lain pada group dinyatakan dalam ( $P_{best,i}^k$  dan  $G_{best,i}^k$ ). Persamaan 2 menunjukkan kecepatan setiap partikel sebagai berikut:

$$v_i^{k+1} = x v_i^k + c_1 x rand_1 w^k x (P_{best,i}^k - x_i^k) + c_2 x rand_2 x (G_{best,i}^k - x_i^k) \quad (2)$$

Pergerakan partikel dipengaruhi oleh jejak setiap partikel terbaik dalam setiap iterasi  $P_{best,i}^k$  dan partikel terbaik pada jarak iterasi  $G_{best,i}^k$ . Koefisien percepatan artikel ( $c_1$  dan  $c_2$ ) juga berdampak pada kontribusi partikel  $P_{best,i}^k$  dan  $G_{best,i}^k$  terhadap kecepatan partikel.

Ketika kontribusi partikel  $P_{best,i}^k$  lebih besar atau sebaliknya mempengaruhi kondisi nilai  $c_2$  yang lebih kecil dibanding  $c_1$ .

Perubahan nilai inersia ( $w^k$ ) mempengaruhi banyaknya iterasi dalam nilai rentang beban inersia paling tinggi dan inersia paling rendah ( $W_{max}$  dan  $W_{min}$ ). Perbedaan beban inersia paling tinggi dengan beban inersia paling rendah menunjukkan jarak yang dinyatakan dalam bentuk persamaan 3.

$$w^k = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{k_{max}} x k \quad (3)$$

Perubahan iterasi pada posisi partikel baru ( $x_j^{k+1}$ ) mempengaruhi penjumlahan posisi partikel pada iterasi sebelumnya ( $x_j^k$ ) dengan velocity

$(v_j^{k+1})$ . Pembaharuan nilai posisi pada setiap iterasi terkorelasi dengan persamaan 4.

$$x_j^{k+1} = x_j^k + v_j^{k+1} \quad (4)$$

Nilai personal best ( $P_{best,j}^k$ ) diperoleh melalui proses pencarian nilai minimum susut tegangan dengan nilai error pengukuran yang cukup akurat pada setiap iterasi. Persamaan 5 dan 6 menunjukkan partikel yang memiliki jumlah susut tegangan paling minimum menjadi nilai personal best.

$$f(x_j^k) = \text{sum}(x_j^k) \quad (5)$$

$$P_{best,j}^{k+1} = \begin{cases} P_{best,j}^k & \text{if } f(x_j^{k+1}) > f_{pbest,j}^k \\ x_j^{k+1} & \text{if } f(x_j^{k+1}) < f_{pbest,j}^k \end{cases} \quad (6)$$

Nilai global best  $G_{best,j}^k$  didapatkan melalui proses pencarian nilai paling rendah dalam penempatan pembangkit tersebar antara  $P_{best}$  iterasi ke-k dengan global best iterasi k-1. Nilai global best baru akan mengganti  $G_{best,j}^k$  ketika diperoleh fungsi hasil  $P_{best}$  pada setiap iterasi lebih rendah dibandingkan  $G_{best}$  iterasi sebelumnya. Metode ini menunjukkan posisi partikel dipengaruhi oleh partikel yang memiliki nilai terbaik pada sekumpulan partikel disebut Gbest. Nilai Gbest dirumuskan pada persamaan 7.

$$G_{best,j}^k = \min\{P_{best}^t\} \quad (7)$$

### 2.3 Metode Topologi Jaringan

Pada penelitian ini, kajian aliran daya menggunakan metode *forward-backward sweep*. Dalam *backward sweep*, Hukum arus Kirchhoff's dan Hukum Tegangan Kirchhoff digunakan untuk menghitung tegangan bus dari node terjauh. Pada *forward sweep*, tegangan bus hilir diperbarui mulai dari simpul sumber. Prosedur berhenti setelah ketidakcocokan dari dihitung dan tegangan yang ditentukan pada gardu induk lebih kecil dari toleransi konvergensi. Rugi daya dihitung setelah itu menggunakan tegangan bus yang diperbarui. Dengan menggunakan metode ini, solusi aliran beban untuk jaringan distribusi dapat diperoleh tanpa menyelesaikan serangkaian persamaan simultan [17]. Langkah awal yang harus dilakukan adalah dengan membentuk matrik *Bus Injection to Branch Current (BIBC)*. Matrik BIBC adalah matrik hubungan antara saluran pada sistem distribusi dan arus [18]. Untuk menyederhanakan BCBV dapat dilihat sebagai berikut:

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (8)$$

Sehingga dihasilkan lagi persamaan untuk matrik  $\Delta V$ . Sehingga menghasilkan:

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (9)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (10)$$

Hasil nilai dari tegangan pada setiap bus diperoleh setelah matrik BIBC, BCBV dan  $\Delta V$  dihasilkan dengan mengacu pada persamaan 11.

$$[V_i] = [V_1] - [\Delta V] \quad (11)$$

### 3. PEMBAHASAN

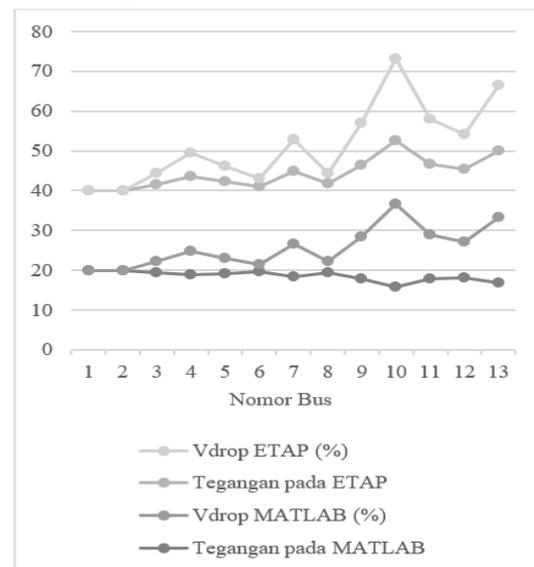
Untuk mencapai tujuan penelitian maka dilakukan simulasi optimasi untuk pengurangan susut tegangan yang di uji coba pada jaringan distribusi diagram satu garis pada sistem area Palu dilakukan beberapa kali skenario di antaranya adalah

- Skenario 1 kondisi eksisting
- Skenario 2 optimasi menggunakan 20 partikel
- Skenario 3 optimasi menggunakan 50 partikel
- Skenario 4 optimasi menggunakan 80 partikel
- Skenario 5 aliran daya setelah optimasi menggunakan MATLAB dan ETAP
- Analisa rugi daya sebelum dan sesudah penempatan pembangkit tersebar

#### 3.1 Skenario 1 : Kondisi Eksisting

Untuk mendapatkan gambaran awal tentang kondisi tegangan sistem dilakukan simulasi aliran daya menggunakan Matlab dan acuan perbandingan menggunakan ETAP seperti yang ditampilkan Gambar 2.

Dari data tersebut tidak memiliki perbedaan yang signifikan dan bahkan hampir sama sehingga dapat dikatakan bahwa hasil running antara MATLAB dan ETAP sudah akurat dan sesuai, sehingga data di atas dapat digunakan untuk melakukan optimasi penempatan pembangkit tersebar dengan metode PSO.



Gambar 2. Hasil running kondisi awal menggunakan MATLAB dan ETAP

#### 3.2 Skenario optimasi menggunakan 20, 50, dan 80 partikel

Pada skenario ini, simulasi penempatan pembangkit tersebar dengan menggunakan 20 partikel uji coba. Hasil yang didapatkan ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

**Tabel 4. Optimasi menggunakan 20 partikel**

Iterasi ke-	Lokasi (Bus) terbaik	Rugi daya
1	4, 7, 13	668,689580 kW 924,827558 kVAr
2	4, 7, 13	668,689580 kW 924,827558 kVAr
3	3,10, 13	604,251517 kW 926,180015 Kvar
4	5, 7, 10	740,493844 kW 980,068960 kVAr
5	3, 7, 10	803,527282 kW 1119,066953 kVAr
6	5, 7, 13	585,610000 kW 870,697835 kVAr
7	3,10,13	604,251517 kW 926,180015 kVAr
8	5,10,13	585,610000 kW 870,697835 kVAr
9	5,10,13	585,610000 kW 870,697835 kVAr
10	5,10,13	585,610000 kW 870,697835 kVAr

Berdasarkan tabel 4 dapat di analisa bahwa jatuh tegangan minimum dengan jumlah 20 partikel dengan 10 iterasi maka losses terendah yang didapatkan yaitu daya aktif sebesar 585,610000 kW dan rugi daya reaktif sebesar 870,697835 kVAr. Di karenakan nilai ini belum mencapai hasil yang diinginkan, maka dibutuhkan sampel untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal dengan menambah jumlah partikel.

Setelah dilakukan simulasi optimasi penempatan pembangkit tersebar dengan jumlah partikel 50 maka data yang yang diperoleh pada tabel 5. Rugi daya terendah untuk daya aktif 514,664187 kW dan rugi daya reaktif sebesar 789,229735 kVAr.

Dari hasil uji coba simulasi 20 dan 50 partikel masih diperoleh tegangan terbaik sehingga dilakukan pengujian dengan 80 partikel. Variasi partikel 80 didapatkan nilai rugi daya terendah 514,664187 kW dan rugi daya reaktif sebesar 789,229735 kVAr.

**Tabel 5. Optimasi menggunakan 50 partikel**

Iterasi ke-	Bus Pembangkit Tersebar	Rugi daya
1	4, 7,13	668,689580 kW 924,827558 kVAr
2	4, 7, 13	668,689580 kW 924,827558 kVAr
3	3, 10, 13	604,251517 kW 926,180015 kVAr
4	4, 7, 13	668,689580 kW 924,827558 kVAr
5	5,10,13	585,610000 kW 870,697835 kVAr
6	5,10,13	585,610000 kW 870,697835 kVAr

7	3,10,13	604,251517 kW 926,180015 kVAr
8	5,10,13	585,610000 kW 870,697835 kVAr
9	5,10,13	585,610000 kW 870,697835 kVAr
10	7,10,13	514,664187 kW 789,229735 kVAr
11	5,10,13	585,610000 kW 870,697835 kVAr
12	7,10,13	514,664187 kW 789,229735 kVAr
13	7,10,13	514,664187 kW 789,229735 kVAr
14	5,10,13	585,610000 kW 870,697835 kVAr
15	7,10,13	514,664187 kW 789,229735 kVAr

Di karenakan nilai ini muncul dengan nilai Gbest yang paling minimum setelah dilakukan penambahan jumlah partikel, maka pada partikel 80 telah di temukan solusi Swarm dan  $G_{best}$  untuk optimasi penempatan pembangkit tersebar. Seperti yang terlihat pada tabel 6.

**Tabel 6. Optimasi menggunakan 80 partikel**

Iterasi ke-	Bus Pembangkit Tersebar	Rugi daya
1	4, 7, 13	668,689580 kW 924,827558 KVar
2	4, 7, 13	668,689580 kW 924,827558 kVAr
3	4, 7, 13	668,689580 kW 924,827558 kVAr
4	4, 7, 13	668,689580 kW 924,827558 kVAr
5	4, 7, 13	668,689580 kW 924,827558 kVAr
6	7,10,13	514,664187 kW 789,229735 kVAr
7	5, 10, 13	585,610000 kW 870,697835 kVAr
8	5, 10, 13	585,610000 kW 870,697835 kVAr
9	5, 10, 13	585,610000 kW 870,697835 kVAr
10	4, 57, 13	668,689580 kW 668,689580 kVAr

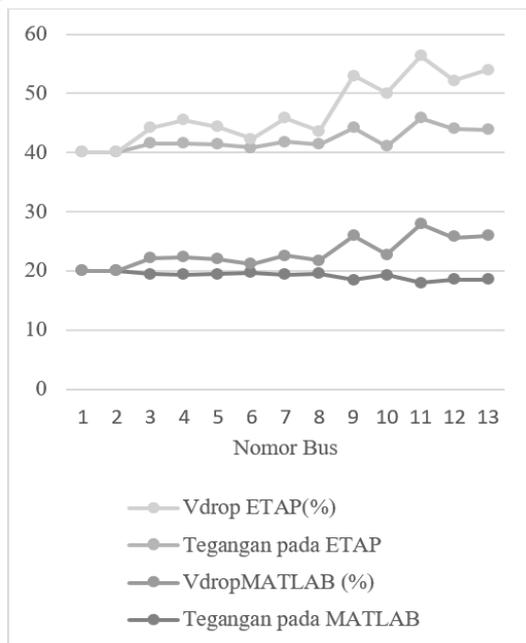
Dengan demikian hasil final optimasi penempatan pembangkit tersebar menggunakan metode PSO terdapat pada partikel 80 dengan jumlah penempatan titik pembangkit tersebar sebanyak 3 bus.

Untuk posisi penempatan pembangkit tersebar berada pada bus 7 , bus 10, bus 13 dengan nilai kapasitas pembangkit sebesar bus 7 (1,0000 MW, 1,0780 k65Var), bus 10 (1,0000 MW, 0,5200 KVar), dan bus 13 (1,0000 MW, 1,2160 KVar).

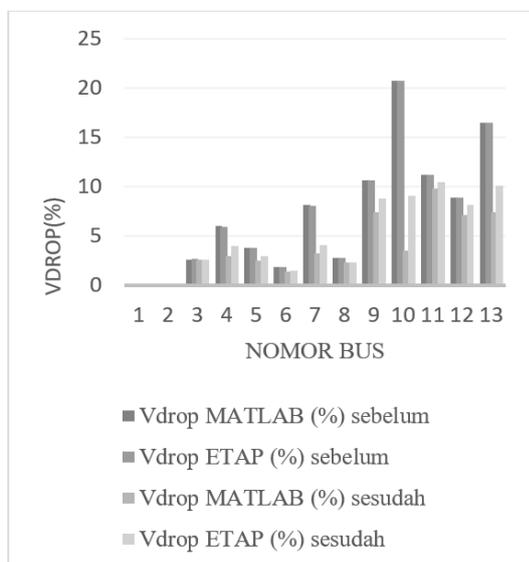
### 3.3 Skenario aliran daya setelah optimasi menggunakan MATLAB dan ETAP

Simulasi menggunakan metode PSO pada skenario 4 menghasilkan swarm dan Gbest. Swarm yang diberikan adalah titik penempatan pembangkit tersebar serta kapasitas daya yang dibutuhkan pembangkit tersebut. Gbest adalah nilai losses terkecil di semua iterasi.

Pada gambar 5 dapat di analisa bahwa pada sistem sebelum dan sesudah pemasangan pembangkit tersebar terjadi pebaikan jatuh tegangan pada bus 10. Sebelum optimasi jatuh tegangan sebesar 20,795 % dan setelah penempatan pembangkit tersebar yang diperoleh dari hasil optimasi maka nilai jatuh tegangan sebesar 9,05 %. Dengan selisih nilai jatuh tegangan sebesar 11,745 %.



Gambar 4. Nilai tegangan hasil running MATLAB dan ETAP setelah optimasi



Gambar 5. Perbedaan antara jatuh tegangan pada bus sebelum dan sesudah pemasangan pembangkit tersebar

### 3.4 Analisa rugi daya sebelum dan sesudah penempatan pembangkit tersebar

Berdasarkan hasil running yang dilakukan pada saat kondisi awal di hasilkan nilai rugi daya pada ETAP sebesar 1213,2 kW + j, 1638,8 kVAr, pada MATLAB sebesar 1216,7 kW + j, 1643,79 kVAr. Setelah dilakukan optimasi dengan 3 posisi pembangkit tersebar yang diinjeksikan maka nilai rugi daya mengalami penurunan pada ETAP dengan persentase 32,58 % dan 35,09 %, pada MATLAB dengan persentase 45,04 % dan 43,73 % dengan nilai rugi daya pada ETAP mengalami penurunan sebesar 817,82 kW+j1063,639 kVAr, pada MATLAB nilai rugi daya aktif sebesar 668,69 kW + j 924,82 kVAr.

## 4. KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini, maka didapatkan hasil simulasi aliran daya menunjukkan jatuh tegangan terbesar pada jaringan sistem area Palu GI Tipe terletak pada bus 10 sebesar 20,795 %. Hasil optimasi PSO dengan skenario partikel 80 menghasilkan 3 bus terbaik yaitu bus 7, bus 10 dan bus 13. Penempatan pembangkit tersebar berada pada bus 7, bus 10 dan bus 13 berhasil memperbaiki tegangan dengan peningkatan masing-masing sebesar bus 7 sebesar 4,05 %, bus 10 sebesar 9,05 % dan bus 13 sebesar 10,15 %.

## REFERENSI

- [1] D. Ranamuka, A. P. Agalgaonkar, and K. M. Muttaqi, "Examining the interactions between DG units and voltage regulating devices for effective voltage control in distribution systems," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 53, no. 2, pp. 1485–1496, 2016.
- [2] B. Fani, H. Bisheh, and A. Karami-Horestani, "An offline penetration-free protection scheme for PV-dominated distribution systems," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 157, pp. 1–9, 2018.
- [3] Y. Yusran, Y. A. Rahman, I. C. Gunadin, S. M. Said, and S. Syafaruddin, "Mesh grid power quality enhancement with synchronous distributed generation: Optimal allocation planning using breeder genetic algorithm," *Prz. Elektrotechniczny*, vol. 96, no. 1, 2020, doi: 10.15199/48.2020.01.20.
- [4] M. H. Sadeghi, A. Dastfan, and Y. Damchi, "Optimal coordination of directional overcurrent relays in distribution systems with DGs and FCLs considering voltage sag energy index," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 191, p. 106884, 2021.
- [5] Y. A. Rahman, S. Manjang, Yusran, and A. A. Ilham, "Evaluating the effect placement capacitor and distributed photovoltaic generation for power system losses minimization in radial distribution system," in *AIP Conference Proceedings*, 2018, vol. 1941. doi: 10.1063/1.5028085.

- [6] A. Kurniawan and S. T. Umar, "Analisa Jatuh Tegangan Dan Penanganan Pada Jaringan Distribusi 20 kV Rayon Palur Pt. PLN (Persero) Menggunakan Etap 12.6." Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2017.
- [7] Y. A. Rahman, S. Manjang, Yusran, and A. A. Ilham, "Selection of sensitive buses using the firefly algorithm for optimal multiple types of distributed generations allocation," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 10, no. 10, 2019, doi: 10.14569/ijacsa.2019.0101045.
- [8] D. Q. Hung and N. Mithulananthan, "Multiple distributed generator placement in primary distribution networks for loss reduction," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 4, pp. 1700–1708, 2011.
- [9] G. Niazi and M. Lalwani, "PSO based optimal distributed generation placement and sizing in power distribution networks: A comprehensive review," *2017 Int. Conf. Comput. Commun. Electron. COMPTELIX 2017*, no. 1, pp. 305–311, 2017, doi: 10.1109/COMPTELIX.2017.8003984.
- [10] S. Kansal, V. Kumar, and B. Tyagi, "Optimal placement of different type of DG sources in distribution networks," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 53, pp. 752–760, 2013.
- [11] H. A. M. Prasanna, M. V. L. Kumar, A. G. Veerasha, T. Ananthapadmanabha, and A. D. Kulkarni, "Multi objective optimal allocation of a distributed generation unit in distribution network using PSO," in *2014 international conference on advances in energy conversion technologies (ICAECT)*, 2014, pp. 61–66.
- [12] D. A. Satria, "Penempatan DG Menggunakan Metode PSO pada Jaringan Distribusi Mikrogrid untuk Meminimalisasi Rugi Daya." Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [13] I. N. C. Artawa, I. W. Sukerayasa, and I. A. D. Giriantari, "Analisa Pengaruh Pemasangan Distributed Generation Terhadap Profil Tegangan Pada Penyulang Abang Karangasem," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 3, pp. 79–85, 2017.
- [14] K. Mahesh, P. Nallagownden, and I. Elamvazuthi, "Advanced Pareto front non-dominated sorting multi-objective particle swarm optimization for optimal placement and sizing of distributed generation," *Energies*, vol. 9, no. 12, p. 982, 2016.
- [15] G. I. Pangestu, "Rekonfigurasi dan Penempatan DG Mempertimbangkan Kontingensi Untuk Mengurangi Rugi Daya Menggunakan Metode Binary Integer Programming dan Particle Swarm Optimization." Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [16] M. Karimi, H. Mokhlis, K. Naidu, S. Uddin, and A. H. A. Bakar, "Photovoltaic penetration issues and impacts in distribution network - A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 53, pp. 594–605, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.08.042.
- [17] M. Premkumar, K. Karthick, and R. Sowmya, "A Review on Solar PV Based Grid Connected Microinverter Control Schemes and Topologies," *Int. J. Renew. Energy Dev. Vol 7, No 2 July 2018DO - 10.14710/ijred.7.2.171-182*, Jul. 2018, [Online]. Available: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/ijred/article/view/16465>
- [18] J.-H. Teng, "A network-topology-based three-phase load flow for distribution systems," 2000.