

Rekonfigurasi Jaringan Distribusi 20 kV Feeder Balam Dengan Metoda Binary Particle Swarm Optimization (BPSO) Di PT. PLN (Persero) Bagan Batu

Roberto Simanjuntak¹, Abrar Tanjung², Zulfahri³, Masnur P. Halilintar⁴

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning

Jl. Yos Sudarso km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

robertosimanjuntak1@gmail.com¹, abrar@unilak.ac.id², zulfahri@unilak.ac.id³,
masnur@unilak.ac.id⁴

ABSTRAK

Penyaluran energi listrik oleh PT. PLN (Persero) Rayon Bagan Batu disuplai oleh saluran distribusi 20 kV *feeder* Balam melalui Gardu Induk Bagan Batu. Panjang total jaringan *feeder* Balam 85,550 kms, beban *feeder* Balam untuk memenuhi kebutuhan energi listrik sudah cukup tinggi. Sehingga menyebabkan rugi daya (*power losses*) dan jatuh tegangan (*voltage drop*) cukup tinggi. Untuk mengurangi terjadinya drop tegangan dan pada bus 10, 11,12,13,14 dan 15 dengan tegangan terendah pada ujung saluran mencapai 16,7 kV. Metode *Newton Raphson* menggunakan *software* MATLAB (R2007b) untuk meminimalkan jatuh tegangan dan rugi daya. Berdasarkan hasil pembahasan pada kondisi eksisting tegangan terendah sebesar 16,7 kV dengan daya aktif 0,045 MW dan reaktif 0,121 MVar pada bus 10,11,12,13,14 dan 15. Setelah dilakukan rekonfigurasi, diperoleh tegangan terendah sebesar 19,2 kV dengan daya aktif 0,039 MW dan daya reaktif 0,101 MVar pada rekonfigurasi ke dua. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan perancangan dua saluran baru dengan metode *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) dapat menemukan konfigurasi baru yang lebih meminimalkan rugi-rugi. Rugi-rugi daya aktif yang dihasilkan dari rekonfigurasi baru sebesar 0,027 MW dan daya reaktif sebesar 0,092 MVar.

Kata kunci : Jatuh tegangan, rugi daya, jaringan distribusi, metoda BPSO

ABSTRACT

Distribution of electrical energy by PT. PLN (Persero) Bagan Batu Rayon is supplied by a 20 kV feeder Balam distribution channel through Bagan Batu Substation. The total length of the Balam feeder network is 85,550 kms, the Balam feeder load to meet electrical energy needs is quite high. So that it causes power losses and voltage drop is quite high. To reduce the occurrence of voltage drop and on bus 10, 11,12,13,14 and 15 with the lowest voltage at the end of the channel reaches 16,7 kV. Newton Raphson method using MATLAB (R2007b) software is used to minimized the voltage drop and power loss. Based on the results of the discussion on the condition of the lowest voltage of 16.7 kV with an active power of 0.045 MW and reactive 0.121 MVar on the bus 10.11,12,13,14 and 15. After reconfiguration, obtained the lowest voltage of 19.2 kV with an active power of 0.039 MW and reactive power of 0.101 MVar on the second reconfiguration. The results of the research show that by designing two new channels with the Binary Particle Swarm Optimization (BPSO) method can find a new configuration that minimizes losses. Active power losses resulting from the new reconfiguration are 0.027 MW and reactive power is 0.092 MVar.

Keywords: *Voltage drop, power loss, distribution network, BPSO method*

1. PENDAHULUAN

Penggunaan tenaga listrik merupakan suatu kebutuhan yang tidak dapat dipisahkan dalam segala aktivitas sehari-hari. Tenaga listrik

merupakan salah satu bentuk energi yang sangat penting untuk kebutuhan dan kehidupan manusia sampai sekarang ini. Tingkat pertumbuhan industri dan pertumbuhan konsumen sekarang ini sangat pesat, oleh karena itu peningkatan

tersebut menyebabkan permintaan energi listrik semakin meningkat. Hal ini karena energi listrik merupakan sumber energi utama yang digunakan dalam proses produksi di dunia industri untuk kemajuan hidup manusia. Penambahan beban yang diikuti dengan penambahan jaringan baru pada jaringan distribusi daya listrik mengakibatkan rugi-rugi yang terjadi pada saluran distribusi semakin besar. Pada daerah yang berpenduduk padat penambahan jaringan baru biasanya dibatasi oleh beberapa hal seperti, lokasi yang digunakan sehingga pengurangan rugi-rugi saluran dapat dilakukan dengan memasang peralatan kompensasi daya reaktif ataupun dengan melakukan rekonfigurasi jaringan [1].

Jaringan distribusi merupakan bagian yang penting pada sistem kelistrikan penyaluran energi listrik. Jaringan distribusi berperan menghubungkan sistem dari tegangan menengah 20 kV dan konsumen tegangan rendah 380/220 Volt. Telah banyak dilakukan penelitian pada sistem distribusi, guna meningkatkan kualitas layanan kepada konsumen [2]–[5]. Meningkatnya aktivitas kehidupan manusia akan mengakibatkan tingginya permintaan energi listrik yang mengakibatkan penambahan beban pada jaringan listrik. Penambahan beban tersebut akan mengakibatkan penambahan suplai daya yang meningkatkan rugi-rugi daya pada saat didistribusikan. Besarnya rugi-rugi daya bergantung pada besar aliran daya aktif dan reaktif, yang terhubung pada beban-beban aktif dan reaktif. Rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dapat dikurangi dengan melakukan rekonfigurasi jaringan distribusi. Rekonfigurasi dilakukan dengan mengubah ukuran kabel pada jaringan. Selain itu rekonfigurasi jaringan juga dapat dilakukan dengan mengubah struktur saluran pada jaringan yang sudah terpasang dan lain sebagainya [6], [7].

2. TINJAUAN PUSTAKA

Rekonfigurasi Jaringan Distribusi

Rekonfigurasi jaringan (*Network Reconfiguration*) merupakan suatu usaha merubah bentuk konfigurasi jaringan distribusi dengan mengoperasikan pensakelaran terkontrol jarak jauh (*switching remotely controlled*) pada jaringan distribusi tanpa menimbulkan akibat yang beresiko pada operasi dan bentuk sistem jaringan distribusi secara keseluruhan. Biasanya

seringkali terjadi beban tidak seimbang pada fasa-fasanya (sistem distribusi merupakan sistem 3 fasa) atau terjadi kelebihan beban karena pemakaian alat-alat elektrik dari konsumen energi listrik. Keadaan tersebut jika dibiarkan terus menerus maka akan menyebabkan terjadinya penurunan keandalan sistem tenaga listrik dan kualitas energi listrik yang disalurkan serta menyebabkan kerusakan alat-alat yang bersangkutan. Untuk itu diperlukan suatu tindakan yang mengurangi pembebanan yang tidak seimbang (*unbalanced loading*) pada fasa dan kelebihan beban (*over loading*) pada jaringan distribusi listrik [8].

Rekonfigurasi jaringan distribusi yaitu mengatur ulang konfigurasi jaringan dengan jalan membuka dan menutup *switch* yang terdapat pada jaringan distribusi untuk mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dan atau untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi sehingga efisiensi daya listrik yang disalurkan meningkat dan kebutuhan konsumen dapat dilayani dengan baik. Dalam kondisi operasi normal, rekonfigurasi jaringan dilakukan karena dua alas an [9], [10] :

1. Mengurangi rugi-rugi daya pada sistem (*loss reduction*).
2. Mendapatkan pembebanan yang seimbang untuk mencegah pembebanan yang berlebih pada jaringan (*load balancing*). Secara umum konfigurasi suatu jaringan tenaga listrik hanya mempunyai dua konsep konfigurasi [1] :

1. Jaringan Radial

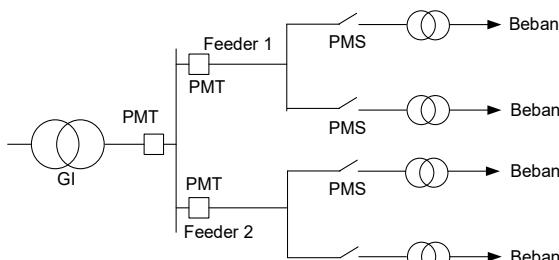
Jaringan yang hanya mempunyai pasokan tenaga listrik, jika terjadi gangguan maka akan terjadi “*black-out*” atau padam pada bagian yang tidak dapat dipasok.

2. Jaringan bentuk tertutup

Jaringan yang mempunyai alternatif pasokan tenaga listrik jika terjadi gangguan. Sehingga bagian yang mengalami pemadaman “*black-out*” dapat dikurangi atau bahkan dihindari.

Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Radial

Struktur dengan sistem ini merupakan jaringan yang paling sederhana, metode pengoperasianya mudah, hubungan langsung dari titik pengisian ke pemakai [11].



Gambar 2.1 Jaringan Distribusi Radial

Pada sistem jaringan radial sebuah penyulang (*feeder*) menyalurkan tenaga listrik secara radial, semuanya secara terpisah antara penyulang 1 dengan penyulang 2. Sistem ini mempunyai sebuah saluran yang ditarik dari sumber daya atau gardu induk dan saluran dicabangkan untuk beban-beban yang dilayani. Kelemahan dari sistem jaringan radial ini adalah, bila terjadi gangguan pada penyulang yang sampai mengakibatkan membukanya pemutus tenaga (PMT) di gardu induk, maka seluruh konsumen yang mendapat masukan dari penyulang tersebut akan mengalami pemadaman. Gangguan ini dapat dipulihkan kembali setelah gangguan yang terjadi diperbaiki [12].

Minimisasi Rugi-Rugi Saluran Dengan Metode PSO (*Particle Swarm Optimization*) PSO

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah sebuah teknik *stochastic optimization* berdasarkan populasi yang terinspirasi oleh perilaku sosial dari pergerakan burung atau ikan (*bird flocking or fish schooling*). Teknik PSO dikemukakan oleh *Russell C. Eberhart and James Kennedy* di tahun 1995. Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi dengan menggunakan kecerdasannya (*intelligency*) sendiri dan juga diperangkuhi kelompok kolektifnya. Dengan demikian, jika suatu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat (*optimal*) menuju sumber makanan, maka sisanya anggota kelompok yang lainnya juga akan mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka didalam kelompok tersebut tidak saling berdekatan. Beberapa istilah umum yang digunakan dalam PSO dapat didefinisikan sebagai berikut [13]–[15]:

1. *Swarm* : Populasi dari suatu algoritma.
2. *Particle* : Anggota (individu) pada suatu *swarm*, setiap *particle* mempersentasekan suatu solusi yang potensial pada

permasalahan yang diselesaikan. Posisi dari suatu *particle* adalah ditentukan oleh representasikan solusi saat itu.

3. *Pbest (Personal Best)* : Posisi *pbest* suatu *particle* yang menunjukkan posisi *particle* yang dipersiapkan untuk mendapatkan suatu solusi yang terbaik.
4. *Gbest (Global Best)* : Posisi terbaik *particle* pada *swarm* atau posisi terbaik antara *pbest* yang ada.
5. *Velocity* (Kecepatan) : Kecepatan atau vektor yang menggerakkan proses optimasi yang menentukan arah dimana suatu *particle* diperlukan untuk berpindah (*move*) untuk memperbaiki posisinya semula.
6. *Inertia Weight ()* : Parameter yang digunakan untuk mengontrol dampak dari adanya *velocity* yang diberikan oleh suatu *particle*.
7. *X* : Posisi atau solusi sementara yang dimiliki suatu partikel (vektor).
8. *P* : Posisi terbaik atau solusi terbaik yang pernah diraih oleh suatu partikel (vektor).
9. *V* : Arah gerak partikel (vektor).
10. *X-fitnes* : Nilai fitnes suatu partikel sementara.
11. *P-fitnes* : Nilai fitnes terbaik suatu partikel.
12. *Dbound*, *Ubound* : Batas atas dan batas bawah *search space* solusi yang ingin dicari.
13. *Vmax* : Batas kecepatan gerak partikel.
14. *Learning rate* : Kecepatan belajar partikel atau mudahnya bisa menganggap ini kecepatan normal gerak partikel karena *learning rate* berhubungan dengan kecepatan gerak partikel lainnya.
15. *r* : Koefisien kecepatan random dengan rentang nilai mulai dari 0 sampai 1.

Cara kerja PSO prinsipnya sederhana, dengan mencari parameter yang menghasilkan nilai minimum agar bisa mendapatkan nilai yang terkecil dari fungsi tersebut [3].

$$f_{(x_1, x_2)} = \frac{1 + \cos(12\sqrt{x_1^2} + \sqrt{x_2^2})}{\frac{1}{2}(x_1^2 + x_2^2) + 2} \quad (1)$$

Fungsi diatas adalah target yang ingin dicapai oleh PSO (mencari parameter yang menghasilkan nilai minimum). Kemudian dapat ditetapkan untuk menginisialisasi beberapa partikel calon solusi untuk permasalahan.

Algoritma PSO yang standar dapat dituliskan seperti pada persamaan 2 dan 3 dibawah ini :

$$v_i(t+1) = w \cdot v_i + c_1 \cdot \text{rand}(p_i - x_i(t)) + c_2 \cdot \text{rand}(p_g - x_i(t)) \quad (2)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (3)$$

Keterangan :

$x_i(t)$ dan $v_i(t)$ = Posisi dan kecepatan partikel saat ini. $x_i(t+1)$ dan $v_i(t+1)$ = Posisi dan kecepatan partikel iterasi selanjutnya. c_1 dan c_2 = Konstanta *cognitive* dan sosial *acceleration*. p_i = Posisi terbaik dari partikel itu sendiri. p_g = Posisi terbaik dari seluruh populasi yang ada.

Variasi PSO merupakan pengembangan dari metode yang telah dikembangkan oleh *Kennedy* dan *Eberhart*. Dengan ditambahkannya *inertia weight* sebagai pengontrol keragaman dari original PSO, maka persamaan *update* partikel menjadi :

$$v_i(t+1) = w \cdot v_i + c_1 \cdot \text{rand}(p_i - x_i(t)) + c_2 \cdot \text{rand}(p_g - x_i(t)) \quad (4)$$

Sebagai sebuah alat optimasi, PSO menawarkan suatu prosedur pencarian (*search procedure*) berdasarkan populasi yang di dalamnya individu-individu yang disebut *particles*, mengubah posisi atau *state* mereka terhadap waktu. Mereka ‘terbang’ mengitari suatu ruang pencarian multi dimensi (*multidimensional search space*). Selama ‘penerbangan’ setiap individu menyesuaikan posisinya menurut pengalaman pribadinya dan menurut pengalaman individu disebelahnya sehingga membentuk posisi terbaik yang sesuai untuk dirinya dan untuk individu disebelahnya [16].

Binary Particle Swarm Optimization (BPSO)

PSO standar dirancang untuk mengatasi masalah optimasi fungsi kontinu. Hal ini tidak untuk mengatasi masalah optimasi fungsi diskrit. Oleh karena itu, *Kennedy* dan *Eberhart* mengusulkan versi modifikasi dari PSO yang disebut *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah optimasi fungsi diskrit. Dalam *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) P_i dan P_g dari *swarm* di *update* dalam standar PSO. Perbedaan utama dari standar PSO dan BPSO adalah pada interpretasi dari kecepatan. Pada BPSO kecepatan dibatasi dalam kisaran. Persamaan dari kecepatan seperti persamaan berikut [10] :

$$V_{ij}(t) = \text{sig}(t) = \frac{1}{1 + e^{-v_{ij}^{(t)}}} \quad (5)$$

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah salah satu metode optimisasi berdasarkan konsep kumpulan yang cerdas. Penyelesaian yang mungkin untuk setiap masalah dapat direpresentasikan sebagai suatu partikel. Setiap partikel mempunyai suatu nilai kemampuan yang dievaluasi oleh fungsi kemampuan untuk memilih suatu pengalaman yang baik untuk dirinya sendiri dan kelompok. Populasi partikel diawali secara acak. Suatu partikel merubah arah pencarinya didasarkan atas dua nilai atau pengalaman pada setiap iterasi. Yang pertama pengalaman pencarian yang terbaik dari setiap individu yang disebut dengan *pbest*. Yang lain adalah hasil yang diperoleh oleh seluruh partikel pada populasi dan disebut *gbest*. Bila *pbest* dan *gbest* diperoleh, partikel memperbarui kecepatan dan posisinya didasarkan pada [17]–[19] :

$$v_{id}^{\text{new}} = w \cdot v_{id} + c_1 \cdot \text{rand}() \cdot (pbest - x_{id}) + c_2 \cdot \text{rand}() \cdot (gbest - x_{id}) \quad (6)$$

$$x_{id}^{\text{new}} = x_{id} + v_{id}^{\text{new}} \quad (7)$$

Keterangan :

v_{id}	= Kecepatan awal dari partikel ke-i
v_{id}^{new}	= Kecepatan baru dari partikel ke-i
w	= Bobot inersia
c_1 dan c_2	= Konstanta percepatan
x_{id}	= Posisi awal dari partikel i
x_{id}^{new}	= Posisi baru dari partikel i
$\text{rand}()$	= Bilangan acak antara 0 dan 1

Algoritma BPSO didisain untuk menyelesaikan masalah optimisasi secara kombinasi yang diskrit, dimana partikel mengambil nilai vektor biner dengan panjang n dan kecepatan yang didefinisikan sebagai probabilitas dari bit x_n untuk mencapai nilai 1. BPSO membalikkan rumus untuk kecepatan bila kecepatan dibatasi pada interval dengan membatasi fungsi transformasi dan dengan menggunakan fungsi sigmoid yaitu [18], [20]:

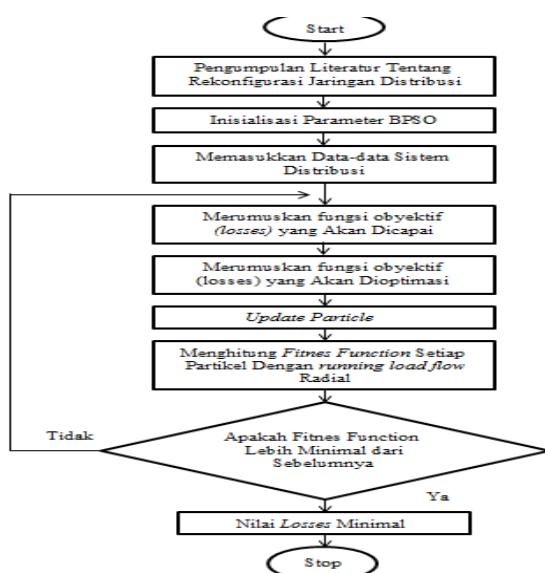
$$S(V_{id}^{k+1}) = \frac{1}{\exp(-V_{id}^{k+1})} \quad (8)$$

Rumus iterasi untuk posisi partikel adalah sebagai berikut :

$$X_{id}^{k+1} = \begin{cases} 1 \text{ ran}() < S(V_{id}^{k+1}) \\ 0, \text{ Lainnya} \end{cases} \quad (9)$$

Simulasi Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi dilakukan dengan memutus saluran yang ada kemudian menggantinya dengan saluran yang baru agar dapat diminimalisasi rugi-rugi daya. Sementara diagram alir dari rekonfigurasi Jaringan Distribusinya dapat sebagaimana terlihat pada Gambar 1 berikut ini :



Gambar 1 Diagram Alir Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Menggunakan BPSO

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam kondisi eksisting dapat dilihat tegangan ujung saluran distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) Rayon Bagan Batu menurun dengan tegangan terima terendah pada ujung trafo BTU 135 16,779 kV. Setelah data terkumpul, dilakukan analisis aliran daya menggunakan metode *Newton Raphson* dapat diketahui besar aliran daya pada tiap saluran dan rugi-rugi daya aktif yang terjadi pada proses pendistribusian energi listrik pada *feeder* Balam dari hasil penyelesaian aliran daya menggunakan metode *Newton Raphson* dapat dilihat pengelompokan bus pada Tabel 1 :

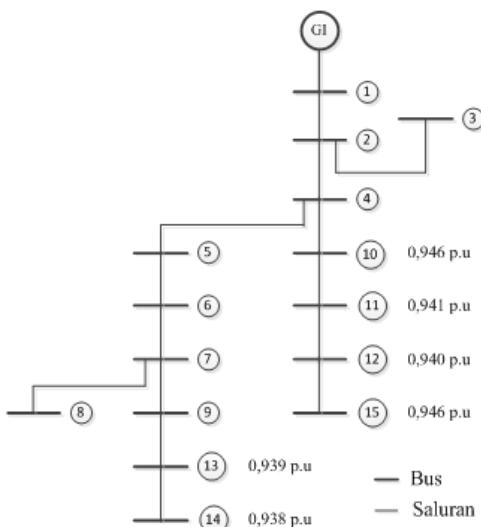
Tabel 1 Pengelompokan Bus

No	No Bus	Kode Trafo
1	1	GI
2	2	BTU 142
3		BTU 199
4		BTU 199
5	3	BTU 143
6		BTU 144
7		BTU 185
8		BTU 070
9	4	BTU 100
10		BTU 071
11		BTU 101
12		BTU 117
13	5	BTU 119
14		BTU 119
15		BTU 213
16		BTU 214
17	6	BTU 215
18		BTU 216
19		BTU 217
20		BTU 190
21	7	BTU 072
22		BTU 077
23		BTU 094
24		BTU 134
25		BTU 260
26		BTU 072
27	8	BTU 078
28		BTU 104
29		BTU 073
30	9	BTU 280
31		BTU 75
32		BTU 107
33	10	BTU 108
34		BTU 281
35		BTU 282
36		BTU 241
37		BTU 108
38		BTU 110
39		BTU 248
40	11	BTU 111
41		BTU 136
42		BTU 135
43		BTU 112
44		BTU 200
45		BTU 225
46	12	BTU 226
47		BTU 264
48	13	BTU 266
49		BTU 267
50		BTU 268
51		BTU 272
52	14	BTU 273
53		BTU 274
54		BTU 275
55	15	BTU 135
56		BTU 135

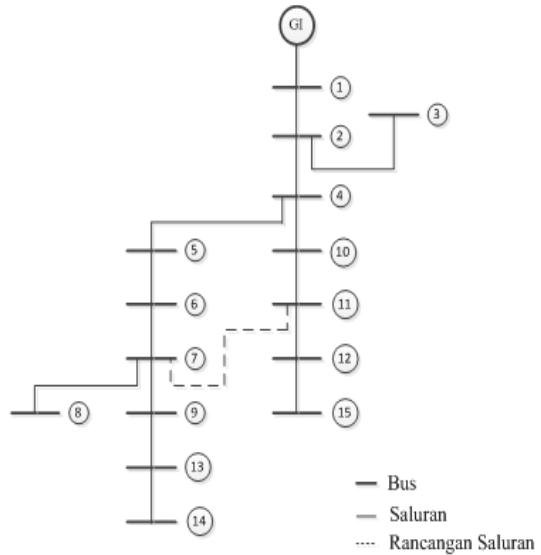
Dengan pengelompokan bus, maka didapatkan skema diagram kondisi sebelum rancangan konfigurasi dapat dilihat seperti pada Gambar 2.

Jatuh Tegangan dan Rugi Daya

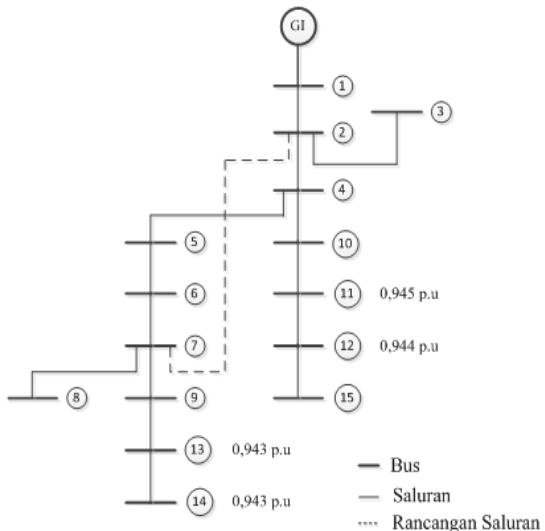
Setelah dilakukan rancangan percobaan konfigurasi jaringan distribusi pada bus 2 ke 7 kerugian daya aktif adalah 4,1 kW. Tegangan minimum besarnya adalah 0,943 p.u yang terjadi pada bus 10 dan 14. Tegangan minimum yang terjadi pada sistem 15 bus menjadi naik dengan tegangan sesudah rancangan konfigurasi dengan memindahkan bus 2 ke 7 yang dapat dilihat seperti pada gambar 3.



Gambar 2 Sistem rekonfigurasi sebelum simulasi konfigurasi



Gambar 4 Sistem konfigurasi simulasii kedua setelah rancangan konfigurasi



Gambar 3 Sistem rekonfigurasi simulasii pertama setelah rancangan konfigurasi

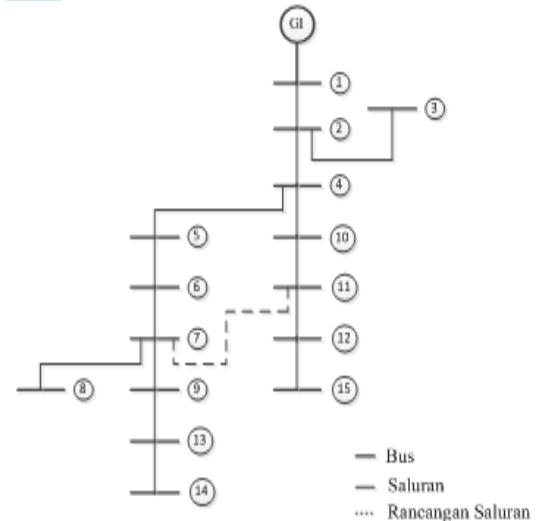
Kemudian hasil percobaan rancangan konfigurasi jaringan distribusi pada bus 7 ke 11 selanjutnya dapat dilihat seperti pada gambar 4.

Tabel 2. Profil Tegangan Sebelum dan Setelah Rancangan Konfigurasi Simulasi

Bus	Tegangan Simulasi (pu)		
	Sebelum	Pertama	Kedua
10	0,946	0,950	0,958
11	0,941	0,941	0,962
12	0,940	0,940	0,960
13	0,939	0,939	0,960
14	0,938	0,938	0,959
15	0,946	0,950	0,958

Hasil Simulasi Rekonfigurasi

Tahap ini dilakukan perencanaan saluran bus pada *feeder* sehingga perencanaan baru bisa mendapatkan *losses* yang minimal dari pada kondisi sebelum perencanaan. Setelah perencanaan konfigurasi kedua pada bus 7 ke 11, aliran daya menggunakan metoda BPSO dapat dilihat seperti pada Gambar 5.



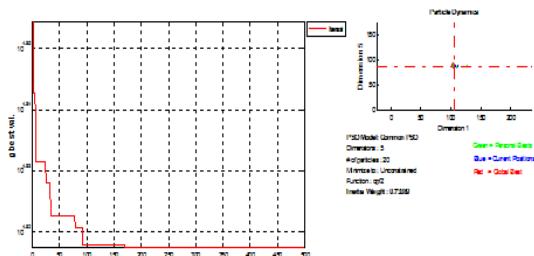
Gambar 5 Rancangan setelah konfigurasi simulasii kedua menggunakan BPSO

Adapun nilai tegangan setelah konfigurasi simulasii kedua dengan menggunakan metoda *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) dapat dilihat seperti Tabel 3.

Pencarian hasil iterasi yang diperoleh oleh seluruh partikel populasi *gbest* dapat dilihat seperti pada Gambar 6.

Tabel 3. Nilai tegangan setelah konfigurasi simulasi kedua

No. Bus	Tegangan (pu)
1	1,0250
2	1,0400
3	1,0450
4	1,0300
5	1,0650
6	0,1803
7	0,1395
8	0,0728
9	0,1065
10	0,2285
11	0,9514
12	0,0642
13	0,1001
14	0,1267
15	0,0613



Gambar 6 Pencarian hasil iterasi populasi g_{best}

Perbandingan losses sebelum dan sesudah rekonfigurasi dapat dilihat seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil simulasi menggunakan BPSO pada Bus 10,11,12,13,14,15

Deskripsi	Losses	
	kW	kVAR
Sebelum Rekonfigurasi	45	121
Sesudah Rekonfigurasi	27	92

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang dilakukan setelah melakukan percobaan perancangan konfigurasi menggunakan MATLAB 7.5.0 (R2007b) dengan metoda *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) maka disimpulkan sebagai berikut :

1. Tegangan terima eksistung di bus 10 sampai ke bus 15 sebesar 16,7 kV (bus 10= 0,946 p.u, bus 11= 0,941 p.u, bus 12= 0,940 p.u, bus 13= 0,939 p.u, bus 14= 0,938 p.u dan bus 15= 0,946 p.u) dengan total rugi-rugi daya aktif

pada sistem sebesar 4,5 MW dan rugi-rugi daya reaktif pada sistem sebesar 1,21 MVA.

2. Setelah dilakukan rekonfigurasi kedua dengan metoda *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) tegangan terima pada bus 10 sampai ke bus 15 sebesar 19,2 kV (bus 10 = 0,958 p.u, bus 11 = 0,962 p.u, bus 12= 0,960 p.u, bus 13 = 0,960 p.u, bus 14= 0,959 p.u dan bus 15= 0,958 p.u) dengan total rugi-rugi daya aktif sebesar 0,027 MW dan rugi-rugi daya reaktifnya sebesar 0,092 MVA.
3. Penghematan pada rekonfigurasi kedua diperoleh rugi-rugi daya aktif sebesar 0,018 MW dan rugi daya reaktif sebesar 0,029 MVA.
4. Metoda *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) dapat digunakan untuk meminimalkan rugi-rugi daya.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Tanjung, “Analisa Sistem Distribusi 20 kV Untuk Memperbaiki Kinerja Sistem Distribusi Menggunakan Electrical Transient Analysis Program,” in *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri (SNTIKI)*, 2012, pp. 391–399.
- [2] H. Eteruddin, D. Setiawan, and P. P. P. Hutagalung, “Evaluasi Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Pada Feeder 7 Peranap PT. PLN Persero Rayon Taluk Kuantan,” in *Seminar Nasional Pakar*, 2020, pp. 1.4.1-1.4.6.
- [3] A. Van Anugrah, H. Eteruddin, and A. Arleny, “Studi Pemasangan Express Feeder Jaringan Distribusi 20 kV Untuk Mengatasi Drop Tegangan Pada Feeder Sorek PT. PLN (Persero) Rayon Pangkalan Kerinci,” *SainETIn*, vol. 4, no. 2, pp. 65–71, 2020.
- [4] H. Eteruddin, A. A. Mohd Zin, and B. Belyamin, “Line Differential Protection Modeling with Composite Current and Voltage Signal Comparison Method,” *Telkomnika*, vol. 12, no. 1, Mar. 2014.
- [5] H. Eteruddin and A. A. Mohd Zin, “Reduced Dielectric Losses for Underground Cable Distribution Systems,” *International Journal of Applied Power Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 37–46, Apr. 2012.
- [6] M. E. Baran and F. F. Wu, “Network Reconfiguration in Distribution Systems for

- Loss Reduction and Load Balancing,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 4, no. 2, pp. 1401–1407, 1989.
- [7] B. Santosa and P. Willy, *Metoda Metaheuristik, Konsep dan Implementasi*. Surabaya: Graha Ilmu, 2011.
- [8] PT. PLN (Persero), “Data Pembebanan di Gardu-Gardu Induk dan Penyulang. Beban MW, MVAR, Tegangan, Arus, example bulan September sampai November,” Pekanbaru, 2017.
- [9] T. S. Hutauruk, *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta: Erlangga, 1985.
- [10] H. Ikhlas, “Analisa Drop Tegangan Pada Feeder Setapuk Tegangan 20 kV di Gardu Induk Sei Wei PT. PLN (Persero) Cabang Singkawang,” *Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak*, 2011.
- [11] H. Saadat, *Power System Analysis*. McGraw-Hill, 2002.
- [12] K. Abdul, *Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta: Universitas Indonesia, 2000.
- [13] J. Kennedy and R. C. Eberhart, “Particle Swarm Optimization,” in *IEEE International Conference on Neural Networks*, 1995.
- [14] O. Zebua and I. M. Ginarsa, “Rekonfigurasi Jaringan Distribusi untuk Meminimisasi Rugi-Rugi pada Penyulang Kabut di Gardu Induk Teluk Betung Menggunakan Metode Binary Particle Swarm Optimization (BPSO),” *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 5, no. 1, 2016.
- [15] PT. PLN (Persero), “Data Pengukuran dan Single Line Diagram Penyulang GI Bagan Batu,” Bagan Batu, 2015.
- [16] R. Syahputra, “Optimisasi Konfigurasi Jaringan Distribusi dengan Integrasi Pembangkit Tersebar Energi Terbarukan Berbasis Algoritma Cerdas Clonal Selection Immune System,” *Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah*, Yogyakarta Yogyakarta, 2016.
- [17] J. J. Grainger and W. D. Stevenson Jr, *Power System Analysis*, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 1994.
- [18] A. Tandon and D. Saxena, “Optimal reconfiguration of electrical distribution network using selective particle swarm optimization algorithm,” in *International Conference on Power, Control and Embedded Systems (ICPCES)*, 2014, pp. 1–6.
- [19] T. Sukmadi and B. Winardi, “Perhitungan dan Analisis Keseimbangan Beban pada Sistem Distribusi 20 kV Terhadap Rugi-Rugi Daya (Studi Kasus pada PT. PLN UPJ Slawi),” *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 47–52, 2009.
- [20] T. Watiningsih, “Sistem Jaringan Distribusi Tegangan Menengah,” *Teodolita (Media Komunikasi Ilmiah di Bidang Teknik)*, vol. 13, no. 2, 2012.