

REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI MENGGUNAKAN BINARY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION UNTUK MENAIKKAN NILAI INDEKS STABILITAS TEGANGAN

¹Aji Akbar Firdaus, ²Ontoseno Penangsang, ³Adi Soeprijanto, ⁴Dimas Fajar U. P

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jalan ITS Raya, Surabaya 60111
e-mail : ¹aji.firdaus.akbar11@mhs.ee.its.ac.id, ²ontosenop@ee.its.ac.id, ³adisup@ee.its.ac.id,
⁴dimasfup@ee.its.ac.id

Abstrak - Sistem distribusi memiliki permasalahan antara lain adalah losses dan tegangan jatuh. Losses dan tegangan jatuh pada sistem distribusi akan berpengaruh terhadap kualitas penyaluran daya dan biaya operasi saluran. Losses dan tegangan jatuh dipengaruhi oleh parameter utama yaitu arus resistansi dan reaktansi penyulang. Oleh karena itu, untuk mengatasi hal tersebut dilakukan rekonfigurasi jaringan pada sistem distribusi. Rekonfigurasi jaringan distribusi merupakan salah satu cara untuk mengoptimalkan aliran daya pada sistem distribusi. Pada penelitian ini, analisa aliran daya menggunakan metode newton raphson. Newton raphson merupakan salah satu cara untuk menganalisa aliran daya pada jaringan. Rekonfigurasi pada jaringan distribusi menggunakan metode Binary Particle Swarm Optimization (BPSO). BPSO disimulasikan untuk mengatur switch, sehingga konfigurasi yang dihasilkan dapat menaikkan nilai indeks stabilitas tegangan. Skema ini diujikan pada sistem distribusi 12,66 kV terdiri dari 33 bus. Setelah rekonfigurasi, kondisi tegangan yang dihasilkan lebih baik dan stabil tercapai. Dari hasil simulasi rekonfigurasi didapatkan active power loss 239.0531 kW menjadi 156.6622 kW dan reactive power loss 128.1557 kVar menjadi 104.8655 kVar.

Kata kunci : Sistem distribusi, Binary Particle Swarm Optimization(BPSO), indeks stabilitas tegangan

1. Pendahuluan

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan manusia mengakibatkan permintaan energi listrik juga meningkat. Dengan adanya penambahan beban mengakibatkan perluasan atau penambahan jaringan listrik. Jika beban semakin besar maka arus yang mengalir pada jaringan akan semakin besar. Dengan semakin luasnya sistem jaringan maka gangguan yang akan terjadi juga semakin besar. Gangguan dapat mengakibatkan faktor daya menurun, tegangan jatuh, dan losses.

Dalam penyaluran daya listrik dari gardu induk ke beban diperlukan saluran distribusi. Pada sistem distribusi terdapat permasalahan antara lain losses dan tegangan jatuh. Losses dan tegangan jatuh dipengaruhi oleh parameter utama yaitu arus resistansi dan reaktansi penyulang (M.E. Baran *et al*, 1989). Oleh karena itu, untuk mengatasi hal tersebut dilakukan rekonfigurasi jaringan pada sistem distribusi.

Rekonfigurasi jaringan dilakukan untuk mengurangi kehilangan daya (*power losses*) dan untuk mengurangi kelebihan beban (*overload*) pada jaringan distribusi. Karakteristik pembebanan pada sistem distribusi secara alamiah akan terus meningkat sehingga suatu saat beban sistem lebih besar dari kapasitas gardu induk. Jika kelebihan beban yang terjadi tidak dapat dikurangi maka profil tegangan dari penyulang juga dapat turun di bawah level yang diizinkan. Pada penelitian sebelumnya digunakan metode *genetic algorithm* (K. Nara *et al*, 1992), *fuzzy controlled evolutionary programming* (Y.I-I. Song *et al*, 1997), *Artificial neural network* (Salazar *et al*, 2006), yaitu meminimalkan losses pada sistem distribusi.

Pada penelitian ini indeks stabilitas tegangan dilakukan untuk menaikkan stabilitas tegangan. Untuk menaikkan indeks stabilitas tegangan diperlukan rekonfigurasi jaringan pada sistem. Rekonfigurasi jaringan dilakukan menggunakan metode *binary particle swarm optimization*. Studi kasus dilakukan dengan variasi beban. Variasi beban dilakukan dengan cara menambahkan beban secara sedikit demi sedikit pada sistem. Sehingga kenaikan indeks stabilitas tegangan nampak dan sistem juga stabil.

2. Rekonfigurasi Jaringan Distribusi

Sistem distribusi merupakan jaringan yang langsung terhubung dengan beban. Sehingga sistem distribusi sangat sensitif apabila terjadi penambahan beban. Akibat dari penambahan beban, arus yang mengalir pada sistem menjadi bertambah besar, sehingga mengakibatkan *losses* yang besar. Oleh karena itu, suatu tindakan diperlukan untuk mengurangi *losses*. Salah satu cara yang digunakan adalah rekonfigurasi jaringan distribusi.

Rekonfigurasi jaringan distribusi adalah suatu cara untuk mengurangi *losses* pada jaringan distribusi serta untuk meningkatkan kehandalan sistem distribusi. Cara untuk mengurangi *losses* dan meningkatkan kehandalan sistem adalah dengan mengatur ulang konfigurasi jaringan dengan membuka dan menutup *switch* yang terdapat pada jaringan distribusi (Kubin Taleski et al, 1997). Sehingga arus yang mengalir pada jaring distribusi dapat diatur.

Dalam kondisi operasi normal, rekonfigurasi jaring dilakukan karena dua alasan:

1. Mengurangi rugi-rugi daya pada sistem (*loss reduction*).
2. Mendapatkan pembebanan yang seimbang untuk mencegah pembebanan yang berlebih pada jaringan (*load balancing*)

3. Analisa Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan bagian utama dari desain dan analisis sistem tenaga. Dengan studi aliran daya dapat mengetahui informasi antara lain sudut dan besar tegangan pada tiap bus, impedansi saluran (dalam satuan per unit / p.u pada basis MVA) (H.Saadat et al, 1999), dan daya aktif dan reaktif yang mengalir pada saluran distribusi. Informasi ini berguna untuk menganalisa kondisi pembangkitan, saluran dan beban dalam kondisi normal dan saat kondisi tidak stabil.

Bentuk umum persamaan aliran daya dapat diturunkan dari persamaan matriks admitansi bus yang ditulis seperti persamaan 1.

$$P_i - jQ_i = (V_i^*) \sum_{j=1}^n (Y_{ij} V_j) \quad \dots (1)$$

Persamaan 1 adalah persamaan aliran daya statis dengan besar-besaran dalam bentuk kompleks, oleh karena itu terdapat $2n$ persamaan dimana n adalah jumlah bus.

Dalam menyelesaikan terdapat beberapa metode yang dapat digunakan adalah :

1. Metode *newton-raphson*
2. Metode *fast-decouple*
3. Metode *gauss-seidel*

Terdapat beberapa cara untuk menerapkan metode *newton-raphson* untuk menyelesaikan aliran daya. Metode *newton-raphson* ini digunakan persamaan aliran daya bentuk *rectangular*, polar atau *hybrid*. Setiap bus generator memiliki persamaan daya aktif P_i dan sudut fasa yang tidak diketahui θ_i mempunyai persamaan seperti persamaan 2.

$$\Delta P_i = P_i^{sch} - P_i \quad \dots (2)$$

Untuk setiap bus beban yang memiliki daya aktif P_i dan reaktif Q_i dimana $|V_i|$ dan θ_i yang tidak diketahui. Maka persamaan tersebut seperti persamaan 3,4.

$$\Delta P_i = P_i^{sch} - P_i = 0 \quad \dots (3)$$

$$\Delta Q_i = Q_i^{sch} - Q_i = 0 \quad \dots (4)$$

Pada persamaan 3,4 “sch” menunjukkan daya aktif atau reaktif yang telah dijadwalkan atau ditentukan pada bus i . Apabila digunakan persamaan aliran daya dalam bentuk polar seperti persamaan 5,6.

$$P_i = |V_i| \sum_{j=0}^n |Y_{ij}| |V_j| \cos(\theta_i - \theta_j - \psi_{ij}) \quad \dots (5)$$

$$Q_i = |V_i| \sum_{j=0}^n |Y_{ij}| |V_j| \sin(\theta_i - \theta_j - \psi_{ij}) \quad \dots (6)$$

4. Binary Particle Swarm Optimization (BPSO)

Particle Swarm Optimization (PSO) merupakan algoritma optimasi berbasis kecerdasan buatan yang terinspirasi oleh kecerdasan koloni burung dan ikan (J. Kennedy *et al*, 1995). Algoritma PSO beriterasi memperbaiki nilai posisi dan kecepatan partikel hingga kondisi akhir terpenuhi (Xin-She Yang *et al*, 2010). Persamaan *update rule* yang digunakan seperti persamaan 7,8.

$$V_{ir+1} = V_{ir} + c1.rand * (P_{best_{ir}} - X_{ir}) + c2.rand * (G_{best_{ir}} - X_{ir}) \quad \dots (7)$$

$$X_{ir+1} = X_{ir} + V_{ir+1} \quad \dots (8)$$

Dimana X_{ir} dan V_{ir} = posisi dan kecepatan partikel saat ini; X_{ir+1} dan V_{ir+1} = posisi dan kecepatan partikel iterasi selanjutnya; $c1$ dan $c2$ = konstanta *cognitive* dan *social acceleration*; *rand* = nilai *random* yang terdistribusi antara 0 dan 1; $P_{best_{ir}}$ = posisi terbaik dari partikel itu sendiri; $G_{best_{ir}}$ = posisi terbaik dari seluruh populasi yang ada

Binary Particle Swarm Optimization (BPSO) merupakan algoritma optimasi yang dikembangkan dari *particle swarm optimization* (PSO). Dalam teori, sebuah *switch* sebagai pembawa informasi selalu dalam kondisi interval $[0,1]$. Rumus *vector* partikel didefinisikan seperti persamaan 9.

$$V = [V_1, V_2, \dots, V_M], (V_i = [v_i^1, v_i^2, \dots, v_i^M]) \quad \dots (9)$$

Dimana $0 \leq v/ \leq 1 (i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N)$ N adalah panjang partikel dan M adalah ukuran swarm. $v/$ sebagai probabilitas partikel ke- i dari *switch* ke- j yang bernilai 0.

Denotasi partikel untuk masalah yang praktikal diasumsikan $X = [X_1, X_2, \dots, X_M], (X_i = [x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^M])$. Dimana $x/ \in \{0,1\} (i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N)$ adalah korespondensi partikel diskrit dari partikel kuantum $v/$, N adalah panjang partikel dan M adalah ukuran *swarm*. Untuk setiap $v/ (i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N)$ menghasilkan angka *random* dalam interval $[0,1]$, jika angka *random* lebih besar dari $v/$, maka $x_{ij} = 0$. Algoritmanya tersebut dapat dituliskan seperti persamaan 10-12.

$$V_{localbest} = \alpha \times x_{localbest} + \beta \times (1 - x_{localbest}) \quad \dots (10)$$

$$V_{globalbest} = \alpha \times x_{globalbest} + \beta \times (1 - x_{globalbest}) \quad \dots (11)$$

$$V = w \times V + c_1 \times V_{localbest} + c_2 \times V_{globalbest} \quad \dots (12)$$

Dimana $\alpha + \beta = 1, 0 < \alpha, \beta < 1$ adalah parameter pengendali yang mengindikasikan derajat kendali dari $V. w + c_1 + c_2 = 1, 0 < w, c_1, c_2 < 1$. Proses dari implementasi BPSO sebagai berikut :

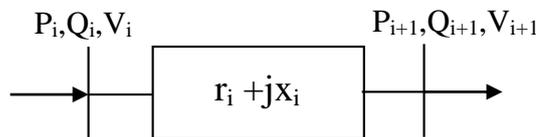
- Langkah 1 : Inisialisasi partikel kuantum V dan partikel diskrit X
- Langkah 2 : Untuk partikel diskrit X , hitung *fitness*
- Langkah 3 : Hitung $V_{localbest}$ seperti persamaan 10
- Langkah 4 : Hitung $V_{globalbest}$ seperti persamaan 11
- Langkah 5 : Hitung probabilitas kuantum V seperti persamaan 12
- Langkah 6 : Hitung partikel diskrit X , jika *random* $[0,1] > v$, maka $x/=1$, selain itu $x/=0$
- Langkah 7 : Ulang ke langkah 2 sampai satu dari criteria berhenti terpenuhi

Objective function yang akan diperoleh adalah rekonfigurasi jaringan yang mempunyai *losses* yang minimal. Dari *losses* yang minimal ini, indeks stabilitas tegangan menjadi naik.

5. Indeks Stabilitas Tegangan

Kestabilan tegangan dapat didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan tegangan pada semua bus pada waktu normal dan setelah gangguan (Partha Kaya et al, 2012). Salah satu akibat dari ketidakstabilan pada sistem adalah *voltage collapse*. *Voltage collapse* adalah sebuah fenomena jatuhnya tegangan yang berkelanjutan akibat adanya gangguan, sehingga sistem kelistrikan dapat *black out* atau padam total (Kundur, P et al, 1994). *Voltage collapse* akan terjadi jika keseimbangan tegangan didekat beban berada dibawah standar yang telah ditetapkan. Pada penelitian ini dilakukan rekonfigurasi jaringan agar indeks stabilitas tegangan naik, sehingga *voltage collapse* tidak terjadi pada sistem tenaga listrik.

Voltage collapse point merupakan hal yang sangat penting dalam menjaga kontinuitas dan kehandalan sistem tenaga. *Voltage collapse point* dapat diketahui dengan indeks stabilitas tegangan. Untuk mengetahui indeks stabilitas tegangan maka pemodelan sistem distribusi menjadi sistem dua bus dilakukan (U. Eminoglu et al, 2007). Pada gambar 1 merupakan rangkaian ekuivalen dari sistem distribusi untuk mengetahui indeks stabilitas tegangan.



Gambar 1 Rangkaian ekuivalen dari sistem distribusi pada sistem dua bus
 Persamaan arus pada saluran sistem dua bus pada persamaan 13,14.

$$I^2 = \frac{P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2}{V_{i+1}^2} \quad \dots (13)$$

$$I^2 = \frac{(P_L^2 + Q_L^2)}{(V_i - V_{i+1})^2} \quad \dots (14)$$

Dari persamaan 13,14.

$$\frac{P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2}{V_{i+1}^2} = \frac{(P_L^2 + Q_L^2)}{(V_i - V_{i+1})^2} \quad \dots (15)$$

Kemudian :

$$P_L = r_i \left(\frac{P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2}{V_{i+1}^2} \right) \quad \dots (16)$$

$$Q_L = x_i \left(\frac{P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2}{V_{i+1}^2} \right) \quad \dots (17)$$

Dimana P_L = losses aktif; Q_L = losses reaktif; $r_i + x_i$ = impedansi saluran; P_{i+1} = daya aktif pada bus penerima; Q_{i+1} = daya reaktif pada bus penerima; V_{i+1} = tegangan pada bus penerima

Dari persamaan 16,17 disubstitusikan ke persamaan 15.

$$(V_i \cdot V_{i+1} - V_{i+1}^2)^2 = (P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2) \cdot (r_i^2 + x_i^2) \quad \dots (18)$$

Akar dari persamaan 18 real jika :

$$V_i^2 - 4 \cdot \sqrt{(P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2) \cdot (r_i^2 + x_i^2)} \geq 0 \quad \dots (19)$$

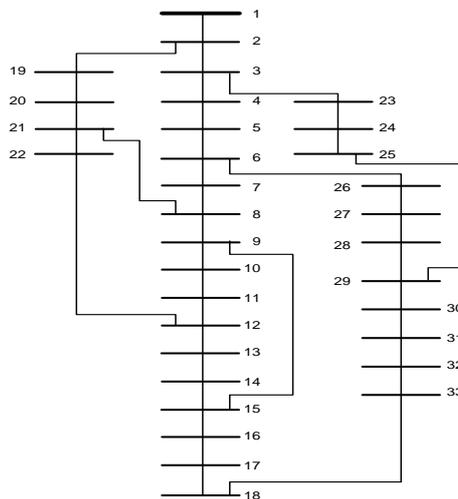
Dari persamaan 19 maka indeks stabilitas tegangan ditunjukkan pada persamaan 20.

$$L_i = \frac{4 \cdot \sqrt{(P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2) \cdot (r_i^2 + x_i^2)}}{V_i} \leq 1 \quad \dots (20)$$

Dengan demikian, tingkat kestabilan tegangan dari total sistem interkoneksi dapat diukur dengan menggunakan indeks stabilitas tegangan yang diusulkan sehingga tindakan yang tepat dapat diambil jika nilai indeks mendekati satu.

6. Hasil Simulasi

Metodelogi rekonfigurasi yang diusulkan telah diuji pada sistem 33 bus 12,66 kV. Gambar 2 merupakan diagram skematik dari sistem yang diujikan.



Gambar 2 Skematik sistem 33 bus

Hasil simulasi dari MATLAB menggunakan metode *newton-raphson* pada saat sebelum rekonfigurasi dilakukan, didapatkan nilai dari $L = 0.20854$. *Active* dan *reactive power losses* pada saat sebelum rekonfigurasi adalah $P_{loss} = 239.0531$ kW dan $Q_{loss} = 128.1557$ kVar. Tabel 1 merupakan hasil *load flow* menggunakan metode *newton-raphson*.

Tabel 1.
Hasil load flow menggunakan metode newton-raphson

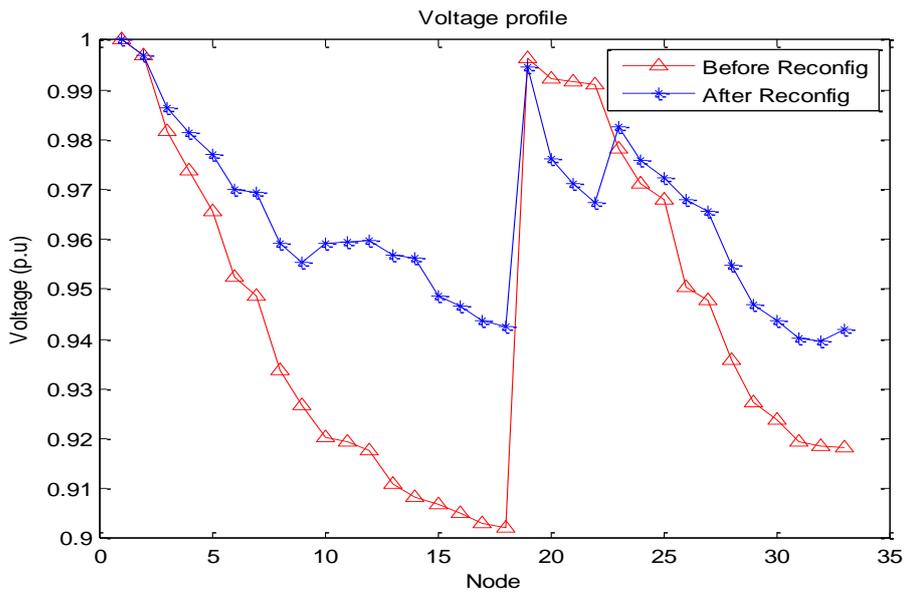
| No | from bus | to bus | from bus injection | | to bus injection | |
|----|----------|--------|--------------------|---------|------------------|---------|
| | | | P(MW) | Q(MVar) | P(MW) | Q(MVar) |
| 1 | 1 | 2 | 4.27 | 2.43 | -4.26 | -2.42 |
| 2 | 2 | 3 | 3.75 | 2.2 | -3.69 | -2.17 |
| 3 | 3 | 4 | 2.62 | 1.67 | -2.6 | -1.66 |
| 4 | 4 | 5 | 2.47 | 1.58 | -2.45 | -1.57 |
| 5 | 5 | 6 | 2.38 | 1.54 | -2.33 | -1.54 |
| 6 | 6 | 7 | 1.23 | 0.54 | -1.23 | -0.53 |
| 7 | 7 | 8 | 1.02 | 0.43 | -1 | -0.42 |
| 8 | 8 | 9 | 0.79 | 0.32 | -0.79 | -0.32 |
| 9 | 9 | 10 | 0.72 | 0.3 | -0.71 | -0.3 |
| 10 | 10 | 11 | 0.64 | 0.28 | -0.64 | -0.28 |
| 11 | 11 | 12 | 0.59 | 0.25 | -0.59 | -0.25 |
| 12 | 12 | 13 | 0.52 | 0.21 | -0.51 | -0.21 |
| 13 | 13 | 14 | 0.44 | 0.17 | -0.44 | -0.17 |
| 14 | 14 | 15 | 0.31 | 0.09 | -0.31 | -0.09 |
| 15 | 15 | 16 | 0.24 | 0.08 | -0.24 | -0.08 |
| 16 | 16 | 17 | 0.17 | 0.06 | -0.17 | -0.06 |
| 17 | 17 | 18 | 0.1 | 0.04 | -0.1 | -0.04 |
| 18 | 2 | 19 | 0.4 | 0.16 | -0.4 | -0.16 |
| 19 | 19 | 20 | 0.3 | 0.12 | -0.3 | -0.12 |
| 20 | 20 | 21 | 0.2 | 0.08 | -0.2 | -0.08 |
| 21 | 21 | 22 | 0.1 | 0.04 | -0.1 | -0.04 |
| 22 | 3 | 23 | 0.97 | 0.46 | -0.97 | -0.46 |
| 23 | 23 | 24 | 0.87 | 0.41 | -0.86 | -0.4 |
| 24 | 24 | 25 | 0.43 | 0.2 | -0.43 | -0.2 |
| 25 | 6 | 26 | 1.03 | 0.98 | -1.03 | -0.97 |
| 26 | 26 | 27 | 0.96 | 0.95 | -0.96 | -0.95 |
| 27 | 27 | 28 | 0.89 | 0.92 | -0.87 | -0.91 |
| 28 | 28 | 29 | 0.8 | 0.89 | -0.8 | -0.88 |
| 29 | 29 | 30 | 0.67 | 0.81 | -0.66 | -0.81 |
| 30 | 30 | 31 | 0.45 | 0.21 | -0.45 | -0.21 |
| 31 | 31 | 32 | 0.29 | 0.14 | -0.29 | -0.14 |
| 32 | 32 | 33 | 0.07 | 0.04 | -0.07 | -0.04 |

Dari hasil simulasi yang dilakukan maka *switch* {7}, {9}, {14}, {32}, {37} dibuka, sehingga pada perhitungan aliran daya pada bus tersebut sebesar nol. Ini dikarenakan pada sistem tersebut telah direkonfigurasi. Setelah direkonfigurasi, maka indeks stabilitas tegangan akan mendekati stabil yaitu mendekati nol.

$$L = 0.14997$$

$$P_{loss} = 156.6622 \text{ kW dan } Q_{loss} = 104.8655 \text{ kVar}$$

Gambar 3 Menunjukkan tegangan pada setiap bus sebelum dan setelah rekonfigurasi.



Gambar 3 Profil tegangan sebelum dan setelah rekonfigurasi

Tabel 2 menunjukkan hasil dari studi kasus yang dilakukan. Pada kasus pertama simulasi dilakukan tanpa rekonfigurasi jaringan. Pada kasus kedua simulasi dilakukan dengan rekonfigurasi jaringan. Dan pada kasus ketiga simulasi dilakukan dengan rekonfigurasi jaringan dan penambahan beban pada setiap bus.

Tabel 2.
Hasil studi kasus yang dilakukan

| kasus | Situasi | Nilai L | P_{loss} (kW) | Q_{loss} (kVar) |
|-------|-----------------------|-------------|-----------------|-------------------|
| 1 | sebelum rekonfigurasi | 0.20854 | 239.0531 | 128.1557 |
| 2 | setelah rekonfigurasi | 0.14997 | 156.6622 | 104.8655 |
| 3 | setelah rekonfigurasi | 0.766929392 | 1162 | 1080 |

7. Kesimpulan

Indeks stabilitas tegangan yang digunakan mengukur tingkat kestabilan tegangan untuk sistem distribusi secara keseluruhan. Rekonfigurasi dilakukan menggunakan metode *binary particle swarm optimization* (BPSO), sehingga rekonfigurasi optimal didapatkan dengan *switch* {7}, {9}, {14}, {32}, {37} dibuka. Setelah rekonfigurasi didapat, indeks stabilitas tegangan naik dengan signifikan. Hal ini ditunjukkan dengan indeks stabilitas tegangan mendekati angka nol. Total *losses* yang dihasilkan dari simulasi rekonfigurasi berkurang dari 239.0531+j156.6622 MVA menjadi 128.1557+j104.8655 MVA. Studi kasus yang berbeda dengan penambahan beban menunjukkan apabila beban semakin ditambahkan maka nilai dari L akan mendekati satu dan menunjukkan bahwa kondisi tersebut akan tidak stabil apabila melebihi satu.

Daftar Pustaka

- M.E. Baran and F. Wu, “*Network reconfiguration in distribution system for loss reduction and load balancing*”, IEEE Trans. on Power Delivery, 1989, vol.4, no.2, pp. 1401-1407.
- K. Nara. *Implementation of genetic algorithm for distribution system loss minimum reconfiguration*, IEEE Transaction on Power System, 1992, Vol. 7, No. 3, pp. 1044-1051.
- Y.I-I.Song, G .S. Wang, A.T. Johns, P.Y. Wang, “*Distribution networks reconfiguration for loss reduction using fuzzy controlled evolutionary programming*”, IEE Proc-Gener Transm. Distrib. Vol. 144. No. 4, July 1997.
- Salazar. “*Artificial neural network and clustering techniques applied in reconfiguration of distribution system*”. IEEE Trans. on Power Del, 2006, Vol. 21, No. 3, pp. 1735-1742.
- Kubin Taleski, Dragoslav RajiCid, “*Distribution Network Reconfiguration For Energy Loss Reduction*”, IEEE Transactions On Power System, Vol. 12, No1, February 1997.
- Saadat, Hadi. “*Power System Analysis (Second Edition)*”, McGraw-Hill Education (Asia). Singapore, 2004.
- J. Kennedy and R. Eberhart, "*Particle swarm optimization*", In IEEE Int. Conf on Neural Networks, Perth, Australia, 1942-1948, 1995.
- Xin-She Yang , “*Nature Inspired, Luniver Press*”, Second Edition (2010).
- Partha Kaya, Sayonsom Chanda, C. K. Chanda, “*Determination of Voltage Stabilityin Distribution Network Using ANN Technique*”, International Journal on Electrical Engineering and Informatics - Vol. 4, No. 2, July 2012.
- Kundur, P. “*Voltage Stability, Power System stability and control*”, Hal. 959-1024, 1994.
- Jen-Hao T, “*A Direct Approach for Distribution System Load Flow Solutions*”, IEEE Trans. on Power Delivery, 2003, vol.18, no.3, pp. 882-887.
- U. Eminoglu, M. H. Hocaoglu, “*A Voltage Stability Index For Radial Distribution Networks*”, UPEC 2007 – 408.