

Optimasi Rekonfigurasi Jaringan Pada Sistem Distribusi ULP Way Halim Kota Bandar Lampung Mempertimbangkan Penggunaan Beban Nonlinear

Yuli Asmi Rahman^{1*}, Muhira Dzar Faraby², Ontoseno Penangsang³, Mukhlisin⁴, Yoan Elviralita⁵, Ismindari⁶, Asminar⁷

¹ Jurusan Teknik Elektro, Universitas Tadulako, Palu

² Prodi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

³ Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

⁴ Prodi Teknik Listrik, Politeknik Bosowa, Makassar

^{5,6} Prodi Teknik Mekatronika, Politeknik Bosowa, Makassar

⁷ Departemen Teknik Elektro, Universitas Halu Oleo, Kendari

yuliasmi.rahman81@gmail.com¹, Muhira_faraby@yahoo.com², ontosenop@ee.its.ac.id³, mukhlisin@politeknikbosowa.ac.id⁴, yoan.elviralita@politeknikbosowa.ac.id⁵, ismindari@politeknikbosowa.ac.id⁶, asminar.ft@uho.ac.id⁷

Abstrak

Distorsi Harmonisa merupakan sebuah permasalahan yang menjadi tantangan tersendiri dalam menjaga kualitas daya listrik akibat penggunaan beban nonlinear. Rekonfigurasi jaringan dinilai mampu memperbaiki performa sistem distribusi dengan cara pengoperasian *tie switch* hingga didapatkan konfigurasi yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk optimasi teknik rekonfigurasi jaringan untuk meminimalkan total rugi rugi daya saluran dan %THD_v menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang diuji pada Sistem Kelistrikan ULP Way Halim Kota Bandar Lampung 88 bus. Hasil optimasi didapatkan penurunan total rugi rugi daya saluran sebesar 64,75 kW atau sebesar 79,51% dan mereduksi nilai %THD_v.

Keywords: Distorsi Harmonisa, Rekonfigurasi, *tie switch* PSO, %THD_v

(*)Corresponding Author:

Yuli Asmi Rahman,
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Tadulako,
Jalan Soekarno Hatta, Palu Selatan, Palu, Indonesia
Email: yuliasmi.rahman81@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Penggunaan piranti elektronika daya pada peralatan sistem kontrol di industri, mesin las, lampu floresence dan lainnya merupakan kategori beban nonlinear pada beban kelistrikan di sistem distribusi tenaga listrik. Beban nonlinear menginjeksi arus harmonisa. Arus tersebut dapat membangkitkan gelombang tidak sinus akibat proses distorsi gelombang yang dikenal sebagai distorsi harmonisa. Nilai distorsi harmonisa yang melewati batas yang diizinkan berdampak negatif pada sistem berupa pemanasan, menurunnya sifat isolasi bahan hingga rusaknya peralatan yang digunakan [1]-[2]. Untuk meninjau penyebaran distorsi harmonisa pada sistem distribusi radial digunakan metode aliran daya *Forward Backward Sweep* (FBS) untuk menentukan nilai level tegangan, arus antar saluran dan total rugi rugi daya saluran pada frekuensi fundamental dan *Harmonic Load Flow* (HLF) digunakan untuk menentukan %THD_v, %THD_i dan rugi rugi daya saluran di tiap orde harmonisanya [3]-[5].

Sistem distribusi radial merupakan topologi jaringan distribusi yang banyak digunakan sebagai saluran dengan level tegangan rendah, nilai arus yang besar, rentang akan

gangguan dengan struktur yang radial serta rugi daya yang tinggi [6]-[7]. Arus resistansi dan reaktansi penyulang merupakan faktor utama yang mempengaruhi besarnya nilai rugi rugi daya saluran baik dalam kondisi *fundamental* ataupun tiap orde harmonisanya [8]. Rekonfigurasi jaringan merupakan salah satu teknik optimasi yang dapat digunakan yang dinilai efektif dalam menyelesaikan masalah tersebut karena tidak menggunakan biaya investasi yang tinggi [9]-[11].

Penggunaan metode optimasi berbasis kecerdasan buatan banyak digunakan dalam menyelesaikan permasalahan optimasi yang sifatnya kompleks. Untuk mencapai kondisi sistem yang lebih baik dibutuhkan metode optimasi yang tepat sehingga didapatkan solusi yang optimal [12]. *Particle Swarm Optimization* merupakan salah satu metode optimasi yang dinilai mampu memberikan solusi dari suatu permasalahan optimasi secara optimal. Penelitian ini bertujuan optimalisasi teknik rekonfigurasi jaringan untuk meminimalkan total rugi rugi daya saluran dan meminimalkan %THD_v menggunakan metode (PSO) yang akan di uji pada Sistem Kelistrikan ULP Way Halim 88 bus Kota Bandar Lampung.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Standar Harmonisa

% V_{THD} adalah persentasi total tegangan yang terdistorsi oleh harmonisa terhadap frekuensi *fundamental* dan % I_{THD} adalah persentasi jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa terhadap frekuensi *fundamental* [13]-[14]. Standar harmonisa tegangan yang dipergunakan menurut IEEE Std. 519-1992, p.85. untuk *Voltage Harmonic Distortion* pada Tabel 1.

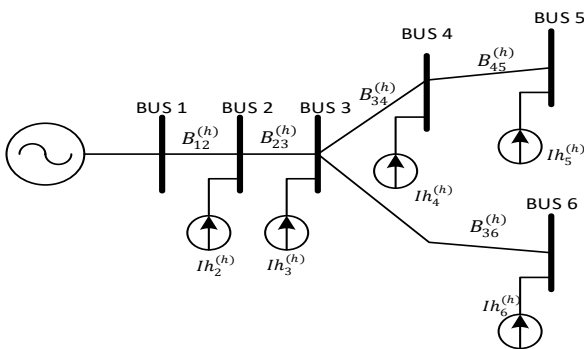
Tabel 1. *Voltage Distortion Limit*.

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion I_{THD} (%)	Total Voltage Distortion V_{THD} (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69,001 kV through 161 kV	1.5	2.5

NOTE: High-voltage systems can have up to 2,0% THD where the cause is an HVDC terminal that will attenuate by the time it is tapped for user

B. Harmonic Load Flow Method

Matriks [A] yang mewakili hubungan antara arus cabang dan arus injeksi bus untuk urutan harmonisa ke- h didapatkan menggunakan algoritma *backward sweep*. Sedangkan metode *forward sweep* menghasilkan matriks [HA] yang mewakili hubungan antara tegangan bus harmonisa dan arus injeksi harmonisa bus. algoritma aliran daya harmonisa, n -bus sistem distribusi radial ditunjukkan pada *single line diagram* pada Gambar 2.



Gambar 1. *Single line diagram* 6-bus yang terinjeksi arus harmonisa.

Bus 1 diasumsikan sebagai pembangkit dan dianggap sebagai *swing bus* dengan 5 beban. Arus harmonisa ke- h ($I_h^{(h)}$) yang disumbangkan oleh beban nonlinear pada Gambar 1 dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$[I_h^{(h)}] = [I_{h2}^{(h)} + I_{h3}^{(h)} + I_{h4}^{(h)} + I_{h5}^{(h)} + I_{h6}^{(h)}] \quad (1)$$

Untuk mendapatkan tegangan harmonisa pada bus, digunakan *forward sweep* tegangan Besar tegangan *swing bus* pada harmonisa ke- h adalah nol karena di asumsikan generator menyuplai tegangan sinusoidal murni. Oleh karena itu:

$$V_2^{(h)} = Z_{12}^{(h)} I_2^{(h)} + Z_{12}^{(h)} I_3^{(h)} + Z_{12}^{(h)} I_4^{(h)} + Z_{12}^{(h)} I_5^{(h)} + Z_{12}^{(h)} I_6^{(h)} \quad (2)$$

begitu juga untuk tegangan pada bus yang lain, sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$[V^{(h)}] = [HA^{(h)}][I^{(h)}] \quad (3)$$

Nilai tegangan harmonisa pada bus dihitung dengan iterasi kurang dari atau sama dengan toleransi yang tentukan oleh ϵ .

$$|V_i^{(h),k+1} - V_i^{(h),k}| \leq \epsilon \quad (4)$$

Besar rugi-rugi daya total pada harmonisa ke- h ($P_{Loss}^{(h)}$) didefinisikan oleh :

$$P_{Loss}^{(h)} = \sum_{i=1}^{br} P_{Loss_i}^{(h)} = \sum_{i=1}^{br} \sum_{h=h_0}^{h_{max}} |B_i^{(h)}|^2 R_i^{(h)} \quad (5)$$

Total rugi-rugi daya juga dapat ditulis dalam bentuk vektor sebagai berikut:

$$P_{loss}^{(h)} = [R^{(h)}]^T * [A^{(h)}][I^{(h)}]^T \quad (6)$$

Nilai tegangan rms bus i (V_{rms_i}) dan THD dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{rms_i} = \sqrt{|V_i^{(1)}|^2 + \sum_{h=h_0}^{h_{max}} |V_i^{(h)}|^2} \quad (7)$$

Sehingga besar *total harmonic distortion voltage* (THD_v) dapat dihitung sebagai berikut :

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=h_0}^{h_{max}} |V_i^{(h)}|^2}}{|V_i^{(1)}|^2} \quad (8)$$

C. Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan adalah pengaturan ulang jaringan distribusi dengan mengoperasikan *tie switch* dengan membuka atau menutup untuk mengubah konfigurasi sistem. Secara umum rekonfigurasi jaringan digunakan untuk mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan dan penanggulangan *overload*. Selain itu, pengoperasian rekonfigurasi jaringan dapat dilakukan untuk memitigasi permasalahan kualitas daya listrik dan mengurangi efek harmonisa pada jaringan distribusi [15].

Perubahan konfigurasi dilakukan dengan tetap mempertahankan bentuk dari jaringan distribusi dan suplai daya ke beban. Rekonfigurasi jaringan dilakukan menggunakan algoritma dengan mendapatkan pola *switching* yang optimal untuk mencapai rugi-rugi daya yang minimal. Algoritma tersebut bekerja dengan membaca data dan melakukan *loadflow*. Kemudian membuka *tie switch* dan menutup *tie switch* yang berbeda untuk mendapatkan konfigurasi. Pengoperasioan tersebut dilakukan hingga tercapai fungsi objektif yang telah ditentukan seperti presentase rugi-rugi daya minimal [16].

D. Particle Swarm Optimization

PSO adalah salah satu dari teknik komputasi evolusioner, yang mana populasi pada PSO didasarkan pada penelusuran algoritma dan diawali dengan suatu populasi yang *random* yang disebut dengan *particle*. Pada metode PSO setiap individual dimodelkan bergerak menuju ke permasalahan ruang yang posisinya ditentukan dari vektor. Informasi dari tiap individu berdasarkan pengalaman sendiri dan pengetahuan dari individu yang lain. Kecepatan dari tiap individual dapat dirumuskan sebagai berikut [15]-[17].

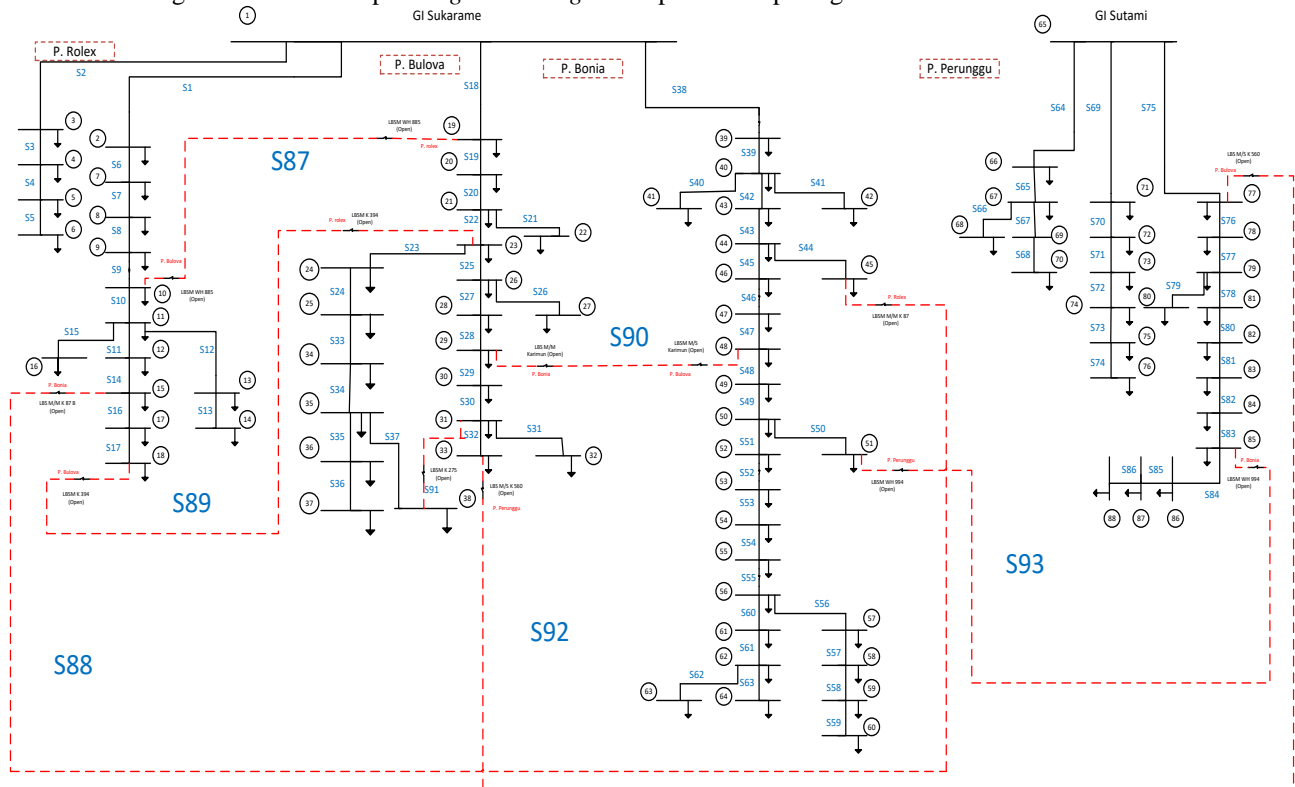
$$V_{id} = w V_{id} + C_1 r_1 + (P_{id} + X_{id}) + C_2 r_2 (P_{gd} - X_{id}) \quad (9)$$

$$X_{id} = X_{id} + V_{id} \quad (10)$$

III. METODE PENELITIAN

A. Sistem Distribusi ULP Way Halim Kota Lampung

Sistem distribusi ULP Way Halim Kota Lampung terdapat 4 Penyulang dari 2 Gardu Induk dimodelkan menjadi 88 bus. Penyulang tersebut adalah Penyulang Bonia, Penyulang Rolex, Penyulang Bulova pada Gardu Induk Sukarame serta Penyulang Perunggu pada Gardu Induk Sutami. Gardu Induk yang ada dimodelkan sebagai *Slack Bus* sedangkan *feeder* dimodelkan sebagai Load Bus. Adapun *single line diagram* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Single Line Diagram Sistem Distribusi ULP Way Halim Kota Bandar Lampung [17].

B. Sumber Harmonisa

Beban nonlinear jenis *Variable Frekuensi Drive* digunakan sebagai sumber harmonisa dapat menginjeksikan arus harmonisa yang ditempatkan pada bus beban 2, 5, 12, 15, 17, 18, 19, 26, 27, 31, 32, 37, 42, 44, 51, 53, 54, 57, 60, 61, 62, 66, 69, 70, 73, 80, 83, 86, 87 dan 88. Besar arus injeksi yang diberikan dari di tunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Besar injeksi arus harmonisa [18].

Orde	Mag (%)	Sudut Fasa
5 th	98	140
7 th	39.86	113
11 th	18.95	-158
13 th	8.79	-178
17 th	2.5	-94

C. Fungsi Objektif

- Minimum total rugi rugi daya saluran

$$P_{Loss} = \sum_{i=1}^{nb} P_{Loss_i}^{(1)} + \sum_{i=1}^{nb} \sum_{h=h_0}^{h_{max}} P_{loss_i}^{(h)} \quad (11)$$

- Minimum %THDv

$$\%V_{THD,i} = \frac{V_{d,i}}{V_{rms,i}} * 100\% \quad (12)$$

D. Constrain

- Bus Voltage Limit

$$V_{min}(0.95 pu) \leq V_{rms_i} \leq V_{max} (1.05 pu) \quad (13)$$

- Total Harmonic Distortion $THD_i(\%) \leq THD_{max} \quad (14)$

- Topologi jaringan setelah rekonfigurasi jaringan masih dalam kondisi radial.

E. Teknik Rekonfigurasi Jaringan

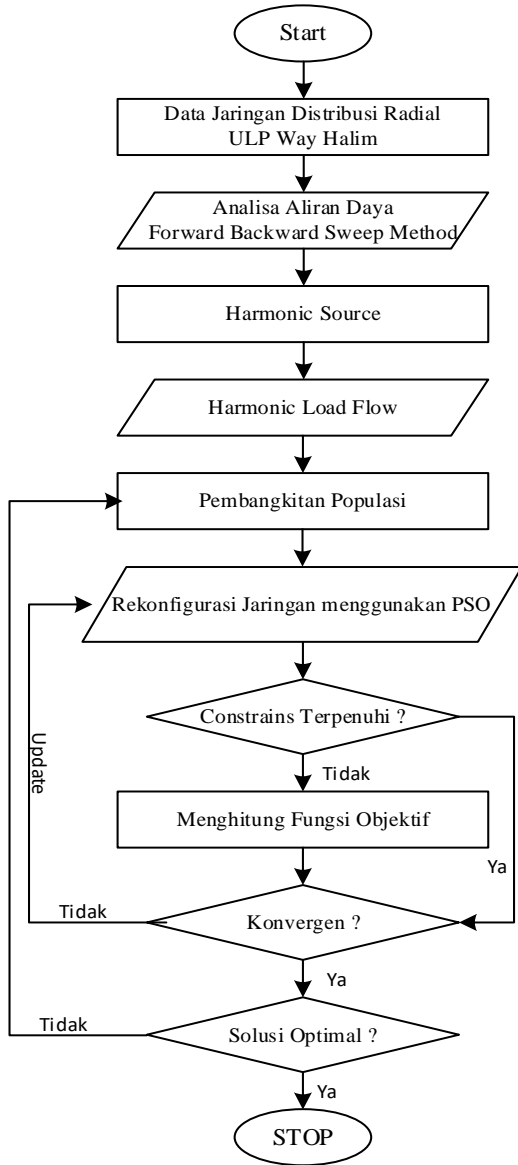
Pada penelitian ini menggunakan switch yang sudah ada serta tidak membuat saluran baru. Switch yang menghubungkan antar bus menjadi objek untuk menentukan kombinasi yang paling optimal. Terdapat tujuh *loop* pencarian berdasarkan penentuan tie switch dan saluran yang akan direkonfigurasi. Kombinasi dari *switch* yang ada digunakan untuk penentuan ruang pencarian pada proses optimasi. Dari *loop* pencarian yang sudah ditentukan maka akan ada saluran yang putus sehingga saluran yang baru dapat terhubung melalui proses penutupan *switch* (*tie switch closed*). Data *loop* pada sistem dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Data *loop* rekonfigurasi sistem.

Loop Rekonfigurasi	Saluran
1	S1, S6, S7, S8, S9, S87
2	S16, S17, S19, S20, S22, S88
3	S25, S27, S28, S45, S46, S47, S89
4	S23, S24, S33, S34, S37, S29, S30, S90
5	S10, S11, S14, S42, S43, S44, S91
6	S32, S75, S92
7	S48, S49, S50, S80, S81, S82, S83, S93

F. Tahapan Penelitian

Tahapan proses optimasi yang dilakukan menggunakan metode PSO dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 5. Tahapan penelitian.

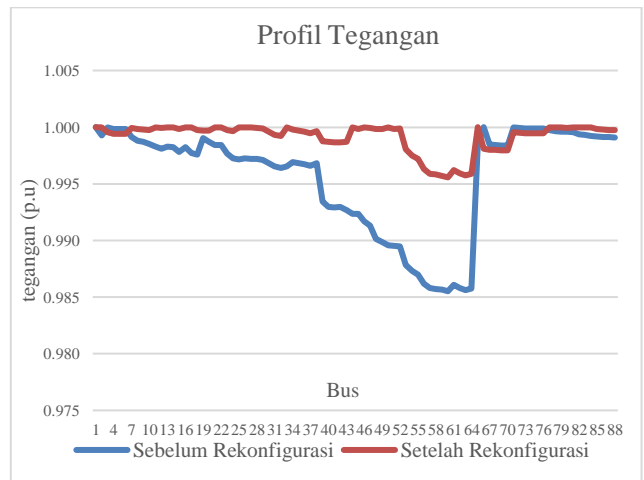
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adanya injeksi dari arus harmonisa dari penggunaan beban nonlinear berupa *variable frequency drive* (VFD) membangkitkan penyebaran distorsi harmonisa pada sistem membuat nilai %THD_v > 5%. Metode PSO digunakan untuk menentukan rekonfigurasi jaringan baru dengan tujuan meminimalkan total rugi rugi daya saluran dan %THD_v dengan parameter populasi = 100, c_1 dan $c_2 = 2$. Setelah menguji pengaruh dari harmonisa pada sistem, maka diperlukan langkah untuk mendapatkan nilai optimal dari sistem dengan cara rekonfigurasi. Proses rekonfigurasi dilakukan menggunakan metode optimasi PSO pada tujuh saluran yang telah ditentukan berdasarkan tabel 4. Saluran yang terbuka adalah S1, S16, S25, S24, S10, S32, dan S49. Hasil yang didapatkan sebagai berikut

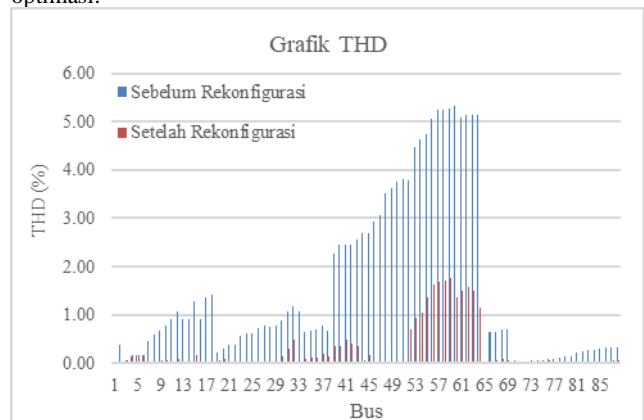
Tabel 4. Data perbandingan sebelum dan setelah rekonfigurasi menggunakan PSO.

Kondisi	Sebelum Rekonfigurasi	Setelah Rekonfigurasi
Saluran Terbuka	S87, S88, S89, S90, S91, S92 dan S93	S1, S16, S25, S24, S10, S32, dan S49
Rugi-Rugi Daya Aktif Total (kW)	81.44	16.69
Rugi-rugi daya reaktif Total (kVAR)	341.36	74.46
Tegangan minimum (p.u)	0.98552	0.99557
Deviasi tegangan maksimum(p.u)	0.01448	0.00443
THD maksimum (%)	5.3313	1.7532

Berdasarkan tabel 4 didapatkan bahwa setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan didapatkan bahwa terdapat penurunan rugi-rugi daya aktif menjadi 16.69 kw. Dari sisi tegangan juga menjadi lebih baik dengan minimal tegangan 0.99557 p.u yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan tegangan bus sebelum dan setelah optimasi.



Gambar 7. Perbandingan Nilai %THD_v sebelum dan setelah optimasi.

Pada perbandingan grafik *Total Harmonic Distortion* sistem, terdapat penurunan yang membuat sistem sudah tidak dalam keadaan kritis melewati standar yang telah ditentukan. Setelah dilakukan rekonfigurasi %THDv terbesar hanya mencapai 1.754%..

V. KESIMPULAN

Penggunaan metode *Particle Swarm Optimization* (MOPSO) dalam mengoptimasi teknik optimasi rekonfigurasi jaringan dengan mempertimbangkan penggunaan beban nonlinear yang bertujuan untuk meminimalkan total rugi rugi daya saluran dan meminimalkan %THDv memberikan hasil yang optimal. Hasil optimasi berupa adanya penentuan saluran yang terbuka yang digantikan dengan *tie switch* dengan kondisi topologi jaringan dalam kondisi radial. Adanya perbaikan level tegangan bus, penurunan total rugi rugi daya saluran sebesar 64,75 kW atau sebesar 79,51% dan nilai %THDv berada pada batas yang diizinkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih banyak kepada Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga (PSSL), Departemen Teknik Elektro, ITS Surabaya dalam kolaborasi penelitian yang dilakukan dengan Prodi Teknik Listrik, PNUP Makassar, Prodi Teknik Mekatronika dan Teknik Listrik, Polibos Makassar dan Jurusan Teknik Elektro, Universitas Haluoleo Kendari.

REFERENSI

- [1] M. D. Faraby, O. Penangsang and R. S. Wibowo, "Optimization of Placement and Sizing DG and Capacitor Bank with Network Reconfiguration Considering Non Linear Load on Radial Distribution Network," *2020 6th International Conference on Science and Technology (ICST)*, 2020, pp. 01-05, doi: 10.1109/ICST50505.2020.9732843..
- [2] M.D. Faraby, A. Fitriati, Christiono, Usman, A. Muchtar and A. Nur Putri, "Single Tuned Filter Planning to Mitigate Harmonic Polluted in Radial Distribution Network Using Particle Swarm Optimization," *2020 3rd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)*, 2020, pp. 418-422, doi: 10.1109/ISRITI51436.2020.9315518.
- [3] X. Liang, "Emerging Power Quality Challenges Due to Integration of Renewable Energy Sources," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 53, no. 2, pp. 855–866, 2017, doi: 10.1109/TIA.2016.2626253
- [4] M.D. Faraby, M.D.C. Putra, O. Penangsang, R.S. Wibowo, D.F.U. Putra, Mukhlisin, A. Fitriati, "Analisis Penyebaran Harmonisa Pada Sistem Distribusi Radial Kota Bandar Lampung Menggunakan Metode *Forward Backward Sweep* dan *Harmonic Load Flow*," *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI 2021)*, pp. 80-85.
- [5] J. Radosavljevic, N. Arsic, M. Milovanovic, and A. Ktena, "Optimal Placement and Sizing of Renewable Distributed Generation Using Hybrid Metaheuristic Algorithm," *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, vol. 8, no. 3, pp. 499–510, 2020, doi: 10.35833/MPCE.2019.000259
- [6] J. Liu et al., "Modelling and analysis of radial distribution network with high penetration of renewable energy considering the time series characteristics," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 14, no. 14, pp. 2800–2809, 2020.
- [7] Z.O. Prabandaru, O. Penangsang & R.S. Wibowo, 2015, "Optimasi Penentuan Lokasi Kapasitor dan Rekonfigurasi untuk Meminimalkan Kerugian Daya Pada Jaringan Distribusi Radial Menggunakan *Genetic Algoritma*", Tesis Teknik Elektro ITS, Surabaya.
- [8] O. Amanifar, "Optimal distributed generation placement and sizing for loss and THD reduction and voltage profile improvement in distribution systems using particle swarm optimization and sensitivity analysis," *16th Electr. Power Distrib. Conf. EPDC 2011*, 2011.
- [9] M. D. Faraby and O. Penangsang, "Impact Optimal DG Placement Against Harmonic Distribution on Reconfiguration Distribution Network on Microgrid System," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 676, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/676/1/012007
- [10] M. D. Faraby and O. Penangsang, "A Study of Harmonic Spreading Against Distribution Network Reconfiguration in Passive Radial Distribution Systems," *Proc. - 2018 4th Int. Conf. Sci. Technol. ICST 2018*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ICSTC.2018.8528665.
- [11] E. Azad-Farsani, I. G. Sardou, and S. Abedini, "Distribution Network Reconfiguration based on LMP at DG connected busses using game theory and self adaptive FWA," *Energy*, vol. 215, p.119146, 2021.
- [12] F. Haz, G. A. Setia, Yusran, S. M. Said and H. R. Iskandar, "The Optimization of SVC Placement in Sulsebar Transmission System Using Inertia Weight Particle Swarm Optimization," *2019 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011127.
- [13] "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems," *IEEE Std 519-1992*, pp. 1–112, 1993, doi: 10.1109/IEEESTD.1993.114370.
- [14] J. Teng and C. Chang, "Backward/Forward Sweep-Based Harmonic Analysis Method for Distribution Systems," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 22, no. 3, pp. 1665-1672, July 2007, doi: 10.1109/TPWRD.2007.899523.
- [15] M. D. Faraby, O. Penangsang, R. S. Wibowo, and A. Sonita, "Improved Performance Network Reconfiguration in Coordinated Planning in Radial Distribution System Considering Harmonic Distortion," *Int. Rev. Model. Simulations*, vol. 14, no. 2, pp. 146, 2021, doi: 10.15866/iremos.v14i2.20472.

- [16] K. M. L. Prasanna, R. J. R. Kumar, A. Jain, and J. Somlal, "Optimal reconfiguration of radial distribution system having photovoltaic distributed generation with controlled voltage," *IEEE Int. Conf. Circuit, Power Comput. Technol. ICCPCT 2015*, no. November 2017, 2015, doi: 10.1109/ICCPCT.2015.7159518.
- [17] PLN UID Lampung, "Study of Masterplan Electricity Bandar Lampung City," 2020, pp. 1-156
- [18] M. D. Faraby, A. Sonita and Nurhayati, "The Effect of Single Tuned Filter on Coordinated Planning in Increasing Power Quality in Radial Distribution System," *2021 3rd International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE)*, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICECIE52348.2021.9664706.