

Pengaruh Optimasi Penempatan *Distributed Generation* Pada Sistem Distribusi Kota Lampung Mempertimbangkan Penyebaran Distorsi Harmonisa

Muhira Dzar Faraby¹⁾, Muhammad Alief Jamal²⁾, Sofyan³⁾, Ontoseno Penangsang⁴⁾, Andi Fitriati⁵⁾, Fauziah⁶⁾

^{1,2,3} Prodi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

⁴ Departement Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

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

Muhira_faraby@yahoo.com¹⁾, muhalieffamal@gmail.com²⁾, Muhira_faraby@yahoo.com²⁾, sofyantato@poliupg.ac.id³⁾, ontosenop@ee.its.ac.id⁴⁾, andi.fitriati@politeknikbosowa.ac.id⁵⁾, fauziah.uchie@politeknikbosowa.ac.id⁶⁾

Abstrak

Integrasi *Distributed Generation* (DG) berbasis pemanfaatan energi baru terbarukan dinilai dapat meningkatkan kapabilitas pada sistem distribusi tenaga listrik. Akan tetapi penggunaan DG yang tidak optimal dapat memperburuk kondisi sistem khususnya dalam hal penyebaran distorsi harmonisa hingga merusak peralatan. Hal tersebut disebabkan teknologi DG berbasis inverter selain menyuplai energi listrik, DG juga menginjeksi arus harmonisa dari komponen semikonduktor yang ada. Penelitian ini akan membahas tentang optimasi penempatan DG berbasis inverter menggunakan metode *Multi Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) yang di uji pada Sistem Distribusi Kota Lampung 88 bus berbasis MALTAB 2020b. Adanya penempatan DG berbasis inverter pada 24 titik bus dengan kapasitas 690 kW mampu menurunkan *losses* hingga 11,22% atau 9.06 kW dan seluruh nilai %THDv tiap bus berada dibawah 5%.

Keywords: *Distributed Generation, Distorsi Harmonisa, MOPSO, %THDv*

(*)Corresponding Author:

Muhira Dzar Faraby,
Departemen Teknik Listrik
Politeknik Negeri Ujung Pandang,
Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 10, 90214, Indonesia
Email: muhira_faraby@yahoo.com

I. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah populasi manusia, mobilitas yang tinggi dan perkembangan teknologi khususnya di sektor industri membuat konsumsi akan energi listrik meningkat. Penyedia energi listrik mendapat tantangan dalam menjaga kontinuitas pasokan energi listrik kepada konsumen. Sistem distribusi tenaga listrik tipe radial merupakan tipe sistem yang paling sederhana [1]. Akan tetapi, sistem ini akan terus berkembang seiring dengan perkembangan kebutuhan energi listrik. Efek pemanasan yang tinggi, rusaknya sifat isolasi hingga rusaknya suatu peralatan akibat adanya penyebaran distorsi harmisa yang timbul dari penggunaan beban nonlinear seperti peralatan semikonduktor, sistem kontrol motor, lampu florosen dll [2].

Metode *forward backward sweep* (FBS) digunakan untuk menganalisis aliran daya untuk sistem distribusi tipe radial sehingga dapatkan profil tegangan bus, arus, total rugi rugi daya pada frekuensi fundamental. Metode *harmonic load flow* digunakan untuk profil tegangan bus harmonisa tiap ordenya, %THDv, %THDi, total rugi rugi daya saluran yang timbul akibat penggunaan beban nonlinear [3]-[5].

Sistem disitribusi tipe radial banyak digunakan akan tetapi masih bersifat pasif dan kurang handal. Hal ini dikarenakan penyeluran daya listrik banyak berasal dari

satu sumber utama saja dalam hal ini *slack bus*. Jika terjadi *fault* pada salah satu bus maka akan menghambat penyaluran daya listrik ke bus lainnya [6]. Integrasi *Distributed Generation* (DG) pada sistem distribusi radial aktif dapat mengurangi rugi-rugi daya pada saluran, mengurangi susut tegangan (*drop* tegangan) dan meningkatkan kapabilitas jaringan sistem distribusi. Akan tetapi disisi lain, tipe DG berbasis inverter juga meyuplai arus harmonisa yang dapat meningkatkan efek negatif dari penyebaran distorsi harmonisa pada sistem [7]-[9].

Penempatan DG berbasis inverter yang tidak optimal dapat membawa efek negatif dari perfoma sistem kelistrikan sehingga dibutuhkan metode yang tepat dalam menentukan letak dan ukurannya. Metode berbasis *artificial intelligence* banyak digunakan dan dikembangkan dalam memecahkan masalah optimasi dan dinilai mampu memberikan solusi yang optimal dalam mencari fungsi tujuan dengan batasan yang telah ditentukan [10].

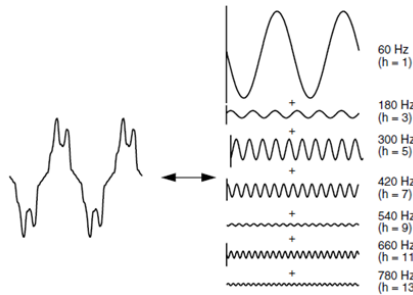
Penelitian sebelumnya mencoba menganalisis efek dari penggunaan beban nonlinear pada sistem kelisitrikan ULP Way Halim Kota Bandar Lampung menggunakan metode FBS-HLF[3]. Penggunaan metode optimasi berbasis kecerdasan buatan berupa *Multi Objective Function* dalam menentukan penempatan letak dan ukuran DG berbasis inverter akan dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk

mereduksi total rugi rugi daya saluran dan %THDv mempertimbangkan beban nonlinear yang diuji pada Sistem Kelistrikan ULP Way Halim Kota Bandar Lampung berbasis MATLAB.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Harmonisa

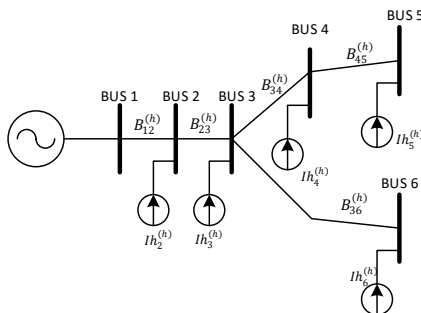
Harmonisa adalah gangguan yang terjadi dalam sistem distribusi tenaga listrik yang disebabkan adanya distorsi gelombang arus dan tegangan sehingga terjadi pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi *fundamental*. Sumber sumber harmonik berasal dari penggunaan peralatan konverter, tanur busur listrik, transformator, mesin berputar dan lainnya. Pada distorsi *interharmonic*, gelombang distorsi terbentuk dari gelombang-gelombang *sinusoidal* dengan frekuensi kelipatan dari frekuensi gelombang *fundamental*, dengan kelipatan berupa bilangan pecahan. Sedangkan pada distorsi *harmonic*, gelombang distorsi terbentuk dari gelombang-gelombang *sinusoidal* dengan frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi *fundamental*[11]. Bentuk gelombang terdistorsi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Gelombang terdistorsi akibat penggunaan beban nonlinear.

B. Harmonic Load Flow Method

Algoritma *backward sweep* pada HLF digunakan untuk mendapatkan matriks $[A]$ yang mewakili hubungan antara arus cabang dan arus injeksi bus untuk urutan harmonisa ke- h . Sedangkan *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 2. *Single line diagram* 6-bus yang terinjeksi arus harmonisa.

Bus 1 diasumsikan sebagai generator dan dianggap sebagai *slack bus* dengan 5 beban. Arus harmonisa ke- h ($I_h^{(h)}$) yang disumbangkan oleh beban nonlinear pada Gambar 2 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 *slack 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:

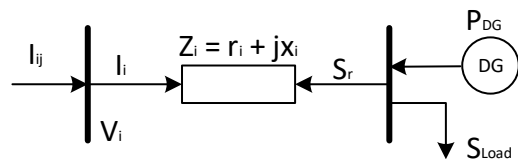
$$V_{rms_i} = \sqrt{|V_i^{(1)}|^2 + \sum_{h=h_0}^{h_{max}} |V_i^{(h)}|^2} \quad (7)$$

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. Distributed Generation

Distributed Generation (DG) atau pembangkit tersebar merupakan salah satu solusi dalam hal pemerataan distribusi energi listrik. Keuntungan adanya DG bila dibandingkan dengan pembangkitan listrik terpusat adalah penerapan generator – generator kecil, biasanya memiliki kapasitas dari 5 kW hingga 10 MW, yang ditempatkan di lokasi yang dekat dengan konsumen energi listrik untuk menyediakan tenaga listrik yang dibutuhkan. DG menghasilkan energi listrik dari beberapa sumber energi yang berkapasitas kecil dan dihubungkan langsung pada jaringan distribusi [12]. Integrasi penempatan DG pada sistem distribusi radial yang ditempatkan pada salah satu bus dapat diilustrikan seperti Gambar 3.



Gambar 3. Pemodelan integrasi DG pada sistem distribusi.

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 algoritma PSO vektor *velocity* diupdate untuk masing-masing *particle* kemudian menjumlahkan vektor *velocity* tersebut ke posisi *particle*. *Update velocity* dipengaruhi oleh kedua solusi yaitu *global best* yang berhubungan dengan biaya yang paling rendah yang pernah diperoleh dari suatu *particle* dan solusi *local best* yang berhubungan dengan biaya yang paling rendah pada populasi awal [13]-[14].

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

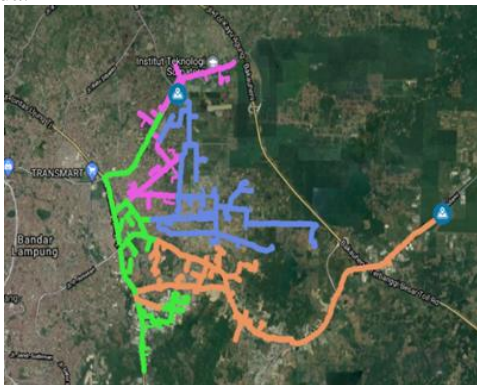
$$X_{id} = X_{id} + V_{id} \quad (10)$$

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 (hijau), Penyulang Rolex (biru), Penyulang Bulova (ungu) pada Gardu Induk Sukarame serta Penyulang Perunggu (cokelat) pada Gardu Induk Sutami.

Gardu Induk yang ada dimodelkan sebagai *Slack Bus* sedangkan *feeder* dimodelkan sebagai Load Bus. Berikut merupakan Gambar 4 Penyulang yang digunakan dari ULP Way Halim Kota Lampung. Gambar tersebut disajikan menggunakan web AMADIS V1.0. Identitas warna yang berbeda digunakan untuk membedakan jenis penyulang yang ada.



Gambar 4. Peta Kelistrikan Sistem Distribusi ULP Way Halim Kota Lampung.

B. Harmonic Source

Beban nonlinear jenis *Variable Frekuensi Drive* digunakan untuk menginjeksikan arus harmonisa pada bus 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 VFD dan DG berbasis inverter di tunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Besar injeksi arus harmonisa [15].

Tipe Beban Nonlinear	VFD		DG berbasis Inverter	
	Mag (%)	Sudut Fasa	Mag (%)	Sudut Fasa
5 th	98	140	15	-20.74
7 th	39.86	113	10	-30.85
11 th	18.95	-158	5	65.54
13 th	8.79	-178	3	42.62
17 th	2.5	-94	0	0

C. Objective Function

- 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

$$THD_i(\%) \leq THD_{max} \quad (14)$$

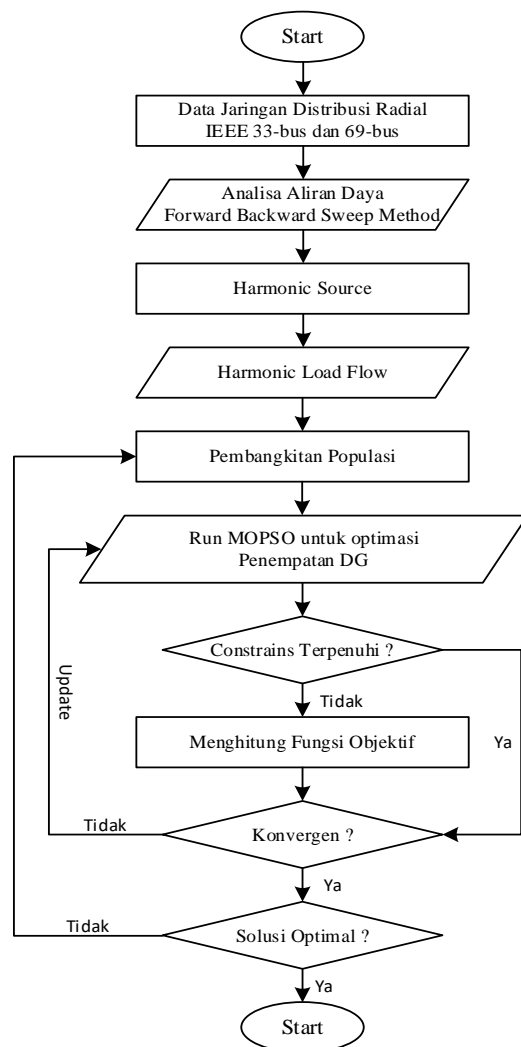
- Kapasitas DG

$$(P_{min}) \leq (P_{DG}) \leq (P_{max}) \quad (15)$$

$$0 kW \leq P_{DG} \leq 45 kW \quad (16)$$

E. Tahapan Penelitian

Tahapan proses optimasi yang dilakukan menggunakan metode MOPSO dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tahapan penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adanya injeksi arus harmonisa dari penggunaan beban nonlinear berupa *variable frequency drive* (VFD) membangkitkan penyebaran distorsi harmonisa pada sistem hingga melewati batas yang diizinkan sebesar %THDv > 5%. Metode MOPSO digunakan untuk menentukan letak dan ukuran DG berbasis inverter dengan tujuan meminimalkan total rugi rugi daya saluran dan %THDv dengan parameter populasi = 100, c_1 dan $c_2 = 2$.

Setelah dilakukan proses optimasi menggunakan MOPSO didapatkan lokasi dan ukuran penempatan DG pada Tabel 2 dengan kapasitas total 690 kW.

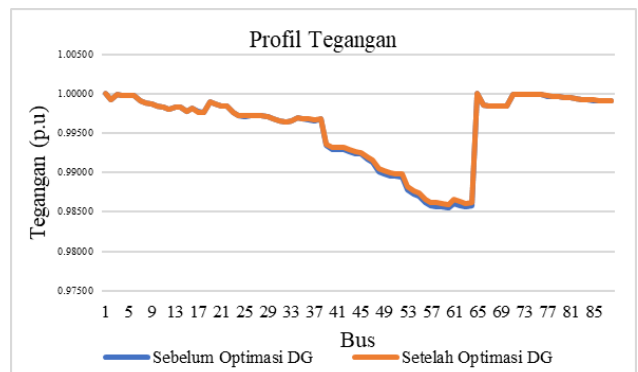
Tabel 2. Hasil optimasi penempatan DG menggunakan MOPSO

No	Lok DG	P_{DG} P(kW)	No	Lok DG	P_{DG} P(kW)
1	23	45	13	56	45
2	25	45	14	57	45
3	28	10	15	59	45
4	30	10	16	61	10
5	33	10	17	62	45
6	34	45	18	63	45
7	41	10	19	69	10
8	44	10	20	71	10
9	48	45	21	75	10
10	49	45	22	78	10
11	51	45	23	87	45
12	55	40	24	88	10
Total Kapasitas DG (kW)			690		

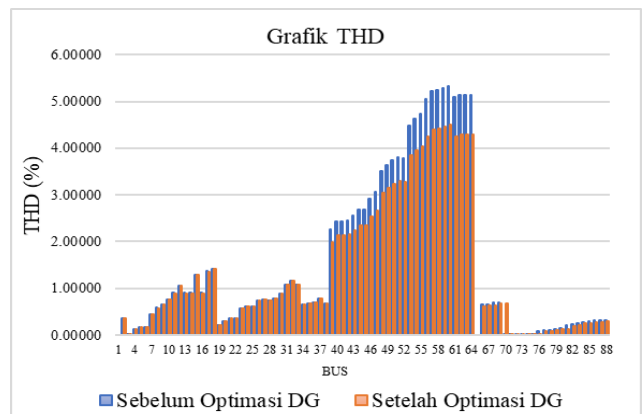
Berdasarkan Tabel 3 didapatkan bahwa setelah dilakukan optimasi DG pada 24 lokasi dengan total daya 690 kW didapatkan bahwa terdapat penurunan rugi-rugi daya aktif menjadi 72.38 kW. Pada sisi tegangan bus juga menjadi lebih baik dengan minimal tegangan 0.98599 pu yang dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 3. Data perbandingan sebelum dan setelah optimasi DG

Kondisi	Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi DG
Total P_{DG} (kW)	-	690
Total P_{Loss} (kW)	81.44	72.38
Total Q_{Loss} (kVAR)	341.36	288.74
V_{min} (p.u)	0.98552	0.98599
THD_v maks (%)	5.3313	4.5109



Gambar 6. Perbandingan tegangan bus sebelum dan setelah optimasi.



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

Dari data yang diperoleh setelah proses optimasi DG berbasis inverter untuk profil tegangan menunjukkan kenaikan namun tidak terlalu signifikan. Sedangkan THD sistem mengalami penurunan THD maksimal menjadi 4.5109% menandakan sistem sudah dalam keadaan normal dan sesuai dengan standar yang diizinkan.

V. KESIMPULAN

Penggunaan metode *Multi Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) dalam menentukan ukuran dan kapasitas DG berbasis inverter dengan mempertimbangkan penggunaan beban harmonisa yang bertujuan untuk meminimalkan total rugi rugi daya saluran dan meminimalkan %THDv memberikan hasil yang optimal. Hasil optimasi berupa adanya penempatan DG berbasis inverter sebanyak 24 titik dengan total kapasitas daya sebesar 690 kW. Adanya perbaikan level tegangan bus, penurunan total rugi rugi daya saluran sebesar 9,06 kW atau 11.22% 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 dan Prodi Teknik Mekatronika, Polibos Makassar.

REFERENSI

- [1] Suyanto, C. Rahmadhani, A. Soeprijanto, O. Penangsang, Power-Flow Development Based on the Modified Backward Forward for Voltage Profile Improvement of Distribution System, *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 6, No. 5, pp. 2005-2014, 2016, doi: 10.11591/ijece.v6i5.pp2005-2014.
- [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] 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
- [4] E.F. Fauchs, M.A.S. Masoum, "Power Quality in Power System and Electrical Machines," Elsevier, 2015, doi: 10.1016/C2013-0-18758-2.
- [5] 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.
- [6] 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
- [7] M. Pujiantara, D.O. Anggriawan, A. Tjahjono, D. Permadi, A. Priyadi, M. Hery, A Real-Time Current Harmonic Monitoring System Based on Stockwell Transform Method, *International Review of Electrical Engineering*, Vol. 11, No. 2, 193-199, 2016, doi: 10.15866/iree.v11i2.8227.
- [8] K. Fekete, Z. Klaic, and L. Majdandzic, "Expansion of the residential photovoltaic systems and its harmonic impact on the distribution grid," *Renew. Energy*, vol. 43, pp. 140–148, 2012, doi: 10.1016/j.renene.2011.11.026
- [9] Y. A. Rahman, S. Manjang, Yusran and A. A. Ilham, "An Empirical Metaheuristic Assessment for Solving of Multi-type Distributed Generation Allocation Problem," *2018 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)*, 2018, pp. 699-702, doi: 10.1109/ISRITI.2018.8864438
- [10] 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 Electrical Power Distribution Conference*, 2011, pp. 1-7.
- [11] S. Daud, A.F.A. Kadir, M.Y. Lada, C.K. Gan, "A Review: Optimal Distributed Generation Planning and Power Quality Issues," *International Review of Electrical Engineering*, Vol. 11, No. 2, pp. 208-222, 2016 DOI: <https://doi.org/10.15866/iree.v11i2.5806>.
- [12] 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.
- [13] 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
- [14] M.D. Faraby, O. Penangsang, R.S. Wibowo, A. Fitriati, Coordinated Planning in Improving Power Quality Considering the Use of non-Linear Load in Radial Distribution System," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 11, No. 6, pp. 4610-4621, 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i6.pp4610-4621.
- [15] M. D. Faraby, O. Penangsang, R. S. Wibowo, S. Sofyan, A. R. Idris and A. Asri, "Harmonic Mitigation Through Enhancement Network Reconfiguration Technique on Coordinated Planning Using Hybrid Particle Swarm Optimization in Radial Distribution System," *2021 3rd International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE)*, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICECIE52348.2021.9664728.