

Algoritma Aliran Daya dengan Metode *Backward/Forward Sweep* pada Sistem Distribusi Radial

Dian Budhi Santoso, Sarjiya, Sasongko Pramono Hadi

Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 Indonesia

dian.budhi.s@mail.ugm.ac.id, sarjiya@mti.ugm.ac.id, sasongko@te.ugm.ac.id

Abstract— This paper presents backward/forward (BW/FW) sweep algorithm for load flow analysis of radial distribution networks. In backward sweep, Kirchhoff's Current Law (KCL) and Kirchhoff's Voltage Law (KVL) are used to compute the bus voltage from farthest node. In forward sweep, downstream bus voltage is updated starting from the source node. The procedure stops after the mismatch of the calculated and the specified voltages at the substation is less than a convergence tolerance. Line losses are ascertained thereafter utilizing updated bus voltage. Using this method, load flow solution for a distribution network can be obtained without solving any set of simultaneous equations. The proposed algorithm is tested by IEEE 33 bus radial distribution system. Test results are obtained by programming using MATLAB.

Keywords— radial distribution system, load flow analysis, backward/forward sweep

I. PENDAHULUAN

Studi aliran daya atau *load flow* dilakukan untuk menentukan kondisi operasi *steady state* dari sistem tenaga. *Load flow* sangat penting digunakan untuk perencanaan power sistem tenaga listrik, operasi sistem, optimisasi dan kontrol. [1] Banyak faktor yang mempengaruhi sistem distribusi radial, salah satunya adalah naik turunnya beban. Sejak tahun 1960 sudah banyak algoritma aliran daya yang berbasis komputasi digital. Seperti metode *fast decoupled*, *newton raphson* dan *gauss seidel*. Tetapi metode – metode tersebut kurang handal dan efektif untuk perhitungan pada sistem distribusi radial. Aliran daya pada sistem distribusi lebih kompleks, adanya perbedaan karakteristik dari jaringan distribusi. Seperti struktur radial, nilai node yang besar dan nilai rasio R/X yang tinggi [2]. Pada paper ini digunakan metode *backward forward sweep*. metode *forward/backward sweep* komputasinya efektif disetiap iterasi, serta solusi dan perhitungan numeriknya tepat [3]. Sistem yang digunakan adalah sistem tes IEEE 33 bus radial.

II. BACKWARD FORWARD SWEEP

A. Metode Penyelesaian Aliran Daya

Matriks admittans tidak digunakan pada aliran daya jaringan distribusi, berbeda dengan metode aliran daya pada jaringan transmisi. Pada kasus ini, karena rendahnya keterhubungan antara saluran satu dengan lainnya, persamaan KVL dan KCL secara langsung dibentuk pada bagian saluran.

Dari sekian banyak metode, *backward* and *forward sweep* adalah metode yang efisien [4]. Pada *backward sweep*, dimulai

dari titik ujung terjauh dari jaringan, arus beban pada titik beban. Oleh karena itu, arus yang mengalir pada saluran dihitung menurut asumsi atau hasil kalkulasi dari tegangan pada iterasi sebelumnya. Setelah menghitung arus yang mengalir pada saluran, pada *forward sweep*, dimulai dari titik sumber, tegangan dari masing-masing titik bus diperbarui. Setelah *forward sweep*, kompensasi arus injeksi dihitung. Lalu kriteria konvergensi diuji. Ada berbagai macam kriteria konvergensi yang disesuaikan dengan titik tegangan, beban atau arus saluran, dan masukan daya ke jaringan.

Berdasarkan penjelasan di atas, dikembangkan metode aliran daya distribusi untuk jaringan dengan jumlah sumber yang banyak.

B. Backward Sweep

Prosedur dari penyelesaian aliran daya dimulai dengan *backward sweep*. Pada iterasi pertama, tegangan dari semua titik diasumsikan sama dengan tegangan pada sumber utama. Jika ada beberapa sumber pada jaringan, arus injeksi kompensasi pada sumber tersebut bernilai nol pada iterasi pertama. Di sisi lain, tegangan pada masing-masing titik dan arus injeksi kompensasi dihitung pada iterasi sebelumnya. Ketika tegangan pada masing-masing titik dan arus injeksi kompensasi sudah diketahui, arus beban dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$I_{lai} = \left[\frac{P_i + jQ_i}{V_i} \right]^* \quad (1)$$

dengan,

I_{lai} : Arus beban pada titik i

P_i : Kebutuhan daya aktif pada titik i

Q_i : Kebutuhan daya reaktif pada titik i

V_i : Tegangan pada titik i

C. Forward Sweep

Pada *forward sweep*, dimulai dari titik sumber utama dimana nilai tegangannya diketahui, impedansi dan arus yang mengalir pada masing-masing saluran sudah diketahui, semua tegangan titik diperbarui mengabaikan sumber lainnya jika ada.

$$V_i = V_{U_i} - Z_i I_{L_i} \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

Dimana:

V_i : Tegangan pada titik i

V_{U_i} : Tegangan pada atas dari titik i

Z_i : Impedansi saluran i

I_{L_i} : Arus yang mengalir pada saluran i

D. Pemodelan Struktur Jaringan

Berdasarkan contoh sistem distribusi radial pada Fig. 1 dapat dibuat formasi dengan menggunakan matriks BBIC, BCBV, dan DLF [5][6][7].

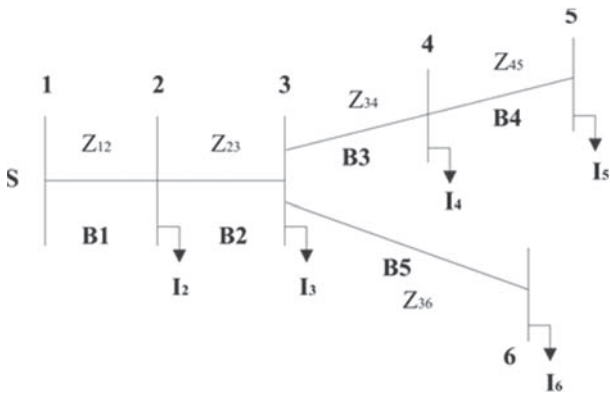


Fig. 1. Sampel Sistem Distribusi Radial 6 bus

E. Matriks Bus Injection to Branch Current (BBIC)

Untuk sistem distribusi, pada bus ke- beban kompleks dapat diekspresikan dengan persamaan (3) dan nilai ekuivalen arus injeksi yang bersangkutan dapat diekspresikan dengan persamaan (4).

$$S_i = (P_i + jQ_i) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$I_i = (S_i/V_i)^* \quad (4)$$

Vektor injeksi arus dari sampel sistem di atas dapat dibuat pada Table I. sebagai berikut:

TABLE I. KETERANGAN VEKTOR ARUS INJEKSI

Bus No.	2	3	4	5	6
Arus injeksi	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6

Untuk sistem pada Fig. 1 diaplikasikan *Kirchhoff's Current Law* (KCL), arus cabang dapat diekspresikan dengan nilai arus injeksi ekuivalen sebagai berikut:

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (5)$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (6)$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (7)$$

$$B_4 = I_5 \quad (8)$$

$$B_5 = I_6 \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Persamaan arus cabang di atas dapat disusun dengan bentuk umum sebagai berikut:

$$[B] = [BIBC][I] \quad (11)$$

F. Matriks Branch Current to Bus Voltage (BCBV)

Hubungan antara arus cabang dan tegangan bus dapat dekspresikan sebagai berikut:

$$V_2 = V_1 - B_1 Z_{12} \quad (12)$$

$$V_3 = V_2 - B_2 Z_{23} \quad (13)$$

$$V_4 = V_3 - B_3 Z_{34} \quad (14)$$

$$V_5 = V_4 - B_4 Z_{45} \quad (15)$$

$$V_6 = V_3 - B_5 Z_{36} \quad (16)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (12) dan (13) kepada (14), maka didapatkan tegangan pada bus 4 sebagai berikut:

$$V_4 = V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_3 Z_{34} \quad (17)$$

Sama seperti nilai tegangan pada bus lain dapat ditulis sebagai berikut:

$$V_3 = V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} \quad (18)$$

$$V_5 = V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_3 Z_{34} - B_4 Z_{45} \quad (19)$$

$$V_6 = V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_3 Z_{34} - B_4 Z_{45} - B_5 Z_{36} \quad (20)$$

Persamaan (11), (16), (17), (18), (19) dapat disusun sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (22)$$

Sekarang, substitusi persamaan (11) ke dalam (22) dan hasil persamaannya dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (23)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (24)$$

Dengan DLF adalah matriks *Distribution Load Flow* yang ditunjukkan dengan matriks berikut [8]:

$$\begin{bmatrix} Z_{12} & Z_{12} & Z_{12} & Z_{12} & Z_{12} \\ Z_{12} & Z_{12} + Z_{23} & Z_{12} + Z_{23} & Z_{12} + Z_{23} & Z_{12} + Z_{23} \\ Z_{12} & Z_{12} + Z_{23} & Z_{12} + Z_{23} + Z_{34} & Z_{12} + Z_{23} + Z_{34} & Z_{12} + Z_{23} \\ Z_{12} & Z_{12} + Z_{23} & Z_{12} + Z_{23} + Z_{34} & Z_{12} + Z_{23} + Z_{34} + Z_{45} & Z_{12} + Z_{23} \\ Z_{12} & Z_{12} + Z_{23} & Z_{12} + Z_{23} & Z_{12} + Z_{23} & Z_{12} + Z_{23} + Z_{36} \end{bmatrix} \quad (25)$$

Langkah-langkah penyelesaian aliran daya menggunakan metode *backward and forward* dijelaskan pada Fig. 2.

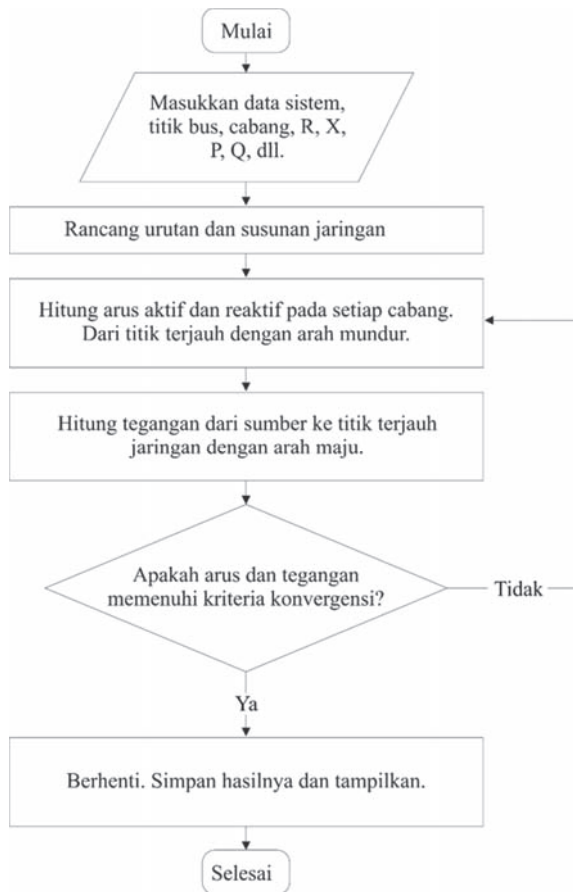


Fig. 2. Diagram Alir Metode Penyelesaian Aliran Daya dengan *Backward and forward sweep*

III. HASIL DAN SIMULASI

Metode yang diusulkan telah diuji pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus yang ditunjukkan pada Fig. 3. menggunakan MATLAB Version 7.6.0.324 (R2008a) dengan spesifikasi laptop Processor Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU @2.20 Ghz (4 CPUs), RAM 8 GB dan sistem operasi Windows 10 Education 64-bit (English).

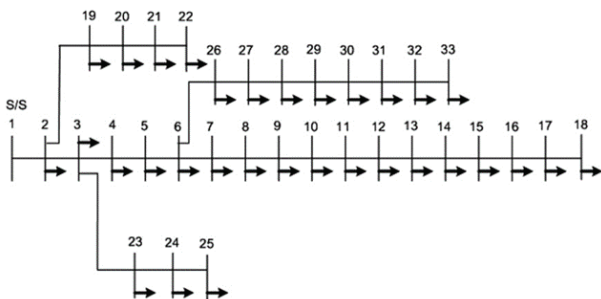


Fig. 3. Diagram Satu Garis Sistem Tes IEEE 33 bus

Dengan data saluran dan beban yang terhubung di bus tujuan yang ditunjukkan pada Table II. sebagai berikut [9][10][11][12]:

TABLE II. DATA SALURAN DAN BEBAN SISTEM TES IEEE 33 BUS

Branch No.	From bus	To bus	R (Ω)	X (Ω)	Load at to bus	
					P (kW)	Q (kW)
1	1	2	0.0922	0.0477	0	0
2	2	3	0.4930	0.2511	100	60
3	3	4	0.3660	0.1864	90	40
4	4	5	0.3811	0.1941	120	80
5	5	6	0.8190	0.7070	60	30
6	6	7	0.1872	0.6188	60	20
7	7	8	1.7114	1.2351	200	100
8	8	9	1.0300	0.7400	200	100
9	9	10	1.0400	0.7400	60	20
10	10	11	0.1966	0.0650	60	20
11	11	12	0.3744	0.1238	45	30
12	12	13	1.4680	1.1550	60	35
13	13	14	0.5416	0.7129	60	35
14	14	15	0.5910	0.5260	120	80
15	15	16	0.7463	0.5450	60	10
16	16	17	1.2890	1.7210	60	20
17	17	18	0.7320	0.5740	60	20
18	2	19	0.1640	0.1565	90	40
19	19	20	1.5042	1.3554	90	40
20	20	21	0.4095	0.4784	90	40
21	21	22	0.7089	0.9373	90	40
22	3	23	0.4512	0.3083	90	40
23	23	24	0.8980	0.7091	90	50
24	24	25	0.8960	0.7011	420	200
25	6	26	0.2030	0.1034	420	200
26	26	27	0.2842	0.1447	60	25
27	27	28	1.0590	0.9337	60	25
28	28	29	0.8042	0.7006	60	20
29	29	30	0.5075	0.2585	120	70
30	30	31	0.9744	0.9630	200	600
31	31	32	0.3105	0.3619	150	70
32	32	33	0.3410	0.5302	210	100

Nilai arus dan drop tegangan yang mengalir di setiap cabang akan dihitung menggunakan elemen dari matrik K. Dengan data saluran dari tes sistem IEEE 33 bus pada Table II. Tegangan dasarnya adalah 12,6 kV dan basis MVA adalah 100. Toleransi adalah 0.00001 p.u. Hasil ditunjukkan pada Table III. dan Table IV. Besarnya tegangan pada p.u. dan sudut fasa dalam derajat pada setiap bus ditunjukkan pada Table III. dan rugi-rugi daya aktif dan reaktif pada masing-masing cabang pada kW dan kVAR masing-masing, ditunjukkan pada Table IV. Profil tegangan dalam sistem ditunjukkan pada Fig. 3.

TABLE III. MAGNITUD TEGANGAN DAN SUDUT PHASA

Bus Number	Voltage Magnitude	Phase Angle (degree)
1	1	0
2	0.997021121	0.000238782
3	0.982924145	0.001682188
4	0.975440568	0.002844919
5	0.968041074	0.004024234
6	0.949625636	0.002411893
7	0.946157029	-0.001680896
8	0.932552224	-0.004599134

9	0.926247141	-0.006027973
10	0.920415294	-0.007273897
11	0.919544938	-0.007164137
12	0.918027503	-0.006994292
13	0.911890100	-0.008767205
14	0.909631302	-0.010224414
15	0.908220151	-0.010932917
16	0.906848553	-0.011384562
17	0.904834282	-0.012817571
18	0.904225485	-0.013005800
19	0.996493166	4.86E-05
20	0.992918989	-0.001131014
21	0.992215591	-0.001471216

22	0.991579462	-0.001828699
23	0.979339107	0.001137358
24	0.972670321	-0.000422360
25	0.969347075	-0.001193251
26	0.947708681	0.003130524
27	0.945162310	0.004151830
28	0.933756206	0.005794293
29	0.925566597	0.007298778
30	0.922041165	0.009199430
31	0.917860388	0.007794476
32	0.916939687	0.007407115
33	0.916654294	0.007276738

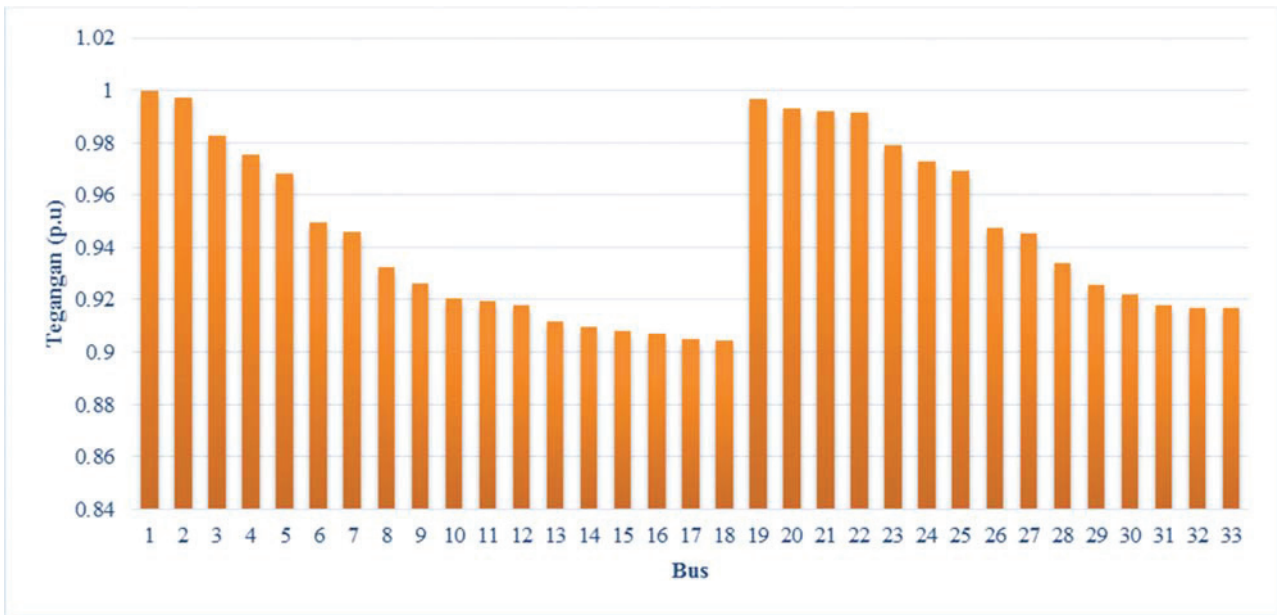


Fig. 4. Profil Tegangan Sistem Tes IEEE 33 bus

TABLE IV. RUGI-RUGI DAYA AKTIF DAN REAKTIF

Branch		Ploss (kW)	Qloss (kW)
From bus	To bus		
1	2	12.24657	6.335808
2	3	51.82531	26.39622
3	4	19.92447	10.14732
4	5	18.72242	9.535612
5	6	38.29595	33.05890
6	7	1.944104	6.426343
7	8	11.86043	8.559554
8	9	4.261036	3.061327
9	10	3.615074	2.572264
10	11	0.564198	0.186535
11	12	0.897960	0.296922
12	13	2.717572	2.138144
13	14	0.743293	0.978386
14	15	0.364095	0.324051
15	16	0.287033	0.209611
16	17	0.256595	0.342591
17	18	0.054183	0.042488

2	19	0.160957	0.153596
19	20	0.832187	0.749865
20	21	0.100759	0.117712
21	22	0.043635	0.057694
3	23	3.181558	2.173924
23	24	5.143780	4.061753
24	25	1.287476	1.007421
6	26	2.595003	1.321790
26	27	3.322333	1.691561
27	28	11.28096	9.946210
28	29	7.821004	6.813473
29	30	3.889627	1.981219
30	31	1.593443	1.574800
31	32	0.213168	0.248455
32	33	0.013167	0.020472

Sistem IEEE 33 bus terdiri dari 33 node dan 32 cabang ditunjukkan pada Fig. 3. Tegangan dasar untuk sistem ini adalah 12,66 kV dan base MVA adalah 100. Toleransi adalah 0,00001 p.u. Besarnya tegangan pada p.u. Dan sudut fasa pada derajat pada setiap bus ditunjukkan pada Table III. dan rugi-rugi daya

aktif dan reaktif pada masing-masing cabang, ditunjukkan pada Table IV. Profil tegangan sistem ditunjukkan pada Fig. 4.

IV. KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *backward and forward sweep* dapat digunakan untuk menganalisis aliran daya pada tes sistem IEEE 33 bus. Metode ini menggunakan persamaan aljabar sederhana untuk menghitung secara iterative dan memiliki konvergensi yang cepat untuk sistem distribusi membutuhkan 4 hingga 5 kali iterasi. Hal ini membuat algoritma sangat baik dan efisien secara numerik untuk konvergensi dan dapat diterapkan pada variasi jaringan distribusi yang luas.

REFERENCES

- [1] A. D. R. J. B. Darji and M. Pandya, "Backward / Forward Sweep Load Flow Algorithm for Radial Distribution System," vol. 2, no. 1, pp. 398–400, 2014.
- [2] Ahmad Memaripour, "Power Flow in Distribution System with Consideration of Distributed Generation"
- [3] R. W. Novialifiah, A. Soeprijanto, R. S. Wibowo, and A. K. S. Distribusi, "Algoritma Aliran Daya untuk Sistem Distribusi Radial dengan Beban Sensitif Tegangan," vol. 3, no. 1, pp. 1–5, 2014. (BIBC Indonesia)
- [4] Shateri, H. S. "Load Flow Method for Distribution Networks with Multiple Sources Nodes," IEEE Electrical Power & Energy Conference, 987-1-4244-2895-3/08, 2008.
- [5] Teng, " J.-H. A Direct Approach for Distribution System Load Flow Solutions," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol., 18, No. 3, 2003.
- [6] A. G. Bhutad, M. State, E. Board, A. Khaparde, and S. V Kulkarni, "Three-phase Load Flow Methods for Radial Distribution Networks," vol. 51, no. 2, pp. 2–6.
- [7] R. W. Novialifiah, A. Soeprijanto, R. S. Wibowo, and A. K. S. Distribusi, "Algoritma Aliran Daya untuk Sistem Distribusi Radial dengan Beban Sensitif Tegangan," vol. 3, no. 1, pp. 1–5, 2014.
- [8] Prakash, K. M. "Topological and Primitive Impedance based Load Flow Method for Radial and Waekly Meshed Distribution Systems," Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering, Vol. 10, No. 1, 2011.
- [9] E. Afzalan, M. A. Taghikhani, and M. Sedighzadeh, "Optimal Placement and Sizing of DG in Radial Distribution Networks Using SFLA," vol. 2, no. 3, pp. 73–77, 2012.
- [10] Baran, M. E, "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and load Balancing," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, 1989.
- [11] A. Wazir and N. Arbab, "Analysis and Optimization of IEEE 33 Bus Radial Distributed System Using Optimization Algorithm," vol. 1, no. 2, 2016.
- [12] K. S. Kumar and T. Jayabarathi, "Electrical Power and Energy Systems Power system reconfiguration and loss minimization for an distribution systems using bacterial foraging optimization algorithm," Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 36, no. 1, pp. 13–17, 2012.