

Perbaikan Rugi Energi Dengan Rekonfigurasi Jaringan Pada Sistem Distribusi Radial

Andarini Asri ⁽¹⁾, Alamsyah Achmad ⁽²⁾, Sarma Thaha ⁽³⁾, Wisna Saputri Alfira WS ⁽⁴⁾
 andariniasi@poliupg.ac.id ⁽¹⁾, alamsyahachmad@poliupg.ac.id⁽²⁾, sarmathaha@poliupg.ac.id⁽³⁾,
 alfirasaputri@poliupg.ac.id ⁽⁴⁾
 Politeknik Negeri Ujung Pandang ^(1,2,3,4)



Abstrak

Sistem distribusi merupakan salah satu sistem dalam sistem tenaga listrik yang mempunyai peran penting karena berhubungan langsung dengan pemakai energi listrik, terutama pemakai energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Seringkali terjadi beban yang tidak seimbang pada fasa-fasanya atau terjadi kelebihan beban karena pemakaian alat-alat elektrik dari konsumen energi listrik. Semakin meningkatnya kebutuhan energi listrik harus diimbangi dengan kualitas yang baik. Untuk mengatasinya diperlukan suatu rekonfigurasi di jaringan distribusi. Rekonfigurasi di jaringan distribusi tenaga listrik dilakukan untuk memperbaiki kualitas sistem jaringan. Masalah yang ada di jaringan distribusi radial yakni rugi-rugi energi yang besar. Dalam penelitian ini membahas rekonfigurasi jaringan menggunakan metode *simple branch exchange*. Metode *simple branch exchange* merupakan jenis dari metode heuristik. Cara kerja dengan menyeleksi urutan loop dilakukan untuk rekonfigurasi jaringan distribusi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan metode *simple branch exchange* untuk merekonfigurasi jaringan terjadi penurunan rugi-rugi energi dari 30,673 kWh menjadi 27,576 kWh.

Kata Kunci: Sistem Distribusi, Rekonfigurasi Jaringan, Metode Simple Branch Exchange, Rugi-Rugi Energi.

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik adalah sebuah sistem yang menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke konsumen melalui saluran transmisi dan distribusi. Tujuannya adalah menyalurkan daya pada konsumen sesuai dengan permintaan, keandalan, dan kualitas sesuai standar yang tersedia. Sistem distribusi pada umumnya menggunakan tipe konfigurasi radial. Setiap saluran dalam jaringan distribusi memiliki nilai impedansi yang dapat mempengaruhi adanya rugi-rugi daya dan drop tegangan. Hal ini harus diatasi sehingga energi yang dikirim sama dengan energi yang diterima. Rekonfigurasi jaringan merupakan cara yang efektif dan efisien dalam menurunkan rugi-rugi energi pada jaringan distribusi.

Beberapa penelitian yang sudah ada namun masih banyak kekurangan seperti Metode *Newton Rhapsod* [1] dan Metode *fast decoupled* [2]. Namun metode tersebut kurang cocok digunakan untuk penyelesaian aliran daya pada sistem distribusi terutama pada jaringan berbentuk radial yang kompleks. Oleh karena itu diperlukan sebuah metode yang dapat merekonfigurasi jaringan yang mudah serta optimal dalam menurunkan rugi-rugi energi pada sistem distribusi.

Penelitian menggunakan metode *simple branch exchange* untuk merekonfigurasi jaringan yang dilakukan dengan cara menambahkan switch dengan mengubah on atau off saluran dan pencarian konfigurasi yang menghasilkan rugi-rugi energi terkecil, serta menghitung rugi-rugi energi berdasarkan beban jaringan.

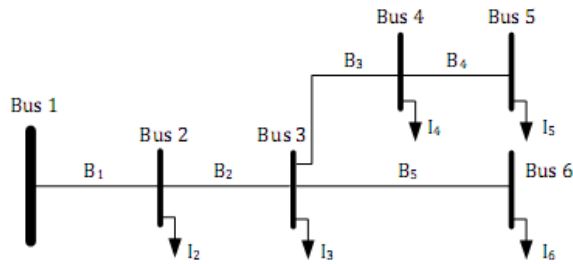
II. DASAR TEORI

a. Aliran daya pada jaringan distribusi radial

Aliran daya pada jaringan distribusi radial langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Membangun K-Matriks

K-Matriks merupakan pembentukan matriks impedansi dengan melakukan penelusuran alur saluran distribusi. Jalur saluran direpresentasikan dalam matriks yang menunjukkan arah arus injeksi dari satu bus ke bus yang lain. Analisanya seperti pada gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Jaringan Distribusi Radial

Injeksi arus pada tiap cabang mempunyai suatu persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 B_5 &= I_6 \\
 B_4 &= I_5 \\
 B_3 &= I_4 + I_5 \\
 B_2 &= I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \\
 B_1 &= I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Dalam aturan K-Matriks, jika suatu cabang berada pada jalur antara bus tertentu dan bus referensi dan arahnya berlawanan maka nilainya -1.

Dengan demikian hubungan antara arus injeksi dan arus cabang dapat dinyatakan seperti berikut ini.

$$\begin{bmatrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I2 \\ I3 \\ I4 \\ I5 \\ I6 \end{bmatrix}
 \tag{2.2}$$

2. Membangun Matriks BIBC (Bus Injection to Branch Current)

Matriks ini sama seperti K-Matriks, yaitu menyatakan hubungan antara arus injeksi bus dan arus cabang. Isi dari matriks ini hanya 0 dan 1 saja. Maka dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$[BIBC] = - [K\text{-Matriks}]
 \tag{2.3}$$

$$[BIBC] = -K = - \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Sehingga dari persamaan (2.2) dan (2.3), dapat ditulis secara umum sebagai berikut.

$$[B] = [BIBC] [I]
 \tag{2.4}$$

3. Membangun Matriks BCBV (Branch Current to Bus Voltage)

Matriks ini menyatakan hubungan antara arus cabang dan tegangan bus. Sistem jaringan distribusi sederhana pada Gambar 2.10, tegangan pada setiap bus dapat dinyatakan dengan fungsi dari arus cabang. Parameter saluran dan tegangan sumber dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_1 - V_2 &= B_1 Z_{12} \\
 V_1 - V_3 &= B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} \\
 V_1 - V_4 &= B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} + B_3 Z_{34} \\
 V_1 - V_5 &= B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} + B_3 Z_{34} + B_4 Z_{45} \\
 V_1 - V_6 &= B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} + B_5 Z_{56}
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

Persamaan 2.5 dapat ditulis sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} V1 \\ V1 \\ V1 \\ V1 \\ V1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V2 \\ V3 \\ V4 \\ V5 \\ V6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z12 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z12 & Z23 & 0 & 0 & 0 \\ Z12 & Z23 & Z34 & 0 & 0 \\ Z12 & Z23 & Z34 & Z45 & 0 \\ Z12 & Z23 & 0 & 0 & Z56 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{bmatrix}
 \tag{2.6}$$

Persamaan 2.6 dapat ditulis secara umum sebagai berikut.

$$[\Delta V] = [BCBV] [B]
 \tag{2.7}$$

$$[\Delta V] = [BCBV] [BIBC] [I]
 \tag{2.8}$$

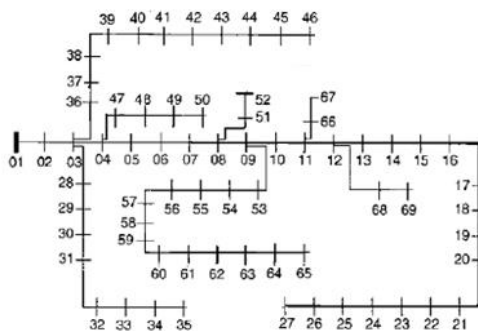
$$[\Delta V] = [DLF] [I]
 \tag{2.9}$$

Matriks $[\Delta V]$ merupakan matriks yang menerangkan jatuh tegangan dari bus sumber ke bus beban dalam sistem.

III. METODE PENELITIAN

Sistem radial adalah sistem yang paling mudah dalam pengontrolannya, dan paling sederhana. Oleh karena itu sistem ini sering digunakan. Sistem tersusun dari saluran yang ditarik dari titik sumber dan akan dicabangkan ke beban. Ada beberapa tipe distribusi radial yaitu radial pohon, radial dengan pemisah, radial dengan pusat beban dan radial dengan pembagian fasa. Jaring distribusi radial pohon adalah bentuk distribusi dengan satu saluran utama disuplai menurut beban, kemudian dicabangkan selanjutnya ditambah cabang lagi yang disebut dengan anak cabang. Jaring distribusi radial dengan pemisah merupakan perubahan dari bentuk distribusi radial pohon tetapi dengan menambahkan pemisah yang digunakan untuk menjaga pelayanan konsumen, pemisah digunakan untuk melokalisir wilayah

yang terjadi gangguan agar tidak menyebar ke wilayah lain yang tidak terkena gangguan. Jaringan distribusi dengan pusat beban berbentuk jaringan yang menyuplai menggunakan penyulang utama langsung disalurkan ke pusat beban, dan dari pusat beban ini akan di salurkan ke beban yang lain. Jaringan distribusi radial dengan pembagian fasa memiliki sistem yang berbeda antara fasa yang satu dengan yang lain. Rekonfigurasi jaringan distribusi adalah mengatur ulang konfigurasi jaringan dengan cara mengoperasikan *tie switch* yang terdapat pada jaringan distribusi untuk mengurangi rugi rugi daya pada jaringan distribusi dan untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi sehingga efisiensi daya yang disalurkan dan pelayanan daya pada pelanggan meningkat [3]. Pada penelitian ini, sistem awal yang akan diuji adalah sistem jaringan distribusi IEEE 69 bus.



Gambar 3.1 Sistem IEEE 69 Bus

Tabel 3.1 Data Saluran IEEE 69 Bus

No	Dari Bus	Ke bus	R (Ω)	X (Ω)	P (kW)	Q (kVAR)
1	1	2	0.0005	0.0012	0.0	0.0
2	2	3	0.0005	0.0012	0.0	0.0
3	3	4	0.0015	0.0036	0.0	0.0
4	4	5	0.0251	0.0294	0.0	0.0
5	5	6	0.3660	0.1864	2.60	2.20
6	6	7	0.3811	0.1941	40.40	30.00
7	7	8	0.0922	0.0470	75.0	54.0
8	8	9	0.0493	0.0251	30.0	22.0
9	9	10	0.8190	0.2707	28.0	19.0
10	10	11	0.1872	0.0619	145.00	104.00
11	11	12	0.7114	0.235	145.0	104.0
12	12	13	10.300	0.3400	8.0	5.0
13	13	14	10.440	0.3450	8.0	5.50
14	14	15	10.580	0.3496	0.0	0.0
15	15	16	0.1966	0.0650	45.5	30.0
16	16	17	0.3744	0.1238	60.0	35.0

17	17	18	0.0047	0.0016	60.0	35.0
18	18	19	0.3276	0.1083	0.0	0.0
19	19	20	0.2106	0.0690	1.00	0.60
20	20	21	0.3416	0.1129	114.0	81.0
21	21	22	0.0140	0.0046	5.00	3.50
22	22	23	0.1591	0.0526	0.0	0.0
23	23	24	0.3463	0.1145	28.0	20.0
24	24	25	0.7488	0.2475	0.0	0.0
25	25	26	0.3089	0.1021	14.0	10.0
26	26	27	0.1732	0.0572	14.0	10.0
27	27	28	0.0044	0.0108	26.0	18.60
28	28	29	0.0640	0.1565	26.0	18.60
29	29	30	0.3978	0.1315	0.0	0.0
30	30	31	0.0702	0.0232	0.0	0.0
31	31	32	0.3510	0.1160	0.0	0.0
32	32	33	0.8390	0.2816	14.0	10.0
33	33	34	17.080	0.5646	9.5	14.0
34	34	35	14.740	0.4873	6.0	4.0
35	35	6	0.0044	0.0108	26.0	18.55
36	36	37	0.0640	0.1565	26.0	18.55
37	37	38	0.1053	0.1230	0.0	0.0
38	38	39	0.0304	0.0355	24.0	17.0
39	39	40	0.0018	0.0021	24.0	17.0
40	40	41	0.7283	0.8509	1.20	1.0
41	41	42	0.3100	0.3623	0.0	0.0
42	42	43	0.0410	0.0478	6.0	4.30
43	43	44	0.0092	0.0116	0.0	0.0
44	44	45	0.1089	0.1373	39.22	26.30
45	45	46	0.0009	0.0012	39.22	26.30
46	4	47	0.0034	0.0084	0.0	0.0
47	47	48	0.0851	0.2083	79.0	56.40
48	48	49	0.2898	0.7091	384.70	274.50
49	49	50	0.0822	0.2011	384.70	274.50
50	8	51	0.0928	0.0473	40.50	28.30
51	51	52	0.3319	0.1114	3.60	2.70
52	9	53	0.1740	0.0886	4.35	3.50
53	53	54	0.2030	0.1034	26.40	19.00
54	54	55	0.2842	0.1447	24.0	17.20
55	55	56	0.2813	0.1433	0.0	0.0
56	56	57	15.900	0.5337	0.0	0.0
57	57	58	0.7837	0.2630	0.0	0.0
58	58	59	0.3042	0.1006	100.0	72.0
59	59	60	0.3861	0.1172	0.0	0.0
60	60	61	0.5075	0.2585	1244.0	888.0
61	61	62	0.0974	0.0496	32.0	23.0
62	62	63	0.1450	0.0738	0.0	0.0
63	63	64	0.7105	0.3619	227.0	162.0
64	64	65	10.410	0.5302	59.0	42.0

65	11	66	0.2012	0.0611	18.0	13.0
66	66	67	0.0047	0.0014	18.0	13.0
67	12	68	0.7394	0.2444	28.0	20.0
68	68	69	0.0047	0.0016	28.0	20.0

Rekonfigurasi jaringan distribusi adalah suatu cara untuk mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan distribusi serta untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi dengan mengatur ulang konfigurasi jaringan dengan jalan membuka dan menutup *switch* yang terdapat pada jaringan distribusi sehingga efisiensi daya listrik yang disalurkan meningkat dan konsumen dapat dilayani dengan baik. Rekonfigurasi dilakukan pada sistem yang telah terpasang, namun bentuk penyusunan ulang tersebut tidak signifikan. Pada penelitian ini digunakan metode *simple branch exchange* [4] untuk mendapatkan rekonfigurasi jaringan yang paling optimal.

Sebelum merekonfigurasi jaringan, terlebih dahulu mensimulasikan system dengan menjalanka aliran daya. Aliran daya pada penelitian ini menggunakan K-Matriks [4].

Rekonfigurasi pada penelitian ini menggunakan metode *simple branch exchange*. Metode ini merupakan jenis dari metode *heuristic*. Dasar dari metode ini adalah untuk menentukan rugi-rugi daya. Rekonfigurasi dilakukan dengan mengubah *on* atau *off switch* dan saluran pada setiap konfigurasi sistem daya yang mungkin untuk mendapatkan rugi-rugi daya yang terkecil. Rumus untuk meminimalkan rugi-rugi daya adalah sebagai berikut [4].

$$P_{loss} = \sum r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \tag{3.1}$$

Metode ini bertujuan untuk mendapatkan konfigurasi jaringan yang baru berdasarkan rugi-rugi daya yang terkecil. Oleh karena itu kelebihan dari *branch exchange* untuk mencari solusi optimal cabang untuk menurunkan rugi-rugi daya.

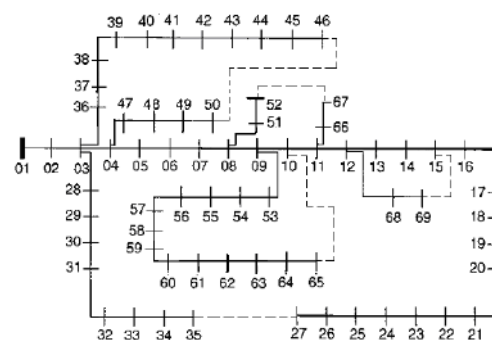
Pada sistem distribusi seringkali terjadi beban yang tidak seimbang pada setiap fasanya (sistem distribusi merupakan sistem tiga fasa) atau terjadi kelebihan beban karena pemakaian alat-alat elektronik dari konsumen energi listrik. Keadaan tersebut jika dibiarkan terus-menerus maka akan menyebabkan terjadinya 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. Selain itu, sistem distribusi radial juga mempunyai rugi – rugi daya yang cukup besar sehingga menyebabkan keandalan sistem menjadi berkurang.

Pada penelitian ini rekonfigurasi jaringan dilakukan untuk mengurangi rugi-rugi energi pada jaringan distribusi daya listrik tipe radial.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi dari sistem IEEE 69 Bus [5] seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, sistem yang dianalisis adalah IEEE 69 bus.



Gambar 4.1 Sistem IEEE 69 bus dengan *tie switch*

Setelah dilakukan simulasi aliran daya [6], maka didapatkan nilai P_{loss} awal sebesar 1,27 kW dan E_{loss} awal sebesar 30,673 kWh. Sehingga dibutuhkan suatu cara untuk mengurangi rugi-rugi yaitu merekonfigurasi jaringan distribusi IEEE 69 Bus.

Tabel 4.1 Data Tie switch

Dari Bus	Ke bus	R (Ω)	X (Ω)
52	67	0.0047	0.0016
15	69	0.0047	0.0016
10	65	0.0047	0.0016
46	50	0.0047	0.0016
35	27	0.0047	0.0016

4.1. Kombinasi Rangkaian Menggunakan 1 *tie switch*

Langkah pertama yaitu dengan mengaktifkan satu *tie switch*. Setelah dilakukan simulasi dari 69 kombinasi maka didapatkan hasil rugi-rugi energi yang kecil, dengan mengaktifkan *switch*

(46,50) dan memutus *Sectionalizing Switch* (4,47) sehingga didapatkan nilai rugi-rugi energi sebesar 30,675 kWh.

4.2. Kombinasi Rangkaian Menggunakan 2 tie switch

Langkah kedua yaitu dengan mengaktifkan dua *tie switch*. Setelah dilakukan simulasi dari 69 kombinasi maka didapatkan hasil rugi-rugi energi yang kecil, dengan mengaktifkan *switch* (46,50) dan *switch* (52,67) serta memutus *Sectionalizing Switch* (4,47) dan *Sectionalizing Switch* (10,11) sehingga didapatkan nilai rugi-rugi energi sebesar 30,438 kWh.

4.3. Kombinasi Rangkaian Menggunakan 3 tie switch

Langkah ketiga yaitu dengan mengaktifkan tiga *tie switch*. Setelah dilakukan simulasi dari 69 kombinasi maka didapatkan hasil rugi-rugi energi yang kecil, dengan mengaktifkan *switch* (46,50), *switch* (52,67), dan *switch* (10,65) serta memutus *Sectionalizing Switch* (4,47), *Sectionalizing Switch* (10,11), dan *Sectionalizing Switch* (9,10) sehingga didapatkan nilai rugi-rugi energi sebesar 29,381 kWh.

4.4. Kombinasi Rangkaian Menggunakan 4 tie switch

Langkah keempat yaitu dengan mengaktifkan empat *tie switch*. Setelah dilakukan simulasi dari 69 kombinasi maka didapatkan hasil rugi-rugi energi yang kecil, dengan mengaktifkan *switch* (46,50), *switch* (52,67), *switch* (10,65), dan *switch* (15,69) serta memutus *Sectionalizing Switch* (4,47), *Sectionalizing Switch* (10,11), *Sectionalizing Switch* (9,10), dan *Sectionalizing Switch* (14,15) sehingga didapatkan nilai rugi-rugi energi sebesar 28,013 kWh.

4.5. Kombinasi Rangkaian Menggunakan 5 tie switch

Langkah kelima yaitu dengan mengaktifkan lima *tie switch*. Setelah dilakukan simulasi dari 69 kombinasi maka didapatkan hasil rugi-rugi energi yang kecil, dengan mengaktifkan *switch* (46,50), *switch* (52,67), *switch* (10,65), *switch* (15,69), dan *switch* (35,27) serta memutus *Sectionalizing Switch* (4,47), *Sectionalizing Switch* (10,11), *Sectionalizing Switch* (9,10), *Sectionalizing Switch* (14,15), dan *Sectionalizing Switch*

(20,21) sehingga didapatkan nilai rugi-rugi energi sebesar 27,576 kWh.

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Menggunakan *Tie Switch*

<i>Tie switch</i>		<i>Sectionalizing Switch</i>		Total Rugi Energi (kWh)
Dari bus	ke bus	Dari bus	ke bus	
46	50	4	47	30.675
52	67	10	11	30.438
10	65	9	10	28.381
15	69	14	15	28.013
35	27	20	21	27.576

V. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi power flow dan menggunakan metode *simple branch exchange* dengan menggunakan *plant* sistem distribusi IEEE 69 Bus, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *simple branch exchange* dapat digunakan sebagai solusi dalam analisis rekonfigurasi jaringan untuk mengurangi rugi-rugi energi pada sistem.
2. Penurunan rugi-rugi energi paling kecil terdapat pada simulasi pengaktifan 5 *tie switch* disbanding dengan pengaktifan *tie switch* yang lain.
3. Sebelum rekonfigurasi rugi-rugi energi awal sebesar 30,673 kWh terjadi penurunan setelah rekonfigurasi menjadi 27,576 kWh.

REFERENSI

[1] Yaqin, Ainul. *Studi Aliran Daya Sistem Distribusi Radial Tiga Fasa Metode Newton-Raphson Untuk Memperbaiki Profil Tegangan Menggunakan Rekonfigurasi Jaringan Dan Penempatan Kapasitor Bank*. Diss. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.

[2] Sulistiyono, Dwi, Joko Windarto, and Karnoto Karnoto. *Perbandingan Metode Gauss-Seidel, Metode Newton Raphson dan Metode Fast Decoupled dalam Solusi Aliran Daya*. Diss. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip, 2011.

[3] Asri, Andarini. *Optimasi rekonfigurasi jaring menggunakan load curtailment untuk mengisolasi gangguan dalam*

- distribution automation system pada sistem microgrid*. Diss. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [4] Nisa, Tyas Khairun. *Rekonfigurasi Dan Penentuan Lokasi Kapasitor Untuk Menurunkan Rugi-rugi Energi Pada Jaringan Distribusi Tenaga Listrik Menggunakan Metode" Simple Branch Exchange"*. Diss. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2014.
- [5] Venkatesh, B., et al. *Optimal reconfiguration of radial distribuion system using artificial intelligence methods*. 2009 IEEE Toronto International Conference Science and Technology for Humanity (TIC-STH). IEEE, 2009.
- [6] Priambodo P. *Analisis aliran daya tiga fasa tidak seimbang menggunakan metode k-matrik dan zbr pada sistem distribusi 20kv kota Surabaya*. Digilib. its, Surabaya. 2013.