

Rekonfigurasi dan Penentuan Lokasi Kapasitor untuk Menurunkan Rugi-Rugi Energi pada Jaringan Distribusi Tenaga Listrik Menggunakan Metode *Simple Branch Exchange*

Tyas Khairun Nisa, Ontoseno Penangsang¹⁾, Heri Suryoatmojo²⁾

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. AriefRahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: zenno_379@yahoo.com¹⁾, suryomgt@ee.its.ac.id²⁾

Abstrak---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. Untuk menurunkan rugi-rugi energi dapat diatasi dengan mengkompensasi kapasitor. Dilakukan dengan cara penentuan lokasi kapasitor di jaringan distribusi. Sehingga dengan mengkompensasi kapasitor maka jaringan distribusi lebih efektif dan efisien dalam menyalurkan daya.

Dalam tugas akhir ini membahas rekonfigurasi jaringan menggunakan metode *simple branch exchange* dan penentuan lokasi serta nilai kapasitor untuk mereduksi rugi-rugi energi pada jaringan distribusi radial. Plant yang digunakan pada tugas akhir kali ini adalah penyulang Basuki Rahmat. Metode *simple branch exchange* merupakan jenis dari metode heuristik. Cara kerjanya dengan menyeleksi urutan loop dilakukan untuk rekonfigurasi jaringan distribusi. Setelah dilakukan rekonfigurasi pada jaringan distribusi, dipasang kapasitor untuk mengurangi rugi-rugi energi serta menaikkan *power factor* jaringan.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan metode *simple branch exchange* untuk merekonfigurasi jaringan dapat mengurangi rugi-rugi energi sebesar 12,159 KWH. Setelah dipasang kapasitor pada jaringan maka rugi-rugi energi berkurang sebesar 18,845 KWH. Dari hasil simulasi dengan menggunakan sistem distribusi penyulang Basuki Rahmat, menunjukkan bahwa terjadi penurunan rugi-rugi energi dari 55,600 KWH menjadi 36,755 KWH.

Kata kunci: Rekonfigurasi, Penempatan Kapasitor, Penurunan Rugi-Rugi Energi, Metode *Simple Branch Exchange*

PENDAHULUAN

Dalam penyaluran tenaga listrik diperlukan adanya penghubung antara sistem transmisi bertegangan tinggi dengan pengguna listrik. Penghubung tersebut disebut sistem distribusi yang merupakan penghubung antara sistem transmisi bertegangan tinggi dengan pengguna listrik. 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 pada jaringan distribusi.

Sudah banyak metode yang pernah dicoba, tetapi masih banyak kekurangan seperti Metode *Newton Rhapson*

dan *fast decoupled* kurang cocok digunakan untuk penyelesaian aliran daya pada sistem distribusi [2]. Terutama pada jaringan berbentuk radial yang kompleks, diperlukan sebuah metode yang dapat merekonfigurasi jaringan yang mudah serta optimal dalam menurunkan rugi-rugi energi.

Dalam Tugas Akhir ini, 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 [1]. Kompensasi kapasitor ditambahkan untuk menurunkan rugi-rugi energi setelah didapatkan konfigurasi jaringan yang baru.

I. DASAR TEORI

A. Metode *Simple Branch Exchange*

Rekonfigurasi pada tugas akhir ini menggunakan metode *simple branch exchange*. Metode ini merupakan jenis dari metode heuristik. 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.

$$P_{\text{loss}} = \sum r_l \frac{P_l^2 + Q_l^2}{V_l^2} \dots \dots \dots (3.1)$$

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.

Metode ini hanya digunakan pada sistem distribusi dengan topologi jaringan radial. Berikut adalah gambar dari struktur sistem sistem radial :



Gambar 1. Sistem distribusi radial [1]

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa jika sectionalized switch b = closed, maka jaringan tersebut akan terjadi loop. Hal ini bertentangan dengan struktur sistem distribusi radial. Maka tiap sectionalized switch di sisi 1 atau r harus dibuka agar tidak terbentuk loop pada jaringan.

B. Penentuan Perhitungan Kapasitor

Berikut ini adalah perancangan pemasangan kapasitor, perancangan disini berdasarkan pada *power factor* keseluruhan sistem dan *power factor* bus, serta rugi-rugi daya pada sistem tersebut.

Pada Tugas Akhir kali ini menggunakan *plant* penyulang Basuki Rahmat. *Power factor* sistem sebesar 0.799 lag, sehingga perlu diperbaiki agar rugi-rugi daya sistem dapat dikurangi. Berikut ini adalah langkah-langkah perencanaan pemasangan kapasitor bank untuk menaikkan *power factor* dan mengurangi daya yang hilang yang ada pada sistem distribusi radial dalam sistem 1 fasa.

- 1) Mengetahui data impedansi saluran, mengetahui besar daya beban yang tersambung ke sistem.
- 2) Mengetahui data beban tiap bus.
- 3) Mengetahui *power factor* sistem.
- 4) Menentukan *power factor* baru yang diinginkan.
- 5) Menentukan nilai kapasitor bank.
- 6) Mengetahui *power factor* tiap bus.

C. Metode Penempatan Kapasitor

Setelah melakukan *running* program *power flow*, maka dapat diketahui bus mana saja yang memiliki daya reaktif yang besar dan juga diketahui nilai *power factor* busnya. Kemudian penentuan lokasi kapasitor dilakukan dengan memasang kapasitor pada bus yang memiliki nilai *power factor* rendah.

Langkah dalam pemasangan kapasitor bank pada sistem distribusi radial adalah menentukan range kapasitor. Daya reaktif Var kapasitor ini harus lebih kecil daripada daya Var beban. Karena jika lebih besar, mengakibatkan, tegangan akan bertambah besar menjadi lebih di atas 1,01 pu, atau sistem akan mengalami *over voltage*. Serta *power factor* pada bus tersebut dapat menjadi *leading*. Di pasaran, kapasitas kapasitor tidak memiliki banyak variasi, sehingga secara teori dan praktek di lapangan, kapasitas kapasitor yang dipasang pada sistem sedikit berbeda. Menentukan bus yang akan dipasang kapasitor. Bus tersebut memiliki *power factor* yang tidak sesuai dengan standar pada jaringan distribusi.

D. Cara Pemasangan Kapasitor Bank pada Sistem Distribusi Radial

Pada subsubbab ini akan dibahas bagaimana kapasitor bank dipasang pada sistem distribusi radial, untuk mengurangi rugi-rugi daya dan menaikkan *power factor*.

Berikut ini persamaan untuk menentukan nilai dari kapasitor yang akan dipasang pada sistem distribusi radial.

$$\cos \varphi_{lama} = \frac{P}{S} \dots \dots \dots (3.2)$$

$$\varphi_{lama} = \cos^{-1}(\cos \varphi_{lama}) \dots \dots \dots (3.3)$$

$$Q_c (pu) = P \times (\tan \varphi_{lama} - \tan \varphi_{baru}) \dots \dots \dots (3.4)$$

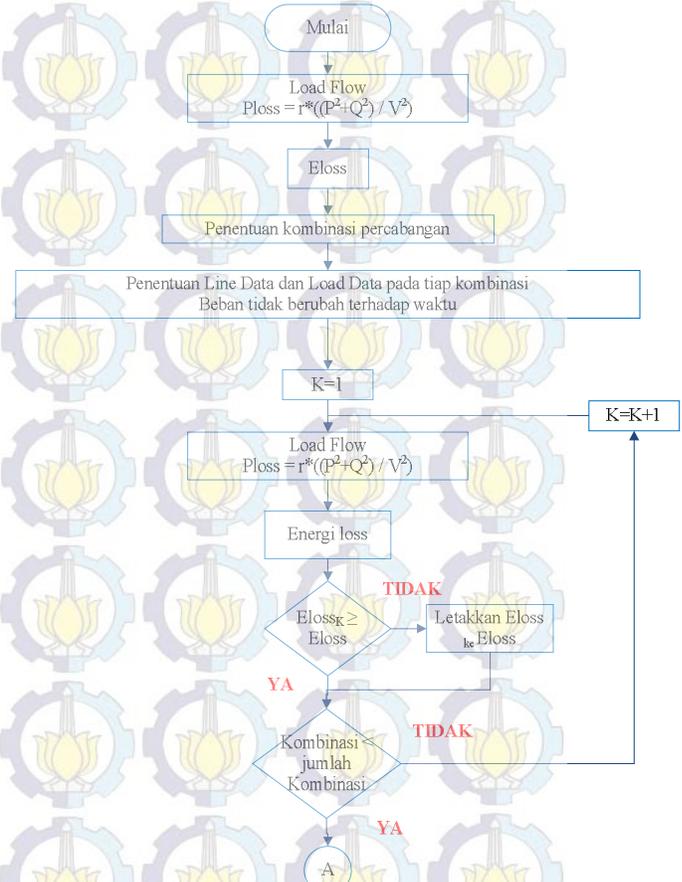
$$Q_c (real) = Q_c (pu) \times KVA_{Base} \dots \dots \dots (3.5)$$

$$S = P + jQ - jQ_c \dots \dots \dots (3.6)$$

Pada rumus tersebut, daya sistem dapat berubah ketika ada penambahan kapasitor sebesar Q_c pada sistem.

II. PERANCANGAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang perancangan dari rekonfigurasi serta penentuan lokasi kapasitor. Tahapan pengerjaan tugas akhir ini akan dijelaskan melalui *flowchart*.



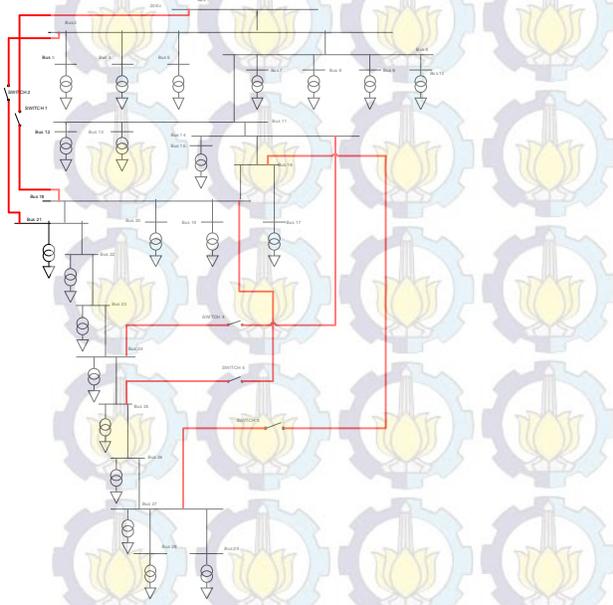
Gambar 2. *Flowchart* tugas akhir



Gambar 3. Flowchart tugas akhir

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa dalam pengerjaan tugas akhir kali ini terdapat dua tahap untuk mengurangi rugi-rugi energi pada jaringan. Langkah pertama untuk mengurangi rugi-rugi energi adalah dengan merekonfigurasi jaringan. Setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan maka dipasang kapasitor untuk mereduksi rugi-rugi energi serta menaikkan *power factor*.

Sistem yang akan di uji pada Tugas Akhir ini adalah penyulang Basuki Rahmat 20 KV. Data *plant* penyulang Basuki Rahmat dengan 29 bus dan 28 cabang dengan penambahan *tie switch* sebanyak lima buah.. Untuk *single line diagram*nya adalah sebagai berikut.



Gambar 4. Single Line Diagram Penyulang Basuki Rahmat 20 KV
Berikut adalah tabel data saluran serta data beban dari penyulang Basuki Rahmat.

Tabel 1.
Data saluran penyulang Basuki Rahmat

Cabang No.	Impedansi (ohm)		Panjang (m)
	dari	ke	
1	1	2	562
2	2	3	100
3	2	4	25
4	2	5	23.5
5	2	6	100
6	6	7	50
7	6	8	50
8	6	9	50
9	6	10	50
10	6	11	100
11	11	12	50
12	11	13	50
13	11	14	300
14	14	15	50
15	14	16	130
16	16	17	50
17	16	18	63
18	18	19	50
19	18	20	50
20	18	21	100
21	21	22	117.38
22	22	23	25
23	23	24	52
24	24	25	100
25	25	26	31.17
26	26	27	54.84
27	27	28	44.93
28	27	29	100
29 TIE SWITCH 1	1	18	218
30 TIE SWITCH 2	2	21	185
31 TIE SWITCH 3	16	27	166
32 TIE SWITCH 4	14	24	147.16
33 TIE SWITCH 5	18	25	105.66

III. SIMULASI DAN ANALISA

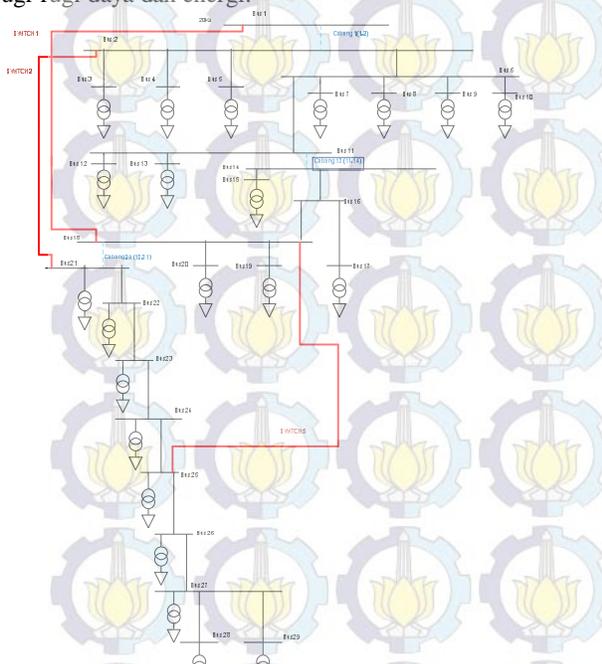
Pada bab 4 ini, akan dibahas mengenai simulasi dan analisis dengan menggunakan MATLAB pada plan penyulang Basuki Rahmat. Simulasi pertama dipergunakan untuk merekonfigurasi penyulang basuki rahmat untuk mendapatkan konfigurasi jaringan yang baru dengan rugi-rugi energi terkecil. Setelah itu, simulasi kedua adalah menentukan lokasi kapasitor.

A. Sistem Sebelum Rekonfigurasi

Setelah dilakukan simulasi aliran daya menggunakan software matlab r2009a, maka didapatkan nilai P_{loss} awal sebesar 2,8233 kW dan E_{loss} awal sebesar 67,759 KWH. Sehingga dibutuhkan suatu cara untuk mengurangi rugi-rugi yaitu merekonfigurasi jaringan distribusi penyulang Basuki Rahmat.

B. Sistem Setelah Rekonfigurasi

Hasil percobaan rekonfigurasi didapatkan rugi-rugi energi terkecil dengan kombinasi menggunakan tiga switch. Saluran yang dilepas yaitu cabang 1, 13, dan 20 serta menutup switch 1, 2, dan 5. Didapatkan nilai P_{loss} hasil rekonfigurasi sebesar 3,831 kW dan E_{loss} hasil rekonfigurasi sebesar 55,600 KWH. Sehingga terjadi penurunan nilai dari rugi-rugi daya dan energi.



Gambar 5. Single Line Diagram Penyulang Basuki Rahmat 20 KV dengan tie switch.

C. Penentuan Lokasi Kapasitor

Hasil simulasi optimasi pengurangan rugi-rugi daya saluran, hasil dari adanya penambahan kapasitor pada sistem sebesar 589,9 KVAR. Dengan perhitungan nilai kapasitor seperti dibawah ini.

$$S = 13,021 \text{ pu}$$

$$P = 10,4169 \text{ pu}$$

$$\cos \varphi_{lama} = \frac{P}{S} = \frac{10,4169}{13,021} = 0,799 \dots (4.1)$$

$$\varphi_{lama} = \cos^{-1} 0,799 = 36,965 \dots (4.2)$$

$$\cos \varphi_{baru} = 0,9835$$

$$\varphi_{baru} = 10,409$$

$$Q_c (pu) = P \times (\tan \varphi_{lama} - \tan \varphi_{baru}) = 10,4169 \times (\tan 36,965 - \tan 10,409) = 5,896 \text{ pu} \dots (4.3)$$

$$Q_c (kvar) = 5,896 \text{ pu} \times 100 \text{ kva} = 589,9 \text{ kvar} \dots (4.4)$$

Dibagi menjadi 4 buah kapasitor yang diletakkan pada bus dengan beban terbesar, dengan kapasitas masing-masing kapasitor :

$$Q_{c1} = 105 \text{ kvar} \text{ pada bus 3}$$

$$Q_{c2} = 215 \text{ kvar} \text{ pada bus 8}$$

$$Q_{c3} = 150 \text{ kvar} \text{ pada bus 13}$$

$$Q_{c4} = 120 \text{ kvar} \text{ pada bus 17}$$

Dari simulasi setelah konfigurasi jaringan ditambah kapasitor menghasilkan rugi-rugi energi seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.

Total rugi-rugi energi saluran pada sistem

	Sebelum Dipasang Kapasitor	Setelah Dipasang Kapasitor
Energi (KWH)	55,600	36,755

Dari data di atas, dapat dianalisa bahwa sebelum adanya penambahan kapasitor, sistem memiliki rugi-rugi energi saluran sebesar 55,600 KWH. Kemudian, setelah adanya penambahan kapasitor, diperoleh rugi-rugi energi yang berkurang, menjadi sebesar 36,755 KWH. Dengan Menurunnya rugi-rugi energi yang ada pada saluran, akan mengurangi drop tegangan yang ada, sehingga tegangan dari sisi kirim akan hampir sama dengan tegangan pada sisi terima.

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan simulasi power flow dan menggunakan metode *simple branch exchange* dengan menggunakan *plant* sistem distribusi penyulang Basuki Rahmat, 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. Dengan pemasangan kapasitor, dapat menaikkan *power factor* jaringan serta menurunkan rugi-rugi energi pada sistem.
3. Besar kenaikan tegangan bus, *power factor* sistem, dan pengurangan rugi-rugi energi tergantung dari besar kapasitas kapasitor yang digunakan.
4. Hasil dari pemasangan kapasitor terjadi penurunan rugi-rugi energi yang lebih signifikan dibandingkan rekonfigurasi jaringan.
5. Bus dengan *power factor* yang tidak sesuai dengan standar jaringan distribusi, dapat digunakan sebagai kandidat bus dalam peletakan kapasitor.
6. Sebelum rekonfigurasi rugi-rugi energi awal sebesar 67,759 KWH terjadi penurunan setelah rekonfigurasi menjadi 55,600 KWH.
7. Setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan dan dipasang kapasitor maka terjadi penurunan rugi-rugi energi di jaringan dari 55,600 KWH menjadi 36,755 KWH.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Vahid Farahani, Student Member, IEEE, Behrooz Vahidi, Senior Member, IEEE, and Hossein Askarian Abyaneh, Senior Member, IEEE, "Reconfiguration and Capacitor Placement Simultaneously for Energy Loss Reduction Based on an Improved Reconfiguration Method". IEEE Publication VOL. 27, NO. 2, MAY 2012.
- [2] Hao Teng, Jen. "A Network-Topology-based Three-Phase Load Flow for Distribution Systems". IEEE. 2000.
- [3] Hao Teng, Jen. "Backward/Forward Sweep-Based Harmonic Analysis Method for Distribution System". IEEE. 2010.
- [4] Wicaksono, Y.Andri,"Penentuan Lokasi dan Nilai Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial Terdistribusi Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization"Jurnal Teknik POMITS Vol 1 No 1. 2013.
- [5] Syaain, Matt, "Handout Power Flow Analysis", PPNS-ITS, Surabaya, 2013.
- [6] Priambodo, Pungki. "Analisis Aliran Daya Tiga Fasa Tidak Seimbang Menggunakan Metode K-Matriks dan Z_{BR} pada Sistem Distribusi 20 kv Kota Surabaya" Jurnal Teknik POMITS Vol 1 No 1. 2013.

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis bernama lengkap Tyas Khairun Nisa dilahirkan di Garut pada 10 Maret 1990. Latar belakang pendidikan pernah bersekolah di SDN Paminggir 4 Garut selama 6 tahun, SMP Negeri 1 Garut selama 3 tahun, SMA Negeri 1 Garut selama 3 tahun. Melanjutkan ke jenjang diploma di D3 Teknik Elektronika Politeknik Negeri Bandung selama 3 tahun. Menjadi mahasiswa lintas jalur teknik elektro Institut Teknologi Sepuluh November angkatan genap 2011 dan mengambil bidang studi teknik sistem tenaga.