

MEMINIMALKAN RUGI-RUGI PADA SISTEM DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH DENGAN PEMASANGAN KAPASITOR

Adrianus Dri

Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
adrianus_dri@yahoo.co.id

Abstrak-Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya yang besar agar sampai ke konsumen. Sebelum tenaga listrik sampai ke konsumen terdapat rugi-rugi daya, susut energi dan drop tegangan pada saluran. Agar rugi-rugi daya, susut energi dan drop tegangan dapat dikurangi salah satunya dengan pemasangan kapasitor pada sistem distribusi. Dengan menggunakan teknik analisa aliran daya radial maka profil tegangan dan rugi-rugi daya dapat diketahui dan dengan menggunakan faktor sensitifitas rugi-rugi maka dapat diketahui dimana letak kapasitor akan dipasang dengan kapasitas dari kapasitor telah ditentukan besarnya.

Kata kunci : sistem distribusi, kapasitor, faktor sensitifitas rugi-rugi.

1. Pendahuluan

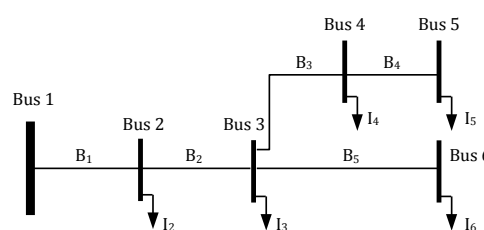
Suatu sistem distribusi harus memiliki keandalan agar kualitas dayanya tetap terjaga dan tersalurkan dengan baik. Kualitas daya merupakan hal penting untuk menjaga stabilitas sistem tenaga listrik. Untuk menjaga stabilitas tersebut salah satunya adalah dengan pemasangan kapasitor pada sistem distribusi tenaga listrik. Pemasangan kapasitor diharapkan mampu menekan rugi-rugi atau susut energi pada sistem distribusi tegangan menengah serta memperbaiki kualitas daya listrik yang meliputi profil tegangan dan faktor daya yang diinginkan.

Untuk menentukan letak kapasitor yang akan dipasang pada jaringan menggunakan faktor sensitifitas rugi-rugi. Dengan menggunakan cara ini akan dapat menentukan calon bus yang akan dipasang kapasitor dengan kapasitas tertentu, sehingga dapat mengurangi rugi-rugi pada jaringan distribusi tegangan menengah.[1]

2. Dasar Teori

Pada umumnya, hampir seluruh jaringan distribusi berstruktur radial. Dibandingkan dengan struktur jaringan yang lainnya, jaringan struktur radial memiliki kekhususan yang dapat dimanfaatkan untuk mempermudah pemecahan masalah-masalah dalam menganalisis jaringan radial. Kekhususan jaringan struktur radial adalah jaringan radial, hanya memiliki satu bus sebagai sumber daya, dan selanjutnya kita sebut sebagai bus sumber. Dan bus-bus lainnya didalam jaringan merupakan bus beban, berarti bahwa seluruh bus dalam sistem jaringan akan mempunyai arus injeksi.

Untuk jaringan distribusi hantaran udara tegangan menengah (SUTM), pada umumnya saluran relatif pendek, dan efek kapasitansi saluran dapat diabaikan, sehingga saluran dapat direpresentasikan sebagai impedansi seri.

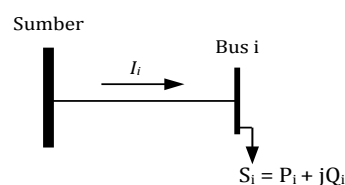


Gambar 1. Jaringan Distribusi Radial Sederhana [1]

2.1. Pengertian Arus Injeksi Pada Jaringan Distribusi Radial

Untuk sistem distribusi permodelan lebih mudah menggunakan berdasarkan arus injeksi [1]. Pada bus ke- i , beban kompleks S_i dinyatakan sebagai :

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



Gambar 2. Permodelan Arus Injeksi

Dan arus injeksi ekuivalen pada iterasi ke- k dari solusi adalah :

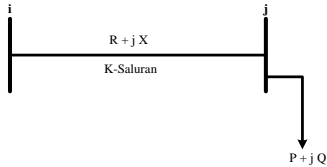
$$I_i^{(k)} = \left(\frac{P_i + jQ_i}{V_i^{(k)}} \right)^* \quad (2)$$

dimana :

- S_i = Beban kompleks pada bus ke- i
- P_i = Beban aktif pada bus ke- i
- Q_i = Beban reaktif pada bus ke- i
- $V_i^{(k)}$ = Tegangan bus ke- i pada iterasi ke- k
- $I_i^{(k)}$ = Arus bus ke- i pada iterasi ke- k

2.1. Faktor Sensitifitas Rugi-rugi

Untuk mendefinisikan untuk mengidentifikasi lokasi penempatan kapasitor pada sistem distribusi primer digunakanlah Faktor Sensitifitas Rugi-rugi. Faktor sensitifitas rugi-rugi mampu untuk memprediksi bus yang akan dipilih sebagai bus dimana kapasitor ditempatkan. Perhatikan saluran distribusi dengan $R + jX$ dan beban dari $P + jQ$ diantara bus i dan j seperti pada gambar di bawah ini.[1]



Gambar 3. Saluran Distribusi Dengan Impedansi dan Beban

Rugi-rugi daya aktif pada saluran dari gambar diatas diberikan oleh $[I^2]_k * [Rk]$, yang dapat juga dituliskan sebagai berikut :

$$P_{\text{rugi2}}[j] = \frac{(P^2[j] + Q^2[j] * R[k])}{(V[j])^2} \quad (3)$$

Dengan cara yang sama rugi-rugi daya reaktif pada k-saluran diberikan oleh

$$Q_{\text{rugi2}}[j] = \frac{(P^2[j] + Q^2[j] * X[k])}{(V[j])^2} \quad (4)$$

dimana :

P : Total daya aktif beban

Q : Total daya reaktif beban

Sekarang, Faktor Sensitifitas Rugi-rugi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\frac{\partial P_{\text{rugi2}}[j]}{\partial Q[j]} = \frac{(2 * Q[j] * R[k])}{(V[j])^2} \quad (5)$$

$$\frac{\partial Q_{\text{rugi2}}[j]}{\partial Q[j]} = \frac{(2 * Q[j] * X[k])}{(V[j])^2} \quad (6)$$

2.2. Pemilihan Calon Bus menggunakan Faktor Sensitifitas Rugi-rugi

Untuk Faktor Sensitifitas Rugi-rugi seperti yang diberikan pada persamaan (5) dapat diproses dengan teknik aliran daya pada sistem distribusi tegangan menengah. Nilai dari faktor sensitifitas rugi-rugi telah disusun pada urutan menurun dan nomor-nomor bus yang cocok akan disimpan dalam posisi vektor bus 'bpos[i]'. Urutan yang menurun (elemen dari vektor 'bpos[i]') akan menentukan urutan yang bus-busnya dipertimbangkan untuk dikompensasi daya reaktifnya. Pada bus-bus dari vektor 'bpos[i]' ini, besaran tegangan normal dihitung berdasarkan pertimbangan besaran tegangan seperti dibawah ini :

$$\text{norm}[i] = |V[i]| / 0.95 \quad (7)$$

norm[i] akan memutuskan apakah bus-bus membutuhkan kompensasi daya reaktif atau tidak. Bus-bus yang nilai norm[i] kurang dari 1.01 dapat dipilih sebagai calon bus-bus untuk penempatan kapasitor.[1]

2.2. Metodologi Penyelesaian Aliran Daya Sistem Distribusi Radial

Matrik-matrik BIBC dan BCBV dibentuk berdasarkan struktur topologi sistem distribusi. Matrik BIBC menyatakan hubungan antara injeksi arus bus dan arus cabang. Menyatakan variasi-variasi pada arus cabang yang didapatkan dari variasi-variasi injeksi arus bus dapat dihitung secara langsung oleh matrik BIBC Matrik.

Matrik BCBV menyatakan hubungan antara arus cabang dan tegangan bus. Menyatakan variasi-variasi pada tegangan bus yang diperoleh dengan variasi-variasi pada arus cabang dapat ditentukan secara langsung oleh matrik BCBV.[1]

Hubungan antara arus injeksi bus dan tegangan bus sebagai berikut :

$$[DLF] = BCBV[BIBC] \quad (8)$$

$$[\Delta V] = BCBV[BIBC][I]$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (9)$$

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

Dan penyelesaian aliran daya sistem distribusi radial dapat diperoleh dengan prosedur perhitungan secara iteratif sebagai berikut :

$$I_i^{(k)} = \left(\frac{P_i + j Q_i}{V_i^{(k)}} \right)^*$$

$$[DLF] = [BCBV][BIBC]$$

$$[\Delta V] = [DLF][I]$$

$$[V_i^{(k+1)}] = [V_1] - [\Delta V_i^{(k+1)}] \quad (10)$$

Aliran daya aktif dan daya reaktif diperoleh sebagai berikut :

$$P_{ij} = \text{real}[V_i \{(V_i - V_j) y_{ij}\}^*] \quad (11)$$

$$Q_{ij} = \text{imag}[V_i \{(V_i - V_j) y_{ij}\}^*] \quad (12)$$

Total rugi-rugi daya aktif yang terjadi pada jaringan dinyatakan :

$$P_{\text{Loss}} = \text{real}\{V_{ss} \sum_{j \in ss} [(V_{ss} - V_j) y_{ss,j}]^* - \sum_{j=1}^N PD_j\} \quad (13)$$

dimana :

DLF = Simbol perkalian matrik BIBC dan ACTB

$BIBC$ = Bus Injeksi ke Arus Cabang

$BCBV$ = Arus Cabang ke Tegangan Bus

S_{ij} = Daya kompleks yang mengalir dari bus ke-i ke bus ke-j

$V_i^{(k)}$ = Tegangan bus ke-i pada iterasi ke-k

V_i = Tegangan bus ke-i

V_j = Tegangan bus sumber

V_j = Tegangan bus ke-j

y_{ij} = Admitansi

P_{Loss} = Total rugi-rugi aktif pada jaringan

V_{ss} = Tegangan bus sumber (Gardu Hubung)

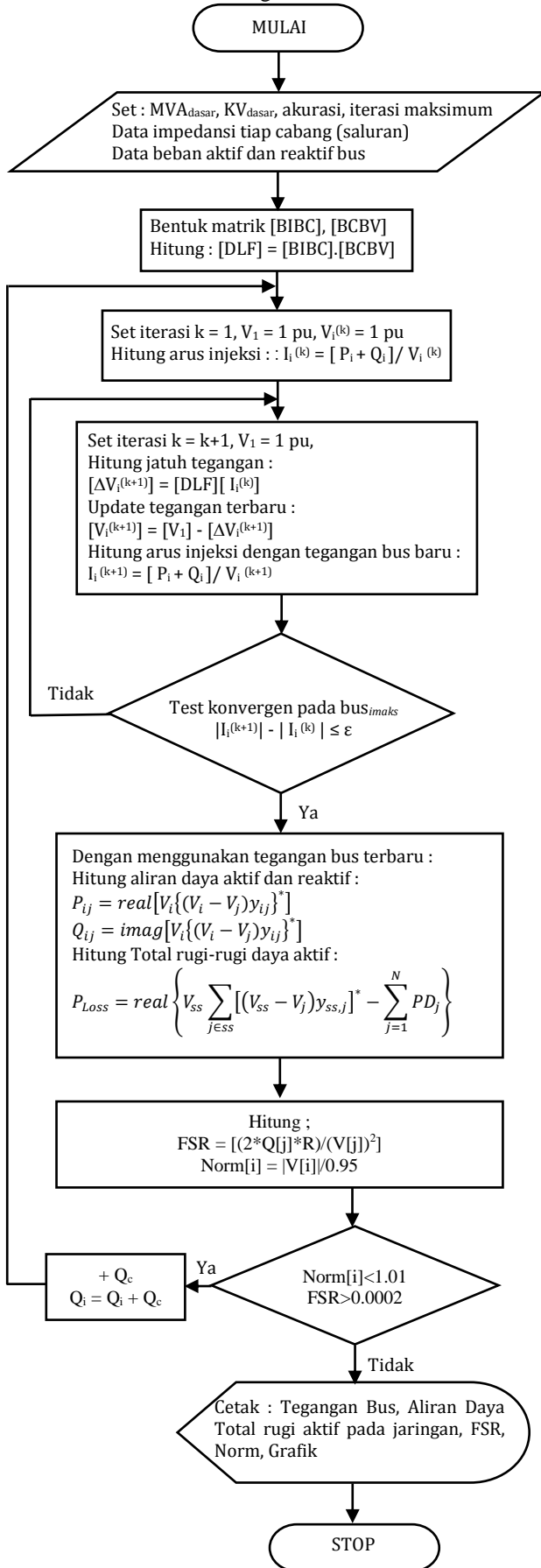
PD_j = Beban aktif pada bus ke-j

N = Jumlah bus

P_{Loss} = Total rugi daya aktif

2.3. Diagram Alir Analisis Aliran Daya Sistem Distribusi Radial

Diagram alir dari perhitungan iterasi aliran daya sistem distribusi radial sebagai berikut :

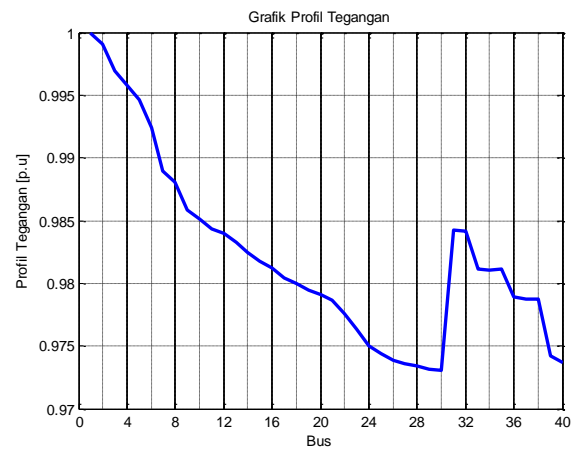


3. Analisis Aliran Daya Pada Penyulang 20KV PT. PLN (Persero) Ranting Rasau Jaya

Analisis aliran daya dilakukan pada penyulang Durian 1, penyulang Durian 2, penyulang Durian 3 dan penyulang Durian 4. Data-data yang digunakan bersumber dari PT. PLN (Persero) Ranting Rasau Jaya dan perhitungan menggunakan alat bantu perangkat lunak (*software*) matlab 7.04.

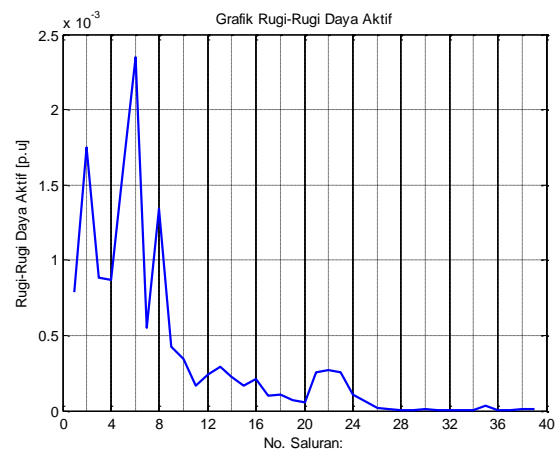
3.1. Hasil Analisis Aliran Daya Sebelum Pemasangan Kapasitor pada Penyulang Durian 1

Dengan menggunakan nilai tegangan dasar 20 KV, daya dasar 1 MVA, dan akurasi 0.00001. Tegangan setiap bus dari hasil eksekusi dari program perhitungan analisis aliran daya pada penyulang Durian 1 ditampilkan dalam gambar dibawah ini :



Gambar 4. Grafik profil tegangan sebelum pemasangan kapasitor penyulang durian 1

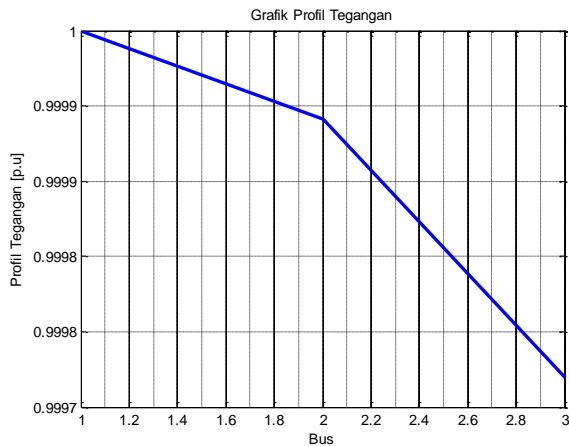
Rugi-rugi daya aktif sebelum pemasangan kapasitor pada penyulang Durian 1 ditampilkan ke dalam gambar dibawah ini :



Gambar 5. Grafik rugi-rugi daya aktif sebelum pemasangan kapasitor penyulang durian 1

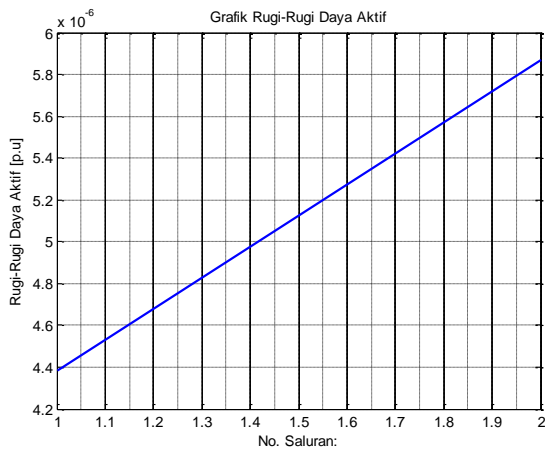
3.2. Hasil Analisis Aliran Daya Sebelum Pemasangan Kapasitor pada Penyulang Durian 2

Dengan menggunakan nilai tegangan dasar 20 KV, daya dasar 1 MVA, dan akurasi 0.00001. Tegangan setiap bus dari hasil eksekusi dari program perhitungan analisis aliran daya pada penyulang Durian 2 ditampilkan dalam gambar dibawah ini :



Gambar 6. Grafik profil tegangan sebelum pemasangan kapasitor pada penyulang durian 2

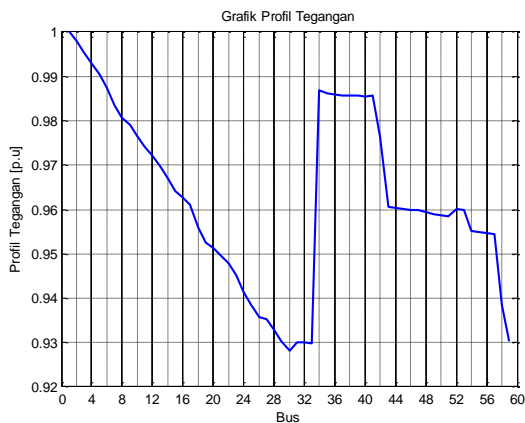
Rugi-rugi daya aktif sebelum pemasangan kapasitor pada penyulang Durian 2 ditampilkan ke dalam gambar dibawah ini :



Gambar 7. Grafik rugi-rugi daya aktif sebelum pemasangan kapasitor pada penyulang durian 2

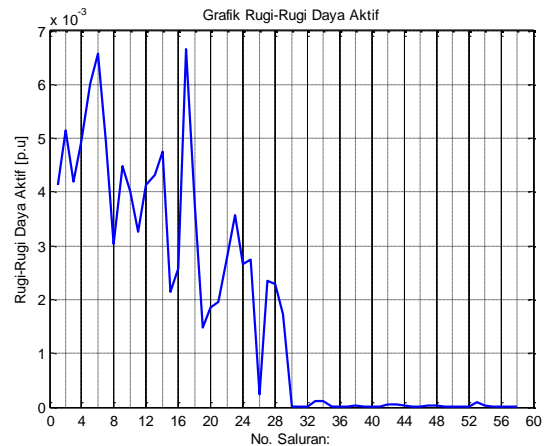
3.3. Hasil Analisis Aliran Daya Sebelum Pemasangan Kapasitor Pada Penyulang Durian 3

Dengan menggunakan nilai tegangan dasar 20 KV, daya dasar 1 MVA, dan akurasi 0.00001. Tegangan setiap bus dari hasil eksekusi dari program perhitungan analisis aliran daya pada penyulang Durian 3 ditampilkan ke dalam gambar dibawah ini :



Gambar 8. Grafik profil tegangan sebelum pemasangan kapasitor pada penyulang durian 3

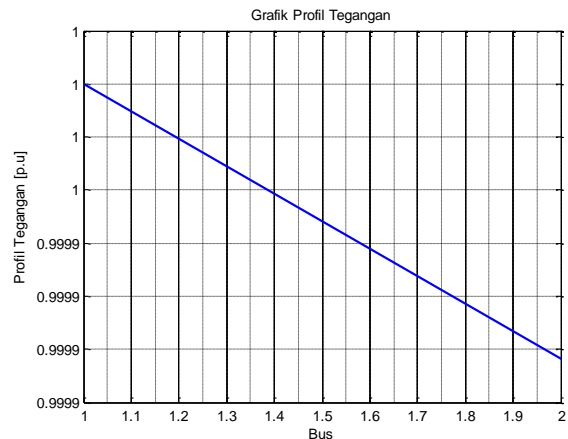
Rugi-rugi daya aktif sebelum pemasangan kapasitor pada penyulang Durian 3 ditampilkan ke dalam gambar dibawah ini :



Gambar 9. Grafik rugi-rugi daya aktif sebelum pemasangan kapasitor pada penyulang durian 3

3.4. Hasil Analisis Aliran Daya Sebelum Pemasangan Kapasitor pada Penyulang Durian 4

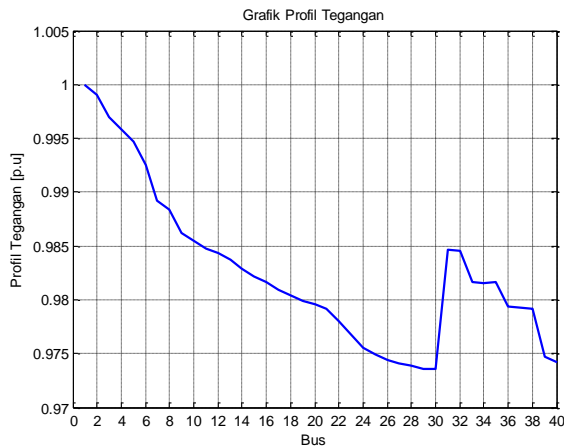
Dengan menggunakan nilai tegangan dasar 20 KV, daya dasar 1 MVA, dan akurasi 0.00001. Tegangan setiap bus dari hasil eksekusi dari program perhitungan analisis aliran daya pada penyulang Durian 4 ditampilkan ke dalam gambar dibawah ini :



Gambar 10. Grafik profil tegangan sebelum pemasangan kapasitor pada penyulang durian 4

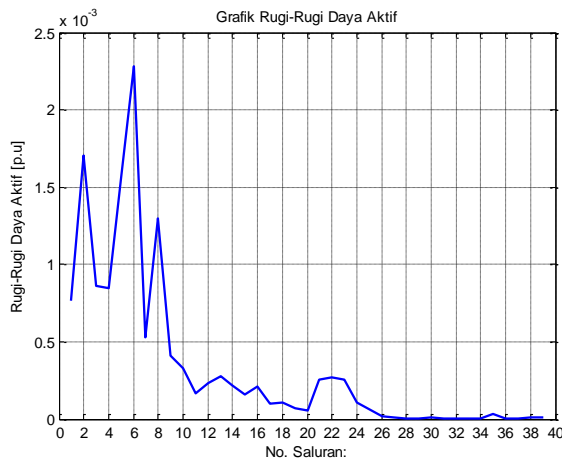
3.5. Hasil Analisis Aliran Daya Setelah Pemasangan Kapasitor Pada Penyulang Durian 1

Dengan menggunakan nilai tegangan dasar 20 KV, daya dasar 1 MVA, dan akurasi 0.00001. Tegangan setiap bus dari hasil eksekusi dari program perhitungan analisis aliran daya pada penyulang Durian 1 ditampilkan ke dalam gambar dibawah ini :



Gambar 11. Grafik profil tegangan setelah pemasangan kapasitor pada penyulang durian 1

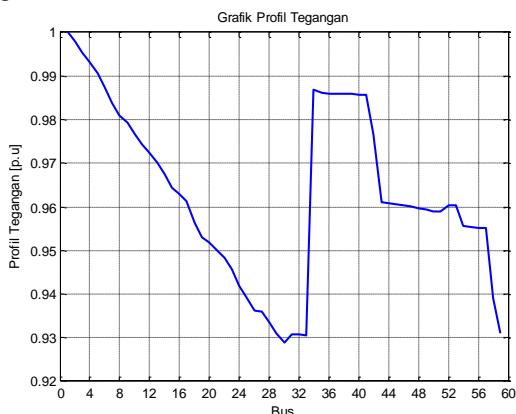
Rugi-rugi daya aktif sebelum pemasangan kapasitor pada penyulang Durian 1 ditampilkan ke dalam gambar dibawah ini :



Gambar 12. Grafik rugi-rugi daya setelah pemasangan kapasitor pada penyulang durian 1

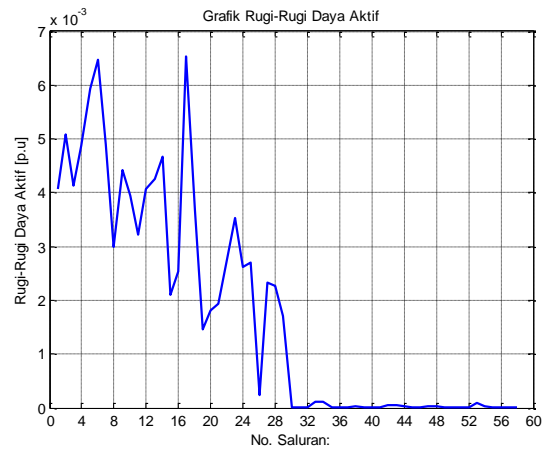
3.6. Hasil Analisis Aliran Daya Setelah Pemasangan Kapasitor Pada Penyulang Durian 3

Dengan menggunakan nilai tegangan dasar 20 KV, daya dasar 1 MVA, dan akurasi 0.00001. Tegangan setiap bus dari hasil eksekusi dari program perhitungan analisis aliran daya pada penyulang Durian 3 ditampilkan ke dalam gambar dibawah ini :



Gambar 11. Grafik profil tegangan setelah pemasangan kapasitor pada penyulang durian 1

Rugi-rugi daya aktif sebelum pemasangan kapasitor pada penyulang Durian 3 ditampilkan ke dalam gambar dibawah ini :



Gambar 12. Grafik rugi-rugi daya setelah pemasangan kapasitor pada penyulang durian 1

3.7. Diskusi Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan sebelum dilakukan pemasangan kapasitor pada penyulang durian 1 daya aktif yang dibangkitkan dari Gardu Hubung sebesar 1140.88528 kW, total daya aktif beban sistem sebesar 1127.270 kW, sehingga rugi-rugi daya aktif pada penyulang durian 1 sebesar 13.61528 kW. Pada penyulang Durian 2 daya aktif yang dibangkitkan dari Gardu Hubung sebesar 98.80025 kW, total daya aktif beban sebesar 98.790 kW, sehingga rugi-rugi daya aktif pada penyulang Durian 2 sebesar 0.01025 kW. Pada penyulang Durian 3 daya aktif yang dibangkitkan dari Gardu Hubung sebesar 2594.61888 kW, total daya aktif beban sebesar 2491.220 kW, sehingga rugi-rugi daya aktif pada penyulang durian 3 sebesar 103.39888 kW. Pada penyulang Durian 4 daya aktif yang dibangkitkan dari Gardu Hubung sebesar 19.69154 kW, total daya aktif beban sebesar 19.690 kW, sehingga rugi-rugi daya aktif pada penyulang Durian 4 sebesar 0.00154 kW. Berdasarkan faktor sensitifitas rugi-rugi daya dengan asumsi batasan sebesar 0.00020 maka yang memiliki faktor sensitifitas rugi-rugi daya yang lebih besar dari batasan asumsi terdapat pada penyulang Durian 1 dan penyulang Durian 3. Dimana pada penyulang Durian 1 terletak pada bus 31 dan 35, sedangkan pada penyulang Durian 3 terletak pada bus 30 dan 54. Dimana bus-bus tersebut merupakan tempat pemasangan kapasitor.

Tabel 1. Perbandingan rugi-rugi daya aktif sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor pada penyulang durian 1

Pemasangan Kapasitor di Bus		Rugi-Rugi Daya Aktif Saluran		Pengurangannya (kW)	Dalam (%)
31 [kVAr]	35 [kVAr]	Tanpa Kapasitor (kW)	Dengan Kapasitor (kW)		
5	5	13.61	13.49	0.11	0.86
10	10	13.61	13.38	0.23	1.71
15	15	13.61	13.26	0.34	2.54
20	20	13.61	13.15	0.45	3.36
25	25	13.61	13.04	0.56	4.16

35	35	13.61	12.83	0.77	5.72
50	50	13.61	12.53	1.07	7.93
60	60	13.61	12.34	1.26	9.32
100	100	13.61	11.67	1.94	14.25

Tabel 2. Perbandingan rugi-rugi daya aktif sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor pada penyulang durian 3

Pemasangan Kapasitor di Bus		Rugi-Rugi Daya Aktif Saluran		Pengurangannya (kW)	Dalam (%)
30 [kVAR]	54 [kVAR]	Tanpa Kapasitor (kW)	Dengan Kapasitor (kW)		
5	5	103.39	102.92	0.47	0.45
10	10	103.39	102.45	0.94	0.91
15	15	103.39	101.99	1.40	1.36
20	20	103.39	101.53	1.86	1.81
25	25	103.39	101.07	2.32	2.24
35	35	103.39	100.17	3.22	3.12
50	50	103.39	98.84	4.55	4.40
60	60	103.39	97.97	5.41	5.24
100	100	103.39	94.66	8.72	8.44

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisa aliran daya pada penyulang Durian 1, Penyulang Durian 2, Penyulang Durian 3 dan Penyulang Durian 4 PT. PLN (Persero) Ranting Rasau Jaya, maka dapat disimpulkan :

1. Perhitungan analisa aliran daya dilakukan dengan metode yang kokoh dan efisien serta memerlukan memori yang kecil dan proses perhitungan yang cepat.
2. Pengujian program dengan menggunakan sistem distribusi radial 33 Bus pada jurnal M. Damodar Reddy dan N.V. Vijaya Kumar hasil rugi-rugi daya aktifnya sama besar yaitu 369.25 kW sebelum pemasangan kapasitor dan 297.98 kW setelah pemasangan kapasitor.
3. Berdasarkan faktor sensitifitas rugi-rugi yang besar dari 0.0002 maka ada 2 penyulang yang dipasang kapasitor, yaitu penyulang durian 1 pada bus 31 dan bus 35, penyulang durian 3 pada bus 30 dan bus 54.
4. Dengan pemasangan kapasitor pada bus 31 dan bus 35 di penyulang durian 1 rugi-rugi daya berkurang yang mana sebelum pemasangan kapasitor rugi-rugi daya sebesar 13.61 kW dan setelah pemasangan kapasitor sebesar 15 kVAR, rugi-rugi daya berkurang menjadi 13.26 kW, sehingga pengurangan rugi-rugi daya sebesar 0.35 kW.
5. Dengan pemasangan kapasitor pada bus 30 dan bus 54 di penyulang durian 3 rugi-rugi daya berkurang yang mana sebelum pemasangan kapasitor rugi-rugi daya sebesar 103.39 kW dan setelah pemasangan kapasitor sebesar 15 kVAR rugi-rugi daya berkurang menjadi 101.99 kW, sehingga pengurangan rugi-rugi daya sebesar 1.40 kW.

Referensi

- [1] Singh, Amritpal. 2010. *Loss Minimization in High Voltage Distribution System by Capacitor Placement Using Genetic Algorithm*. Patiala : Thapar University
- [2] Thakur, T. and Dhiman Jaswanti, 2006. *A New Approach to Load Flow Solutions for Radial Distribution System*. IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America. Venezuela.
- [3] Zhu, Jizhong. 2009. *Optimization Of Power System Operation*. Canada : John Wiley and Sons.
- [4] Saadat, Hadi. *Power System Analysis*. New York : McGraw-Hill Book Company, 1999.
- [5] Gonen, Turan. *Modern Power System Analysis*. Canada : Jhon Wiley and Sons, 1988.
- [6] Reddy, M. Damodar dan Kumar, N. V. Vijaya. 2012. *Optimal Capacitor Placement For Loss Reduction In Distribution Systems Using Fuzzy and Harmony Search Algorithm*. Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol.7, No. 1. India : University Tirupati
- [7] Rao, Sankara Gowri R et al. 2011. *Loss Minimization In Radial Distribution System : A Two Stage Method*. International Journal of Engineering Science And Technology. Vol.3, no.5.
- [8] Natarajan, R. 2005. *Power System Capacitors*. Taylor dan Francis Group.
- [9] Rao, Srinivasa dan Narasimham. 2008. *Optimal Capacitor Placement in a Radial Distribution System using Plant Growth Simulation Algorithm*. Journal of Electrical and Electronics Engineering 2:10.

Biografi

Adrianus Dri, lahir di Punti, pada tanggal 6 Juli 1989. Menempuh Pendidikan Program Strata I (S1) di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sejak tahun 2008. Penelitian ini diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro konsentrasi Teknik Tenaga Listrik Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.