

Penentuan Kapasitas dan Lokasi Optimal Penempatan Kapasitor Bank Pada Penyulang Rijali Ambon Menggunakan Sistem *Fuzzy*

Hamles Leonardo Latupeirissa, Agus Naba dan Erni Yudaningtyas

Abstrak—Penelitian ini bertujuan untuk dan menentukan kapasitas dan lokasi optimal kapasitor pada penyulang Rijali kota Ambon menggunakan sistem fuzzy. Hasil penelitiannya sebagai berikut, pertama studi aliran daya pada penyulang Rijali, tegangan paling rendah terjadi pada bus 21 yakni 0,948 pu atau 18,96 kV. Kedua, letak kapasitor yang optimal pada Bus 3 dengan sensitivitas bus 0,61 himpunan “tinggi”, Bus 5 dengan sensitivitas bus 0,60 himpunan “tinggi”, Bus 14 dengan sensitivitas bus 0,69 himpunan “tinggi” dan Bus 20 dengan sensitivitas bus 0,92 himpunan “sangat tinggi”. Ketiga, Berdasarkan hasil perhitungan rating kapasitor sebagai kompensasi, maka rating kapasitor yang terpasang sebesar 3 MVAR. Keempat, setelah kompensasi, profil tegangan pada semua node penyulang Rijali bertambah baik, untuk node 21 menjadi 0,960 pu atau 19,18 kV mengalami kenaikan sebesar 0,12 pu atau 1,2 %. Kelima, Besar rugi daya aktif terjadi penurunan sebesar 150,421 kW dari 821,943 kW menjadi 671,522 kW atau sebesar 18,3 %. Hasil pemasangan kapasitor pada jaringan distribusi primer penyulang Rijali kota Ambon, didapatkan jatuh tegangan sebesar $\pm 4\%$. Dengan membandingkan batas toleransi tegangan yang diijinkan yaitu $\pm 5\%$, maka dapat diasumsikan tegangan telah dapat diperbaiki dan sesuai ketentuan.

Kata Kunci—Kapasitas, Lokasi optimal, Kapasitor, dan Sistem Fuzzy.

I. PENDAHULUAN

SALAH satu persyaratan keandalan sistem penyaluran tenaga listrik yang harus dipenuhi untuk pelayanan kepada konsumen adalah tegangan yang stabil. Meskipun kelangsungan catu daya dapat dipertahankan, namun belum tentu dapat mempertahankan kestabilan tegangan pada sistem distribusi, karena tegangan jatuh dapat terjadi pada semua bagian sistem dan akan berubah dengan adanya perubahan beban.[1] Pada dasarnya, saat beban puncak, daya reaktif yang dibutuhkan beban meningkat dan dapat lebih besar dari yang dibangkitkan oleh sistem.

H.L. Latupeirissa adalah pengajar pada Politeknik Negeri Ambon, dan sebagai mahasiswa Program Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang (e-mail : hamlesleonardo@rocketmail.com),

A. Naba adalah staf dosen pada jurusan Fisika, Fakultas MIPA Universitas Brawijaya, Malang (e-mail : agusnaba@gmail.com)

E. Yudaningtyas adalah staf dosen pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang (e-mail : erni_yudaningtyas@yahoo.co.id).

Apabila suatu jaringan tidak memiliki sumber daya reaktif di daerah sekitar beban, maka semua kebutuhan beban reaktifnya dipikul oleh pembangkit, sehingga akan mengalir arus reaktif pada jaringan. Apabila kebutuhan ini cukup besar maka arus yang mengalir di jaringan juga semakin besar yang akan berakibat faktor dayanya menurun, susut daya besar, jatuh tegangan pada ujung saluran meningkat. Untuk mensuplai daya reaktif pada sistem distribusi, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menginjeksi daya reaktif pada sistem. Injeksi daya reaktif dapat berupa penambahan kapasitor *bank* pada titik (*nude*) yang lemah. Penambahan daya reaktif pada sistem memungkinkan diperolehnya perbaikan pada sistem, berupa profil tegangan yang baik dan rugi daya yang lebih kecil. [1]

Penyulang Rijali dengan panjang saluran 11,262 km merupakan salah satu penyulang yang mempunyai beban puncak yang cukup besar di PT. PLN (Persero) Cabang Ambon dibandingkan 17 penyulang lainnya. Data pembebanan penyulang Rijali menunjukkan bahwa daya yang terserap pada saat beban puncak sebesar 7,94 MW dari 11,5 MW kapasitas daya terpasang. Data juga menunjukkan akibat adanya daya reaktif yang cukup besar (7,3 MVAR), mengakibatkan jatuh tegangan pada ujung penyulang, diantaranya bus 21 (0,948 pu atau 5,2%) dan bus 20, 22, 23 dan 24 (0,949 pu atau 5,1%).[2] Akibat kekurangan pasokan daya reaktif yang cukup besar, sehingga ditempuh kebijakan pemadaman bergilir dengan durasi 2-3 jam. Hal tersebut sangat berdampak pada seluruh aktifitas masyarakat Kota Ambon. Keadaan pembebanan yang demikian, tentu diperlukan upaya-upaya agar rugi-rugi di jaringan dapat sekecil mungkin. Upaya tersebut adalah dengan mengkompensasikan kapasitor di penyulang Rijali.

II. DASAR TEORI

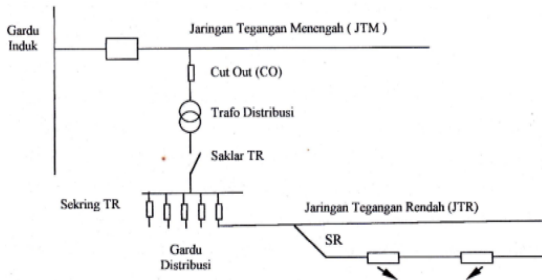
A. Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik sampai ke konsumen. Sebuah sistem distribusi tenaga listrik, dapat di lihat dalam Gambar 1.

B. Daya Reaktif dan Faktor Daya

Setiap pemakaian daya reaktif akan menyebabkan turunnya faktor daya. Hal ini kemudian menyebabkan terganggunya kinerja peralatan-peralatan sistem pada

umumnya, baik dari segi teknik operasional maupun segi ekonomisnya.



Gambar 1 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah (SR). [3]

Faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata dan daya semunya. [4]

$$Faktor\ Daya = \frac{Daya\ Nyata\ (kW)}{Daya\ Aktif\ (kVA)} \quad (1)$$

Faktor daya terdiri atas dua sifat yaitu faktor daya *leading* dan faktor daya *lagging*. Faktor daya ini memiliki karakteristik seperti berikut :

- *Faktor Daya Leading*. Apabila arus mendahului tegangan, maka faktor daya ini dikatakan *leading*. Faktor daya *leading* ini terjadi apabila bebannya kapasitif, seperti *capacitor*, *synchronoc generators*, *synchronoc motors* dan *synchronoc condensor*.
- *Faktor Daya Lagging*. Apabila tegangan mendahului arus, maka faktor daya ini dikatakan “*lagging*”. Faktor daya *lagging* ini terjadi apabila bebannya induktif, seperti *motor induksi*, AC dan *transformator*.

C. Perbaikan Tegangan

Pemakaian kapasitor shunt dalam sistem tenaga listrik selain untuk perbaikan faktor daya, juga bertujuan menaikan tegangan.

Kerugian tegangan disebabkan arus beban I sebelum kapasitor dipasang :[5]

$$E = I_R R + I_X X_L \quad (2)$$

Kerugian tegangan setelah kapasitor dipasang :

$$E = I_R R + I_X X_L - I_C X_L \quad (3)$$

D. Perbaikan Faktor Daya

Manfaat terbesar yang diperoleh dari perbaikan faktor daya berasal dari pengurangan daya reaktif dalam sistem. Hal ini menghasilkan pengurangan biaya pemakaian daya yang lebih rendah, kenaikan kapasitas sistem, perbaikan tegangan dan pengurangan *losses* dalam sistem. Satu-satunya jalan untuk memperbaiki faktor daya adalah mengurangi daya reaktif di jaringan. Jika komponen daya reaktif dapat dikurangi, maka total arus akan berkurang, sedang komponen daya aktif tidak berubah, maka faktor daya akan lebih besar sebagai akibat berkurangnya daya reaktif.

E. Koreksi Daya Reaktif Metode Tabel Kompensasi

Untuk menghitung besarnya daya reaktif dapat dilakukan melalui tabel kompensasi, tabel ini menyajikan suatu data dengan input faktor daya mula-mula sebesar Cos φ₁ dan faktor daya yang diinginkan Cos φ₂ maka besarnya faktor pengali dapat dilihat melalui tabel kompensasi. Data tabel kompensasi dapat

dilihat dalam Tabel I.

F. Logika Fuzzy

TABEL I
KOMPENSASI Cos φ [6]

Cos φ Sebelum	Kompensasi																		
	Cos φ Setelah																		
0.50	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1			
0.51	1.11	1.14	1.17	1.19	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	1.37	1.40	1.44	1.48	1.53	1.59	1.73			
0.52	1.07	1.09	1.12	1.14	1.17	1.20	1.23	1.26	1.29	1.32	1.36	1.39	1.44	1.48	1.54	1.69			
0.53	1.02	1.05	1.05	1.10	1.13	1.16	1.19	1.22	1.25	1.28	1.31	1.35	1.39	1.44	1.50	1.64			
0.54	0.98	1.01	1.08	1.06	1.09	1.12	1.14	1.17	1.20	1.24	1.27	1.31	1.35	1.40	1.46	1.60			
0.54	0.94	0.97	1.00	1.02	1.05	1.08	1.10	1.13	1.16	1.20	1.23	1.27	1.31	1.36	1.42	1.56			
0.55	0.90	0.93	0.96	0.98	1.01	1.03	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.23	1.27	1.32	1.38	1.52			
0.56	0.86	0.89	0.95	0.94	0.97	1.00	1.02	1.05	1.08	1.12	1.15	1.19	1.23	1.28	1.34	1.48			
0.57	0.82	0.85	0.91	0.90	0.93	0.96	0.99	1.02	1.05	1.08	1.11	1.15	1.19	1.24	1.30	1.44			
0.58	0.78	0.81	0.87	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	1.01	1.04	1.08	1.11	1.15	1.20	1.26	1.40			
0.59	0.75	0.78	0.84	0.83	0.86	0.88	0.91	0.94	0.97	1.01	1.04	1.08	1.12	1.17	1.23	1.37			
0.60	0.71	0.74	0.80	0.79	0.82	0.85	0.88	0.91	0.94	0.97	1.00	1.04	1.08	1.13	1.19	1.33			
0.61	0.68	0.71	0.77	0.76	0.79	0.81	0.84	0.87	0.90	0.94	0.97	1.01	1.05	1.10	1.16	1.30			
0.62	0.65	0.67	0.73	0.72	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.90	0.94	0.97	1.01	1.06	1.12	1.27			
0.63	0.61	0.64	0.70	0.69	0.72	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.90	0.94	0.98	1.03	1.09	1.23			
0.64	0.58	0.61	0.67	0.66	0.69	0.72	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.91	0.95	1.00	1.06	1.20			
0.65	0.55	0.58	0.64	0.63	0.66	0.69	0.71	0.74	0.77	0.81	0.84	0.88	0.92	0.97	1.03	1.17			
0.66	0.52	0.54	0.60	0.60	0.63	0.65	0.68	0.71	0.74	0.77	0.81	0.85	0.89	0.94	1.00	1.14			
0.67	0.49	0.51	0.57	0.57	0.60	0.62	0.65	0.68	0.71	0.75	0.78	0.82	0.86	0.90	0.96	1.10			
0.68	0.46	0.48	0.54	0.54	0.57	0.59	0.62	0.65	0.68	0.72	0.75	0.79	0.83	0.88	0.94	1.08			
0.69	0.43	0.46	0.51	0.51	0.54	0.56	0.59	0.62	0.65	0.68	0.72	0.76	0.80	0.85	0.91	1.05			
0.70	0.40	0.43	0.48	0.48	0.51	0.54	0.56	0.59	0.62	0.66	0.69	0.73	0.77	0.82	0.88	1.02			
0.71	0.37	0.40	0.43	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.63	0.66	0.70	0.74	0.79	0.85	0.99			
0.72	0.34	0.37	0.40	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.63	0.67	0.71	0.76	0.82	0.96			
0.73	0.32	0.34	0.37	0.40	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.61	0.64	0.69	0.73	0.79	0.94			
0.74	0.29	0.32	0.34	0.37	0.40	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.61	0.65	0.70	0.76	0.90			
0.75	0.26	0.29	0.32	0.34	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.52	0.55	0.59	0.63	0.68	0.74	0.88			
0.76	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.56	0.60	0.65	0.71	0.86			
0.77	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.34	0.37	0.40	0.43	0.46	0.50	0.54	0.58	0.63	0.69	0.83			
0.78	0.18	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.44	0.47	0.51	0.55	0.60	0.66	0.80			
0.79	0.16	0.18	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.45	0.48	0.53	0.57	0.63	0.78			
0.80	0.13	0.16	0.18	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.50	0.55	0.61	0.75			
0.81	0.10	0.13	0.16	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	0.33	0.36	0.40	0.43	0.47	0.52	0.58	0.72			
0.82	0.08	0.10	0.13	0.16	0.19	0.21	0.24	0.27	0.30	0.34	0.37	0.41	0.45	0.49	0.56	0.70			
0.83	0.05	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34	0.38	0.42	0.47	0.53	0.67			
0.84	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.22	0.25	0.28	0.32	0.35	0.40	0.44	0.50	0.65			
0.85	0	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.22	0.26	0.29	0.33	0.37	0.42	0.48	0.62			
0.86	0	0	0.03	0.06	0.08	0.11	0.13	0.17	0.20	0.23	0.26	0.30	0.34	0.39	0.45	0.59			
0.87	0	0	0	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.17	0.20	0.23	0.28	0.32	0.36	0.42	0.57			
0.88	0	0	0	0	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.18	0.21	0.25	0.29	0.34	0.40	0.54			
0.89	0	0	0	0	0	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.22	0.26	0.31	0.37	0.51			
0.90	0	0	0	0	0	0	0.03	0.06	0.09	0.12	0.16	0.19	0.23	0.28	0.34	0.48			

Himpunan Fuzzy. Pada himpunan tegas (*crisp*), nilai keanggotaan suatu item x dalam suatu himpunan A, yang sering ditulis dengan μ_A(x), memiliki 2 kemungkinan, yaitu :[8]

- Satu (1), yang berarti bahwa suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan, atau
- Nol (0), yang berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan.

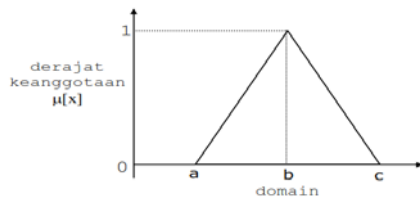
Kalau pada himpunan *crisp*, nilai keanggotaan hanya ada 2 kemungkinan, yaitu 0 atau 1, pada himpunan *fuzzy* nilai keanggotaan terletak pada rentang 0 sampai 1. Apabila x memiliki nilai keanggotaan *fuzzy* μ_A(x)=0 berarti x tidak menjadi anggota himpunan A, demikian pula apabila x memiliki nilai keanggotaan *fuzzy* μ_A(x)=1 berarti x menjadi anggota penuh pada himpunan A.

Himpunan *fuzzy* memiliki 2 atribut, yakni :[7]

- Linguistik, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami.
- Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel.

Fungsi Keanggotaan Himpunan Fuzzy. Untuk menyatakan tingkat keanggotaan dari tiap penyokong dalam himpunan *fuzzy* digunakan fungsi keanggotaan (*membership function*). Fungsi keanggotaan mengkarakteristikan tiap himpunan *fuzzy* sedemikian rupa sehingga setiap penyokong mempunyai nilai keanggotaan dalam interval [0:1]. Jenis keanggotaan bisa berbentuk fungsi Z, fungsi S, fungsi π, fungsi trapesium, dan fungsi segitiga. Dua jenis fungsi keanggotaan terakhir (trapesium dan segitiga) mempunyai sifat kesedehanaan dalam menentukan derajat keanggotaan.

Representasi Kurva Segitiga. Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (linear) seperti terlihat dalam Gambar 2.

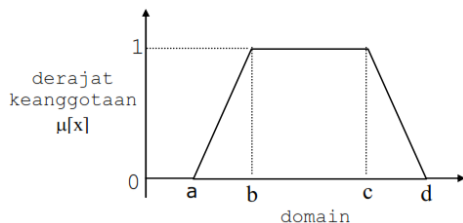


Gambar 2 Kurva Segitiga. [7]

Fungsi keanggotaan :[7]

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ (b-x)/(c-b); & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (4)$$

Representasi Kurva Trapesium. Kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 (Gambar 3).



Gambar 2 Kurva Trapesium [7].

Fungsi keanggotaan [7] :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ (d-x)/(d-c); & x \geq c \end{cases} \quad (5)$$

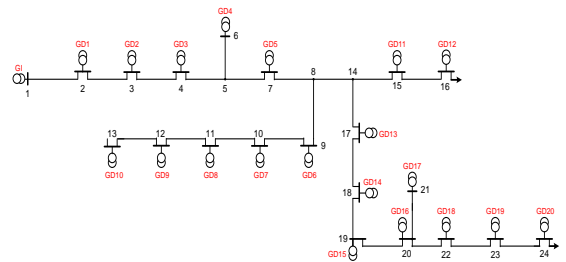
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Penyulang Rijali . Penyulang Rijali merupakan salah satu penyulang (*feeder*) pada sistem kelistrikan kota Ambon yang dicatu dari gardu induk (GI) Hative Kecil yang memiliki panjang penghantar 11,226 km dan sebuah trafo daya (*step-up*), melayani 23 trafo distribusi dengan daya terpasang 11,5 MVA. Daya listrik pada penyulang ini, dicatu dari gardu induk (GI) Hative Kecil dengan tegangan 20 kV.

Single Diagram. Untuk menyelesaikan perhitungan aliran daya, terlebih dahulu ditetapkan diagram satu garis yang akan dianalisis. Selanjutnya *node-node* yang ada diklasifikasikan, yaitu *busbar* GI Hative Kecil diasumsikan sebagai *slack bus*, sedangkan *node-node* yang lain sepanjang saluran dipandang sebagai *load bus*. Dalam hal ini tidak ada *bus* generator, karena sepanjang saluran tidak terdapat pembangkitan. *Single Line Diagram* Penyulang Rijali dapat dilihat dalam Gambar 4.

Data Saluran. Sistem penyulang Rijali menggunakan kabel penghantar tipe AAAC (*All Aluminium Alloy Chopper*) atau kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium berdiameter 120 mm² dan 150 mm² (Tabel II). Data panjang dan impedansi saluran penyulang Rijali, dapat dilihat dalam Tabel III.



Gambar 4 Single Line Diagram Penyulang Rijali. [2]

TABEL II
DATA JENIS PENGHANTAR PENYULANG RIJALI

Jenis Penghantar (mm ²)	Jari ² (mm)	Urut (pcs)	Impedansi Urutan Positif (Ω/km)	Impedansi Urutan Nol (Ω/km)	KHA (amp)
AAAC 120	6,179	19	0,2688+j0,338	0,4168+j1,632	390
AAAC 150	6,908	19	0,2162+j0,331	0,3631+j1,618	425

TABEL III
DATA IMPEDANSI DAN PANJANG SALURAN

No. Sal.	Dari Node	Ke Node	Panjang (m)	R (Ω)	X (Ω)
1	1	2	0,305	0,065941	0,100803
2	2	3	0,600	0,129720	0,198300
3	3	4	0,471	0,101830	0,155666
4	4	5	0,570	0,123234	0,188385
5	5	6	0,259	0,069619	0,087438
6	5	7	0,145	0,031349	0,047923
7	7	8	0,342	0,073940	0,113031
8	8	9	0,800	0,172960	0,264400
9	9	10	0,650	0,140530	0,214825
10	10	11	0,650	0,140530	0,214825
11	11	12	0,650	0,140530	0,214825
12	12	13	0,650	0,140530	0,214825
13	8	14	0,616	0,133179	0,203588
14	14	15	0,189	0,040862	0,062465
15	15	16	0,509	0,110046	0,168225
16	14	17	0,560	0,121072	0,185080
17	17	18	0,515	0,111343	0,170208
18	18	19	0,195	0,042073	0,064315
19	19	20	1,003	0,216849	0,331492
20	20	21	0,200	0,053760	0,067520
21	20	22	0,630	0,136206	0,208215
22	22	23	0,578	0,124964	0,191029
23	23	24	0,175	0,037835	0,057838

B. Perhitungan Penempatan Kapasitor

Aliran Daya Sebelum Kompensasi. Perhitungan diawali dengan menampilkan bentuk matriks admittans dari *single line diagram* penyulang. Jumlah bus dan saluran penyulang adalah :

TABEL IV
JUMLAH BUS DAN SALURAN PENYULANG RIJALI

Slack Bus	Load Bus	Jumlah Saluran
1	23	23

Setelah melakukan analisis dengan menggunakan metode Gauss Siedel Z_{bus} , maka diperoleh nilai tegangan *node*, nilai rugi-rugi saluran, dan jumlah rugi total saluran (Tabel V dan VI).

TABEL V
TEGANGAN BUS SEBELUM KOMPENSASI

No.Node	Tegangan (pu)	
	re	im
1	1,000	0,000i
2	0,997	-0,001i
3	0,990	-0,002i
4	0,985	-0,004i
5	0,979	-0,005i
6	0,979	-0,005i
7	0,977	-0,005i
8	0,974	-0,005i
9	0,973	-0,006i
10	0,973	-0,007i
11	0,972	-0,007i
12	0,972	-0,007i
13	0,972	-0,007i
14	0,968	-0,008i
15	0,968	-0,008i
16	0,967	-0,008i
17	0,963	-0,009i
18	0,959	-0,010i
19	0,957	-0,010i
20	0,949	-0,012i
21	0,948	-0,012i
22	0,949	-0,012i
23	0,949	-0,012i
24	0,949	-0,012i

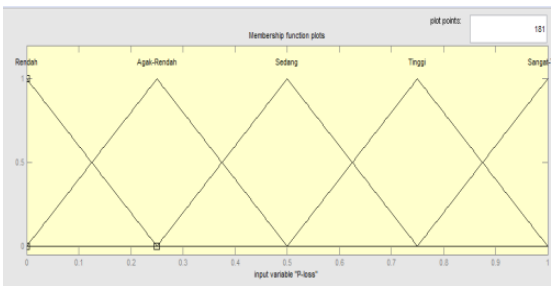
TABEL VI
RUGI DAYA SALURAN SEBELUM KOMPENSASI

No. Saluran	Rugi Saluran (kW)	
	re	im
1	34,234	-19,589i
2	130,669	-75,133i
3	79,322	-45,889i
4	114,379	-66,405i
5	0,003	-0,001i
6	7,245	-4,241i
7	38,571	-22,756i
8	2,076	-0,857i
9	0,574	-0,195i
10	0,407	-0,151i
11	0,304	-0,129i
12	0,012	-0,001i
13	101,465	-61,930i
14	0,123	-0,066i
15	0,183	-0,106i
16	65,891	-40,870i
17	52,834	-32,965i
18	7,130	-4,493i
19	183,986	-117,523i
20	2,359	-2,326i
21	0,143	-0,023i
22	0,031	-0,002i
23	0,001	-0,000i

C. Sistem Fuzzy

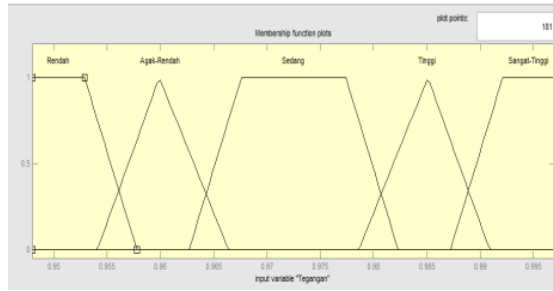
Pemilihan Variabel *In-put* dan *Out-put*, adalah :

- Variabel *in-put* P Loss Index



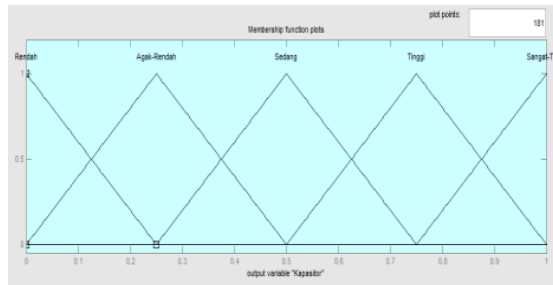
Gambar 5 Variabel Linguistik Input P Losses Index

- Variabel *in-put* Tegangan



Gambar 6 Variabel Linguistik Input Tegangan

- Variabel *out-put* Penempatan Kapasitor



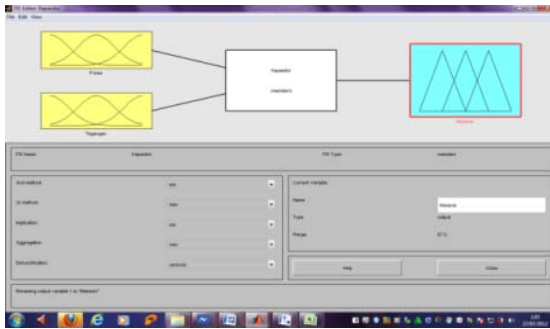
Gambar 7 Variabel Out-put Penempatan Kapasitor

Aturan Kontrol Fuzzy. Setelah variabel *in-put* dan *out-put* diketahui, proses selanjutnya menetapkan basis aturan (*rule*). Aturan fuzzy tersebut dapat dilihat pada Tabel VII. Sedangkan *Rule Viewer* kapasitor dapat dilihat dalam Gambar 8.

TABEL VII
ATURAN KONTROL Fuzzy

No Rule	If Power Loss Index	And Voltage	Then Capacitor Placement Suitability
1	Rendah	Rendah	Agak Rendah
2	Rendah	Agak Rendah	Agak Rendah
3	Rendah	Sedang	Agak Rendah
4	Rendah	Tinggi	Rendah
5	Rendah	Sangat Tinggi	Rendah
6	Agak Rendah	Rendah	Sedang
7	Agak Rendah	Agak Rendah	Sedang
8	Agak Rendah	Sedang	Agak Rendah
9	Agak Rendah	Tinggi	Rendah
10	Agak Rendah	Sangat Tinggi	Agak Rendah
11	Sedang	Rendah	Tinggi
12	Sedang	Agak Rendah	Sedang
13	Sedang	Sedang	Tinggi
14	Sedang	Tinggi	Sedang
15	Sedang	Sangat Tinggi	Rendah
16	Tinggi	Rendah	Tinggi
17	Tinggi	Agak Rendah	Tinggi
18	Tinggi	Sedang	Sedang
19	Tinggi	Tinggi	Agak Rendah
20	Tinggi	Sangat Tinggi	Tinggi
21	Sangat Tinggi	Rendah	Sangat Tinggi
22	Sangat Tinggi	Agak Rendah	Tinggi
23	Sangat Tinggi	Sedang	Sedang
24	Sangat Tinggi	Tinggi	Agak Rendah
25	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Agak Rendah

Dari hasil defuzifikasi, diperoleh sensitivitas bus yang berada pada himpunan tinggi dan sangat tinggi adalah : bus 3 (0,61); bus 5 (0,60); bus 14 (0,69) dan bus 20 (0,92).



Gambar 8 FIS Editor Penempatan Kapasitor

D. Menghitung Daya Reaktif Yang Diperlukan

Penghitungan rating kapasitor yang diperlukan untuk kompensasi, harus dilakukan dengan cermat. Kelebihan kompensasi akan menyebabkan jaringan menjadi kapasitif. Hal ini, selain akan meningkatkan suhu pada jaringan, arus dan tegangannya pun meningkat. [6]

Menghitung daya reaktif (Q_c) dilakukan dengan menggunakan tabel kompensasi $\cos \phi$ (Tabel 1) : [6]

1. Daya nyata rata-rata penyulang Rijali : 5671,92 kW
2. Faktor daya rata-rata penyulang Rijali : 0,76
3. Faktor daya akan ditingkatkan menjadi : 0,95
4. Dari tabel kompensasi $\cos \phi$ didapat nilai : 0,53
5. Kapasitas kapasitor (Q_c) yang diperlukan : $0,53 \times 5671,92 \text{ kW} = 3006 \approx 3000 \text{ kVAR}$

E. Aliran Daya (Load Flow) Setelah Kompensasi

Studi aliran daya setelah kompensasi menggunakan metode Gauss Siedel Z_{bus} , dengan data pembebanan, resistansi saluran penyulang Rijali dan kompensasi kapasitor bank dilakukan pada bus 3 (200 kVAR), bus 5 (400 kVAR), bus 14 (600 kVAR) dan bus 20 (1800 kVAR). Hasil studi aliran daya setelah kompensasi, dapat dilihat pada Tabel VIII dan IX.

TABEL VIII
TEGANGAN BUS SETELAH KOMPENSASI

No. Node	Tegangan (pu)	
	re	im
1	1,000	0,000i
2	0,997	-0,001i
3	0,992	-0,004i
4	0,989	-0,006i
5	0,984	-0,008i
6	0,984	-0,008i
7	0,983	-0,009i
8	0,980	-0,010i
9	0,979	-0,010i
10	0,979	-0,010i
11	0,978	-0,010i
12	0,978	-0,010i
13	0,978	-0,011i
14	0,975	-0,012i
15	0,975	-0,012i
16	0,975	-0,012i
17	0,971	-0,014i
18	0,968	-0,015i
19	0,967	-0,016i
20	0,960	-0,018i
21	0,960	-0,019i
22	0,960	-0,019i
23	0,960	-0,019i
24	0,960	-0,019i

TABEL IX
RUGI DAYA SALURAN SETELAH KOMPENSASI

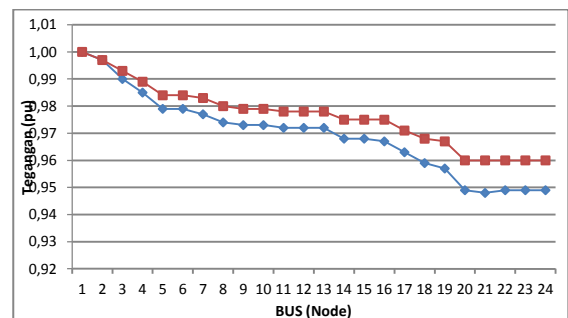
No. Saluran	Rugi Saluran (kW)	
	re	im
1	27,142	-1,305i
2	103,445	-4,858i
3	63,909	-5,335i
4	91,996	-7,486i
5	0,003	-0,001i
6	6,032	-0,938i
7	31,980	-4,798i
8	2,044	-0,861i
9	0,565	-0,197i
10	0,401	-0,152i
11	0,300	-0,13i
12	0,011	-0,001i
13	82,345	-9,723i
14	0,121	-0,066i
15	0,179	-0,106i
16	55,483	-11,432i
17	44,280	-8,758i
18	5,948	-1,135i
19	153,254	-29,467i
20	1,914	-0,029i
21	0,139	-0,025i
22	0,030	-0,003i
23	0,001	-0,000i

F. Perbandingan Sebelum Dan Sesudah Kompensasi

Berdasarkan hasil analisis, maka perbandingan kedua kondisi sistem tersebut dapat dilihat pada Tabel X berikut.

TABEL X
KONDISI SISTEM SEBELUM DAN SETELAH KOMPENSASI

No.	Deskripsi	Sebelum	Sesudah
1.	Total rugi daya aktif (kW)	821,943	671,522
2.	Rugi daya aktif saluran tertinggi (kW)	183,986	153,354
3.	Rugi daya reaktif saluran tertinggi (kW)	117,523	29,467
4.	Tegangan terendah (pu)	0,948	0,960



Gambar 9 Grafik Tegangan Bus Sebelum Dan Sesudah Kompensasi

Berdasarkan Tabel X dapat diketahui bahwa dengan pemasangan kapasitor bank 3 MVAR, secara keseluruhan kondisi sistem menjadi lebih baik. Hal ini dapat terlihat dari tegangan terendahnya meningkat dari 0,948 pu (5,2%) menjadi 0,960 pu (4%) yang berarti bahwa ketentuan jatuh tegangan maksimum sebesar 5% [10] sudah terpenuhi. Selain itu rugi daya aktif juga menurun sebesar 150,421kW atau 18,3%, dimana besarnya nilai total rugi daya aktif turun dari 821,943 kW sebelum pemasangan kapasitor bank menjadi 671,522 kW sesudah pemasangan kapasitor bank sebesar 3 MVAR,

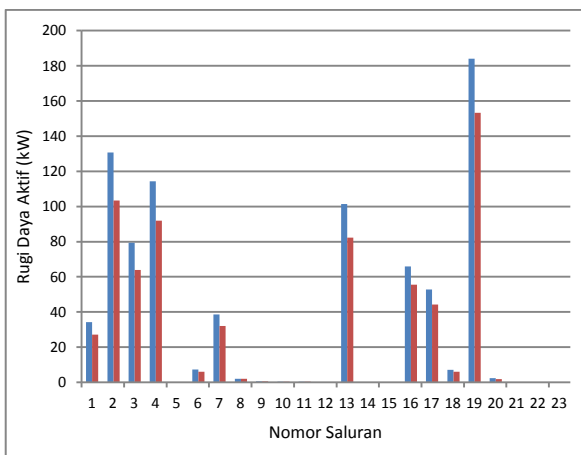
dapat dilihat pada Gambar 9.

Berdasarkan Gambar 9 terlihat bahwa setelah pemasangan kapasitor bank tegangan masing-masing bus mengalami peningkatan dan berada pada batas nilai yang ditentukan yakni 0,95 pu sampai dengan 1,05 pu [10]. Tegangan dari bus 2 s/d 24 sebelum kompensasi, mengalami kenaikan secara signifikan setelah dikompensasikan kapasitor bank sebesar 3 MVAR.

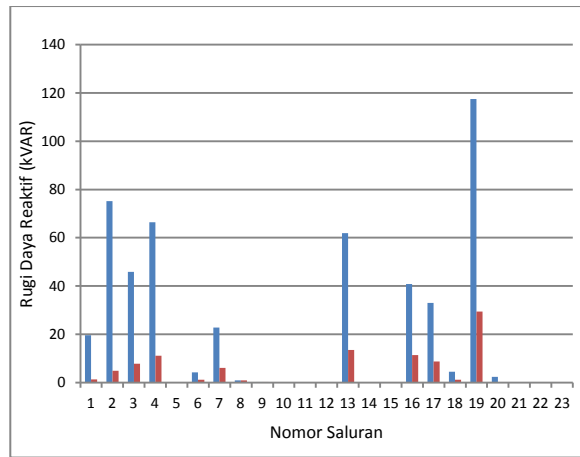
Selain terjadi kenaikan tegangan tiap bus, besarnya rugi daya aktif dan reaktif tiap saluran juga mengalami penurunan (Tabel XI). Untuk melihat perbandingan rugi daya tiap saluran, ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11.

TABEL XI
DAYA AKTIF DAN REAKTIF SEBELUM DAN SESUDAH KOMPENSASI

No.	Daya Aktif (kW)		Daya Reaktif (kVAR)	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
1	34,234	27,142	19,589	1,305
2	130,669	103,445	75,133	4,858
3	79,322	63,909	45,889	5,335
4	114,379	91,996	66,405	7,486
5	0,003	0,003	0,001	0,001
6	7,245	6,023	4,241	0,938
7	38,571	31,980	22,756	4,798
8	2,076	2,044	0,857	0,861
9	0,574	0,565	0,195	0,197
10	0,407	0,401	0,151	0,152
11	0,304	0,300	0,129	0,130
12	0,012	0,011	0,001	0,001
13	101,465	82,345	61,930	9,723
14	0,123	0,121	0,066	0,066
15	0,183	0,179	0,106	0,106
16	65,891	55,483	40,870	11,432
17	52,834	44,280	32,965	8,758
18	7,130	5,948	4,493	1,135
19	183,986	153,254	117,523	29,467
20	2,359	1,914	2,326	0,029
21	0,143	0,139	0,023	0,025
22	0,031	0,030	0,002	0,003
23	0,001	0,001	0,000	0,000



Gambar 10 Grafik Rugi Daya Aktif Saluran Sebelum Dan Sesudah Kompensasi



Gambar 11 Grafik Rugi Daya Reaktif Saluran Sebelum Dan Sesudah Kompensasi

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis perhitungan lokasi penempatan kapasitor pada jaringan 20 kV sistem distribusi penyulang Rijali kota Ambon, maka dapat kesimpulannya sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil perhitungan dari sistem Fuzzy, letak kapasitor yang optimal pada Bus 3, Bus 5, Bus 14 dan Bus 20.
2. Hasil perhitungan daya reaktif untuk kompensasi, maka diperoleh kapasitas kapasitor sebesar 3 MVAR.
3. Setelah melakukan kompensasi kapasitor bank, maka tegangan terendah (bus 20), terjadi kenaikan sebesar 0,012 pu, yakni sebelum kompensasi 0,948 pu dan sesudah kompensasi 0,960 pu atau terjadi kenaikan sebesar 1,2%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pabla, A. S. Penerjemah : Abdul. 1994. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Erlangga. Jakarta.
- [2] PT. PLN Cabang Ambon. 2012. *Data Pembebanan Jaringan Distribusi*. PT. PLN (Persero) Wil. Maluku-Maluku Utara. Ambon.
- [3] Marsudi, Dj. 1990. *Operasi Sitem Tenaga Listrik*. Balai Penerbit dan Humas ISTN. Jakarta.
- [4] Stevenson W. D. 1983. *Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi Keempat*. Erlangga. Jakarta.
- [5] Gonen T. 1986. *Electric Power Distribution System Engineering*. University of Missouri at Columbia.
- [6] Schneider Electric. 2002. *Panduan Aplikasi Teknis*. Jakarta.
- [7] Rolliawati. 2012. *Bab-7-Logika-Fuzzy*. rolliawati.dosen.narotama.ac.id. diakses 12 Desember 2012.
- [8] Naba, A. 2009. *Belajar Cepat dan Mudah Fuzzy Logic Menggunakan MATLAB*. Andi Offset. Yogyakarta.
- [9] SPLN 64. 1985. *Impedansi Kawat Penghantar*. Departemen Pertambangan dan Energi, Perusahaan Umum Listrik Negara. Jakarta.
- [10] SPLN 72. 1987. *Spesifikasi Desain Untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) Dan Jaringan Tegangan Rendah*. Departemen Pertambangan dan Energi, Perusahaan Umum Listrik Negara. Jakarta.