

Penempatan Kapasitor Shunt Pada Sistem Kelistrikan 150 kV Sulselrabar

(Shunt Capacitor Placement in Sulselrabar 150 kV Electrical System)

Muhammad Ruswandi Djalal¹⁾

Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Politeknik Negeri Ujung PandangMakassar, Indonesia
¹⁾E-mail : wandi@poliupg.ac.id

Herman²⁾

Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Politeknik Negeri Ujung PandangMakassar, Indonesia
²⁾E-mail : hermanhr123@yahoo.com

Abstrak - Studi aliran daya adalah penentuan atau perhitungan tegangan, arus dan faktor daya atau daya reaktif yang hadir di berbagai titik dalam jaringan listrik dalam keadaan normal, baik saat ini atau yang diperkirakan terjadi di masa depan. Dari hasil analisis kondisi normal diperoleh profil tegangan kritis pada bus 31 tonasa dan digunakan sebagai kandidat untuk pemasangan kapasitor. Dari hasil perhitungan diperoleh kapasitas terpasang 16.0413 Mvar. Dari hasil simulasi sebelum pemasangan dan setelah pemasangan kapasitor terlihat peningkatan profil tegangan dan rugi saluran. Kerugian saluran sebelum pemasangan adalah 32.649 MW dan setelah pemasangan 31.834 MW. Untuk profil tegangan, beberapa bus juga terlihat lebih baik, daripada sebelumnya dalam kondisi kritis menjadi marjinal. Pada bus sebelumnya tonasa 0,933 pu menjadi 0,953043 pu.

Kata Kunci: Kapasitor; Arus Beban; Kerugian; Tegangan; Bus

Abstract-- Power flow study is the determination or calculation of the voltage, current and power factor or reactive power that is present at various points in a power grid in the normal state, whether current or expected to occur in the future. From the result of normal condition analysis, it is obtained the critical voltage profile on bus 31 tonasa and used as the candidate for mounting capacitor. From the calculation results obtained capacities installed 16.0413 Mvar. From the simulation results before the installation and after installation of the capacitor visible improvement of voltage profile and channel losses. The channel losses prior to installation are 32,649 MW and after installation of 31,834 MW. For voltage profiles, some buses also look better, than before in critical conditions to be marginal. On the previous bus tonasa 0.933 pu to 0.953043 pu.

Keywords: Capacitor; Load Flow; Losses; Voltage; Bus

I. PENDAHULUAN

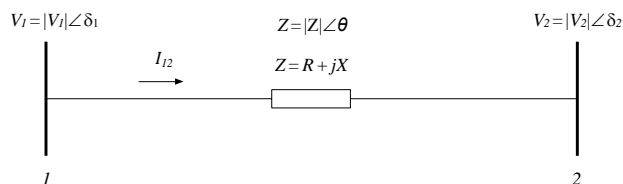
Ada tiga studi yang sangat penting dalam sistem tenaga, yaitu studi aliran daya, studi hubung singkat dan studi stabilitas. Ketiga macam studi tersebut saling terkait dan perlu untuk dilaksanakan secara berkala untuk menjamin kontinuitas pembangkitan dan penyaluran maupun pengoperasian yang terbaik. Studi aliran daya adalah penentuan atau perhitungan tegangan, arus dan faktor daya atau daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu jaringan listrik pada keadaan normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi dimasa yang akan datang. Studi aliran daya sangat penting dalam perencanaan pengembangan suatu sistem untuk masa yang akan datang, karena pengoperasian yang baik banyak tergantung pada diketahuinya efek interkoneksi dengan sistem tenaga yang lain, beban yang baru terpasang, stasiun pembangkit baru, serta saluran transmisi baru sebelum semuanya itu dipasang.

Sistem transmisi di Sulawesi Selatan menggunakan saluran transmisi udara dan tegangan 150 kV, melalui beberapa daerah pusat beban, yaitu : Makassar, Maros, Pangkep, Barru, Pare-Pare, Pinrang, dan Polewali. Beberapa penelitian sebelumnya telah banyak membahas tentang system Sulselrabar, diantaranya [1-11]. Besarnya perkembangan beban mengharuskan analisa system harus sering dilakukan. Analisa aliran daya merupakan studi awal dari sebuah system untuk melihat kinerja system. Sistem Sulselrabar pada realnya menunjukkan ada beberapa daerah yang mengalami drop tegangan dan rugi saluran yang besar. Oleh karena itu pada penelitian ini diusulkan suatu studi tentang perbaikan profil tegangan dan rugi saluran dengan pemasangan kapasitor shunt. Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas dan menggunakan analisa aliran daya sebagai pondasi dasar dari analisa berikutnya, seperti studi stabilitas, hubung singkat, peramalan beban, dll.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pengaliran daya pada saluran sistem tenaga listrik terjadi dari satu bus ke bus yang lain, dalam hal ini daya akan mengalir apabila ada beda tegangan antara bus, yaitu dari tegangan tinggi ke tegangan lebih rendah[2]. Gambar 1 menunjukkan penyaluran daya antara bus akan terlihat arus di mana adanya impedansi pada saluran yang dapat dilihat pada gambar berikut.

V1 merupakan tegangan pada bus 1, V2 tegangan pada bus 2, Z merupakan impedansi saluran.



Gambar 1. Impedansi saluran pada penyaluran daya

Persamaan aliran daya dituliskan pada persamaan berikut. P merupakan daya aktif, Q daya reaktif, dan sudut fasa.

Di mana :

$$P = \frac{V_1^2}{X} - \frac{V_1 V_2}{X} \cos(\delta_1 - \delta_2) \quad (1)$$

$$Q = \frac{V_1 V_2}{X} \sin(\delta_1 - \delta_2) \quad (2)$$

Ada 3 macam bus dalam hal ini setiap bus mempunyai empat besaran dengan dua besaran diantaranya diketahui yakni:

TABEL 1. BESARAN PADA BUS

Jenis Bus	Besaran	
	Diketahui	Dihitung
Slack/Swing	V, δ	P, Q
Beban	P, Q	δ, V
Generator	V, P	Q, δ

$$P_p = V_p \left| \sum_{q=1,2,\dots,n}^N [(G_{pq} \cos \delta_{pq} + B_{pq} \sin \delta_{pq}) V_q] \right| \quad (3)$$

$$Q_p = V_p \left| \sum_{q=1,2,\dots,n}^N [(G_{pq} \sin \delta_{pq} + B_{pq} \cos \delta_{pq}) V_q] \right| \quad (4)$$

Metode Newton Raphson

Metode newton raphson merupakan metode numeric yang digunakan untuk analisa aliran daya. Prinsip utama dari metode ini adalah menyusun matriks jacobian. Pembahasan berikut menunjukkan proses pembentukan dan perhitungan matriks jacobian.

Jika :

$$P = \text{Fungsi dari } V \text{ dan } \delta \rightarrow P = g(V, \delta)$$

$$Q = \text{Fungsi dari } V \text{ dan } \delta \rightarrow Q = h(V, \delta)$$

Jadi dapat dirumuskan :

$$\Delta P = \frac{\partial P}{\partial V} \Delta V + \frac{\partial P}{\partial \delta} \Delta \delta \quad (5)$$

$$\Delta Q = \frac{\partial Q}{\partial V} \Delta V + \frac{\partial Q}{\partial \delta} \Delta \delta \quad (6)$$

Dalam bentuk matriks :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial V} & \frac{\partial P}{\partial \delta} \\ \frac{\partial Q}{\partial V} & \frac{\partial Q}{\partial \delta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V \\ \Delta \delta \end{bmatrix} \quad (7)$$

Sehingga dapat ditulis :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta V \\ \Delta \delta \end{bmatrix} \quad (8)$$

III. METODE PENELITIAN

Data kelistrikan yang dibutuhkan, diperoleh dari AP2B PT.PLN (Persero) Wilayah Sul-Sel, dimana data yang dimaksud antara lain : Data penomoran bus kelistrikan sistem Sulsel, single line diagram sistem Sul-Sel, data pembangkitan (kV, MW, MVAR), data transformator (kV, MVA), data saluran transmisi sistem Sulsel (panjang, R, X, Y), data bus (kV, %), data beban sistem Sulsel berupa Data operasi beban puncak malam, Hari JKamis 12 April 2012 Jam. Diagram alir penelitian yang digunakan, dapat dilihat pada Gambar 1. Untuk aliran daya, pertama membuat single line diagram sistem Sulawesi

Selatan, lalu memasukkan data-data dari pembangkit, transformator, transmisi dan beban yang diperlukan, selanjutnya memilih Metode Newton Raphson pada metode perhitungan. Selanjutnya mengatur swing bus pada bus 1 Bakaru.

IV. HASIL & PEMBAHASAN

Prosedur pertama adalah menganalisa aliran daya kondisi sebelum pemasangan kapasitor, di mana pada kondisi ini akan ditinjau profil tegangan dan losses masing-masing bus. Data beban dan pembangkitan yang digunakan adalah data operasi harian sistem Sulselrabar, di mana yang dipakai adalah data beban puncak hari Kamis 12 April 2012 pada malam hari pukul 19.00, seperti pada tabel 2 berikut ini :

TABEL II. DATA BEBAN PUNCAK

No Bus	Nama Bus	Beban		Pembangkitan	
		P (MW)	Q (Mvar)	P (MW)	Q (Mvar)
1	Bakaru	4,4	0,2	-	-
2	Pinrang	15,6	-5,6	0,3	0,0
3	Pare-Pare	6,0	-0,5	20,1	5,0

4	Suppa	-	-	62,2	19,7
5	Barru	6,8	1,7	44,7	0,0
6	Tello	39,6	15,3	29,7	18,6
7	Tello Lama	14,0	0,4	19,3	0,0
8	Sgmnsa	9,4	2,5	12,3	3,8
9	Jnpnto	10,8	3,1	19,6	-0,9
10	Blkmba	11,0	1,6	9,0	2,2
11	Sinjai	13,0	4,4	3,5	-0,6
12	Soppeng	3,4	9,1	15,1	0,9
13	Sengkang	18,1	7,2	192,9	-3,7
14	Makale	9,8	1,8	3,5	0,0
15	Palopo	29,9	5,9	6,9	1,0
16	Borongloe	7,2	0,0	7,1	0,9
17	Polmas	10,2	2,9	-	-
18	Majene	9,4	2,2	-	-
19	Mamuju	10,6	2,0	-	-
20	Pangkep	15,0	5,8	-	-
21	Bosowa	20,2	10,0	-	-
22	Tel. Lama	-	-	-	-
23	Panakukkang	56,4	17	-	-
24	Tanjung Bunga	31,8	11,3	-	-
25	Talasa	20,2	5,8	-	-
26	TIP	-	-	-	-
27	Bone	21,5	6,1	-	-
28	Sidrap	18,6	7,1	-	-
29	Maros	8,9	2,2	-	-
30	Pangkep D	-	-	-	-
31	Tonasa	37,8	20,8	-	-
32	Mandai	22,5	2,1	-	-
33	Daya	20,8	1,6	-	-
34	TelloA	-	-	-	-
35	TelloB	-	-	-	-
36	Barawaja	-	-	-	-
37	Bontoala	29,4	0,0	-	-

*Sumber : Area Pengatur & Penyaluran Beban (AP2B) PT.PLN Wilayah Sulselrabar, Makassar (Data Operasi AP2B Sistem Sulselrabar)

Studi Aliran daya

Pengerjaan Penelitian diawali dengan melakukan simulasi loadflow sistem terlebih dahulu untuk mendapatkan parameter tegangan, sudut dan losses. Hasil dari simulasi ini akan digunakan sebagai acuan evaluasi untuk penempatan kapasitor.

TABEL III. HASIL SIMULASI TEGANGAN DAN SUDUT SEBELUM PEMASANGAN KAPASITOR

Bus	Nama Bus	Tegangan (pu)	Sudut
1	Bakaru	1.100	0
2	Pinrang	1.000	-1.97556
3	Pare-Pare	1.000	-3.19917
4	Suppa	1.000	-2.11672
5	Barru	1.000	-7.91424
6	Tello	1.000	-18.8681
7	Tello Lama	1.000	-19.2675
8	Sgmnsa	1.000	-18.2965
9	Jnpnto	1.000	-14.4341
10	Blkmba	1.000	-11.2273
11	Sinjai	1.000	-9.86796
12	Soppeng	1.000	-0.57517
13	Sengkang	1.000	4.839346
14	Makale	1.000	-9.45569
15	Palopo	1.000	-11.4645

16	Borongloe	1.000	-19.0418
17	Polmas	1.051	-2.09698
18	Majene	1.035	-4.00481
19	Mamuju	1.026	-5.04033
20	Pangkep	0.979	-14.5253
21	Bosowa	0.983	-16.5037
22	Tel. Lama	0.987	-19.2514
23	Panakukkang	0.960	-21.1086
24	Tanjung Bunga	0.993	-19.0319
25	Talasa	0.994	-17.5608
26	TIP	0.994	-16.529
27	Bone	0.990	-7.0249
28	Sidrap	0.992	-2.67518
29	Maros	0.992	-15.7983
30	Pangkep D	0.960	-14.167
31	Tonasa	0.933	-15.1858
32	Mandai	0.980	-19.336
33	Daya	0.984	-19.3269
34	TelloA	0.993	-18.8033
35	TelloB	0.996	-18.8359
36	Barawaja	0.996	-18.836
37	Bontoala	0.975	-20.5513

TABEL IV. HASIL SIMULASI ALIRAN DAYA BEBAN NORMAL SEBELUM PEMASANGAN KAPASITOR

Bus	Nama Bus	Beban	
		P (MW)	Q (Mvar)
1	Bakaru	4,4	0,2
2	Pinrang	15,6	-5,6
3	Pare-Pare	6,0	-0,5
4	Suppa	-	0
5	Barru	6,8	1,7
6	Tello	39,6	15,3
7	Tello Lama	14,0	0,4
8	Sgmnsa	9,4	2,5
9	Jnpnto	10,8	3,1
10	Blkmba	11,0	1,6
11	Sinjai	13,0	4,4
12	Soppeng	3,4	9,1
13	Sengkang	18,1	7,2
14	Makale	9,8	1,8
15	Palopo	29,9	5,9
16	Borongloe	7,2	0
17	Polmas	10,2	2,9
18	Majene	9,4	2,2
19	Mamuju	10,6	2
20	Pangkep	15,0	5,8
21	Bosowa	20,2	10
22	Tel. Lama	-	0
23	Panakukkang	56,4	17
24	Tanjung Bunga	31,8	11,3
25	Talasa	20,2	5,8
26	TIP	-	0
27	Bone	21,5	6,1
28	Sidrap	18,6	7,1
29	Maros	8,9	2,2
30	Pangkep D	-	0
31	Tonasa	37,8	20,8
32	Mandai	22,5	2,1

33	Daya	20,8	1.6
34	TelloA	-	0
35	TelloB	-	0
36	Barawaja	-	0
37	Bontoala	29,4	0

TABEL V. HASIL SIMULASI ALIRAN DAYA PEMBANGKITAN NORMAL SEBELUM PEMASANGAN KAPASITOR

Bus	Nama Bus	Pembangkitan	
		P (MW)	Q (Mvar)
1	Bakaru	118.7487	124.0376
2	Pinrang	0.3	-92.6802
3	Pare-Pare	20.1	-19.8073
4	Suppa	62.2	-16.7463
5	Barru	44.7	24.4367
6	Tello	29.7	106.3995
7	Tello Lama	19.3	8.007034
8	Sgmnsa	12.3	36.85299
9	Jnpnto	19.6	7.725109
10	Blkmba	9	3.529642
11	Sinjai	3.5	13.01612
12	Soppeng	15.1	14.33026
13	Sengkang	192.9	-5.84641
14	Makale	3.5	3.243385
15	Palopo	6.9	12.45991
16	Borongloe	7.1	6.590529
17	Polmas	0	0
18	Majene	0	0
19	Mamuju	0	0
20	Pangkep	0	0
21	Bosowa	0	0
22	Tel. Lama	0	0
23	Panakukkang	0	0
24	Tanjung Bunga	0	0
25	Talasa	0	0
26	TIP	0	0
27	Bone	0	0
28	Sidrap	0	0
29	Maros	0	0
30	Pangkep D	0	0
31	Tonasa	0	0
32	Mandai	0	0
33	Daya	0	0
34	TelloA	0	0
35	TelloB	0	0
36	Barawaja	0	0
37	Bontoala	0	0

Rugi-rugi saluran untuk kondisi normal system sebelum pemasangan kapasitor ditampilkan pada table berikut.

TABEL VI. RUGI-RUGI SALURAN SEBELUM PEMASANGAN KAPASITOR

Saluran		Daya	
From	To	MW	Mvar
1	17	1.070	2.124
	2	2.656	7.281
2	1	2.656	7.281
	3	0.237	-0.489
3	2	0.237	-0.489
	4	0.326	1.060

	5	2.114	5.342
	17	0.595	-1.692
	20	2.944	8.316
	28	0.055	-0.085
4	3	0.326	1.060
5	3	2.114	5.342
	20	4.020	12.116
6	7	0.048	-0.003
	8	0.054	0.122
	20	0.918	2.165
	21	0.835	1.505
	23	1.633	2.987
	34	0.217	0.000
7	35	0.025	0.000
	6	0.048	-0.003
8	22	0.378	0.000
	6	0.054	0.122
	24	0.081	0.220
	25	0.042	-0.336
9	29	0.329	1.465
	10	0.463	0.976
	26	0.381	1.006
10	9	0.463	0.976
	27	0.271	-1.040
	11	0.130	-1.298
11	10	0.130	-1.298
	27	0.449	-0.661
12	13	1.139	6.046
	27	2.016	6.385
	28	0.179	-0.315
13	12	1.139	6.046
	28	2.183	12.334
14	28	0.597	1.207
	15	0.226	0.256
15	14	0.226	0.256
16	34	0.027	-0.019
17	1	1.070	2.124
	3	0.595	-1.692
	18	0.203	-0.081
18	17	0.203	-0.081
	19	0.057	-0.584
19	18	0.057	-0.584
20	3	2.944	8.316
	5	4.020	12.116
	6	0.918	2.165
	21	0.767	1.807
	30	1.055	-0.000
21	6	0.835	1.505
	20	0.767	1.807
22	7	0.378	0.000
	37	0.368	0.664
23	6	1.633	2.987
24	8	0.081	0.220
	8	0.042	-0.336
25	26	0.099	0.252
	9	0.381	1.006
26	25	0.099	0.252
	10	0.271	-1.040
27	11	0.449	-0.661
	12	2.016	6.385
	3	0.055	-0.085
28	12	0.179	-0.315
	13	2.183	12.334
	14	0.597	1.207
	14	0.597	1.207
	29	1.971	10.056

29	8	0.329	1.465
	28	1.971	10.056
30	20	1.055	-0.000
	31	0.700	1.277
31	32	0.508	0.838
	30	0.700	1.277
32	30	0.508	0.838
	33	0.011	-0.017
33	34	0.096	0.114
	32	0.011	-0.017
34	34	0.149	0.248
	6	0.217	0.000
35	16	0.027	-0.019
	32	0.096	0.114
	33	0.149	0.248
	35	0.025	0.000
36	6	0.025	0.000
	34	0.025	0.000
37	36	0.000	-0.004
	35	0.000	-0.004
Total		32.649	81.549

Tabel 4 dan 5 Menunjukkan hasil simulasi aliran daya system Sulselrabar kondisi normal, di mana terdapat beberapa profil tegangan pada masing-masing bus. Dari hasil tersebut terlihat satu bus yang kritis yaitu Bus 31 Tonasa. Bus 31 Tonasa merupakan salah satu bus dengan konsumen terbesar, karena merupakan bus industry PT. Semen Tonasa. Bus ini beroperasi pada tegangan 70 kV. Profil tegangan yang didapat pada Bus Tonasa adalah 0.933 pu. Diketahui bus ini berada pada base 70 kV, maka besar tegangan setelah dikonversi adalah $0.933 \text{ pu} \times 70 \text{ kV} = 65.31 \text{ kV}$. Profil tegangan 65.31 kV pada system berdasarkan standard PLN yaitu $\pm 5\%$, dianggap masuk kategori kondisi tegangan kritis, dan tidak diperbolehkan system beroperasi pada kondisi tersebut. Oleh karena itu diperlukan perbaikan tegangan pada bus tersebut. Selain itu dampak membaiknya profil tegangan akan memperbaiki profil tegangan bus yang lain.

Salah satu cara yang diusulkan pada penelitian ini adalah perbaikan profil tegangan dengan menggunakan kapasitor shunt. Kapasitor dapat digunakan sebagai perbaikan profil tegangan karena alat ini dapat mengkompensasi kekurangan daya reaktif. Oleh karena itu, dari hasil simulasi kondisi normal tadi, didapatkan profil tegangan yang tidak sesuai standard yaitu pada bus 31 tonasa, maka pada bus tersebut akan dipasangkan kapasitor shunt. Setelah menentukan tempat/letak pemasangan kapasitor selanjutnya menghitung kapasitas kapasitor. Berikut ditunjukkan perhitungan kapasitas kapasitor.

Diketahui bus tegangan pada bus 31 sebesar 65.31, dengan daya sebesar $S = 37.8 + j20.8 \text{ VA}$, maka dapat dihitung $\cos \phi$ pada bus ini:

$$\cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{37.8}{37.8 + j20.8} = 0.87$$

$$\cos^{-1} 0.87 = 29.54^\circ$$

Jika $\cos \phi$ target 0.99, maka :

$$\begin{aligned} \cos^{-1} 0.99 &= 8.1^\circ \\ Q &= P(\tan \phi \text{ Lama} - \tan \phi \text{ Baru}) \\ &= 37.8(\tan 29.54^\circ - \tan 8.1^\circ) \\ &= 16.0413 \text{ Mvar} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan kapasitas kapasitor yang dianjurkan adalah 16.0413 Mvar, atau dibulatkan menjadi 17 Mvar. Tabel berikut menunjukkan hasil simulasi system setelah pemasangan kapasitor pada bus 31 tonasa.

TABEL VII. TEGANGAN DAN SUDUT SETELAH PEMASANGAN KAPASITOR

Bus	Nama Bus	Tegangan (pu)	Sudut
1	Bakaru	1.100	0
2	Pinrang	1.000	-1.94665
3	Pare-Pare	1.000	-3.15613
4	Suppa	1.000	-2.07367
5	Barru	1.000	-7.85244
6	Tello	1.000	-18.7345
7	Tello Lama	1.000	-19.1339
8	Sgmnsa	1.000	-18.1683
9	Jnpnto	1.000	-14.3213
10	Blkmba	1.000	-11.1282
11	Sinjai	1.000	-9.77501
12	Soppeng	1.000	-0.50491
13	Sengkang	1.000	4.904558
14	Makale	1.000	-9.3951
15	Palopo	1.000	-11.4039
16	Borongloe	1.000	-18.9281
17	Polmas	1.051418	-2.07997
18	Majene	1.03476	-3.98777
19	Mamuju	1.026194	-5.02327
20	Pangkep	0.985842	-14.5056
21	Bosowa	0.987287	-16.4298
22	Tel. Lama	0.987462	-19.1179
23	Panakukkang	0.968065	-21.2123
24	Tanjung Bunga	0.992867	-18.9038
25	Talasa	0.994367	-17.4375
26	TIP	0.994493	-16.4092
27	Bone	0.989915	-6.94045
28	Sidrap	0.991702	-2.61511
29	Maros	0.991984	-15.6823
30	Pangkep D	0.966822	-14.6082
31	Tonasa	0.953043	-16.0055
32	Mandai	0.980516	-19.2566
33	Daya	0.984177	-19.2254
34	TelloA	0.992593	-18.6866
35	TelloB	0.996296	-18.7107
36	Barawaja	0.9963	-18.7108
37	Bontoala	0.975012	-20.4177

TABEL VIII. ALIRAN DAYA BEBAN SETELAH PEMASANGAN KAPASITOR

Bus	Nama Bus	Beban	
		P (MW)	Q (Mvar)
1	Bakaru	4.4	0.2
2	Pinrang	15.6	-5.6

3	Pare-Pare	6	-0.5
4	Suppa	0	0
5	Barru	6.8	1.7
6	Tello	39.6	15.3
7	Tello Lama	14	0.4
8	Sgmnsa	9.4	2.5
9	Jnpnto	10.8	3.1
10	Blkmba	11	1.6
11	Sinjai	13	4.4
12	Soppeng	3.4	9.1
13	Sengkang	18.1	7.2
14	Makale	9.8	1.8
15	Palopo	29.9	5.9
16	Borongloe	7.2	0
17	Polmas	10.2	2.9
18	Majene	9.4	2.2
19	Mamuju	10.6	2
20	Pangkep	15	5.8
21	Bosowa	20.2	10
22	Tel. Lama	0	0
23	Panakukkang	56.4	17
24	Tanjung Bunga	31.8	11.3
25	Talasa	20.2	5.8
26	TIP	0	0
27	Bone	21.5	6.1
28	Sidrap	18.6	7.1
29	Maros	8.9	2.2
30	Pangkep D	0	0
31	Tonasa	37.8	20.8
32	Mandai	22.5	2.1
33	Daya	20.8	1.6
34	TelloA	0	0
35	TelloB	0	0
36	Barawaja	0	0
37	Bontoala	29.4	0

TABEL IX. ALIRAN DAYA PEMBANGKITAN SETELAH PEMASANGAN KAPASITOR

Bus	Nama Bus	Pembangkitan	
		P (MW)	Q (Mvar)
1	Bakaru	117.9338	124.2219
2	Pinrang	0.3	-92.708
3	Pare-Pare	20.1	-21.8013
4	Suppa	62.2	-16.7463
5	Barru	44.7	16.88639
6	Tello	29.7	84.08135
7	Tello Lama	19.3	8.007034
8	Sgmnsa	12.3	36.76008
9	Jnpnto	19.6	7.698308
10	Blkmba	9	3.512733
11	Sinjai	3.5	12.99686
12	Soppeng	15.1	14.29199
13	Sengkang	192.9	-5.86775
14	Makale	3.5	3.23505
15	Palopo	6.9	12.45991
16	Borongloe	7.1	6.676661
17	Polmas	0	0
18	Majene	0	0
19	Mamuju	0	0
20	Pangkep	0	0
21	Bosowa	0	0
22	Tel. Lama	0	0

23	Panakukkang	0	0
24	Tanjung Bunga	0	0
25	Talasa	0	0
26	TIP	0	0
27	Bone	0	0
28	Sidrap	0	0
29	Maros	0	0
30	Pangkep D	0	0
31	Tonasa	0	0
32	Mandai	0	0
33	Daya	0	0
34	TelloA	0	0
35	TelloB	0	0
36	Barawaja	0	0
37	Bontoala	0	0

Rugi-rugi saluran setelah pemasangan kapasitor pada bus 31 tonasa ditampilkan pada table 6 berikut.

TABEL 10. RUGI-RUGI SALURAN SETELAH PEMASANGAN KAPASITOR

Saluran		Daya	
From	To	MW	Mvar
1	17	1.063	2.098
	2	2.647	7.249
2	1	2.647	7.249
	3	0.232	-0.509
3	2	0.232	-0.509
	4	0.326	1.060
	5	2.097	5.282
	17	0.592	-1.704
	20	2.958	8.352
4	28	0.056	-0.079
	3	0.326	1.060
5	3	2.097	5.282
	20	4.027	12.126
6	7	0.048	-0.003
	8	0.053	0.115
	20	0.845	1.892
	21	0.751	1.196
	23	1.494	2.731
	34	0.221	0.000
	35	0.025	0.000
7	6	0.048	-0.003
	22	0.378	0.000
8	6	0.053	0.115
	24	0.081	0.220
	25	0.042	-0.340
9	29	0.326	1.443
	10	0.459	0.962
	26	0.378	0.997
10	9	0.459	0.962
	27	0.269	-1.046
11	11	0.129	-1.302
	10	0.129	-1.302
12	27	0.446	-0.671
	13	1.137	6.033
	27	2.007	6.354
13	28	0.180	-0.309
	12	1.137	6.033
14	28	2.186	12.352
	28	0.597	1.207
15	15	0.226	0.256
	14	0.226	0.256

16	34	0.027	-0.017
17	1	1.063	2.098
	3	0.592	-1.704
	18	0.203	-0.081
18	17	0.203	-0.081
	19	0.057	-0.584
19	18	0.057	-0.584
20	3	2.958	8.352
	5	4.027	12.126
	6	0.845	1.892
	21	0.724	1.645
21	30	0.924	0.000
	6	0.751	1.196
22	20	0.724	1.645
	7	0.378	0.000
23	37	0.368	0.664
	6	1.494	2.731
24	8	0.081	0.220
25	8	0.042	-0.340
	26	0.099	0.248
26	9	0.378	0.997
	25	0.099	0.248
27	10	0.269	-1.046
	11	0.446	-0.671
	12	2.007	6.354
28	3	0.056	-0.079
	12	0.180	-0.309
	13	2.186	12.352
	14	0.597	1.207
29	29	1.955	9.943
	8	0.326	1.443
	28	1.955	9.943
30	20	0.924	0.000
	31	0.515	0.937
	32	0.405	0.648
31	30	0.515	0.937
32	30	0.405	0.648
	33	0.009	-0.020
	34	0.095	0.112
33	32	0.009	-0.020
	34	0.149	0.249
34	6	0.221	0.000
	16	0.027	-0.017
	32	0.095	0.112
	33	0.149	0.249
35	35	0.025	0.000
	6	0.025	0.000
	34	0.025	0.000
36	36	0.000	-0.004
	35	0.000	-0.004
37	22	0.368	0.664
Total		31.834	79.705

V. KESIMPULAN

Dari hasil analisa kondisi normal diperoleh profil tegangan yang kritis pada bus 31 tonasa dan dijadikan kandidat pemasangan kapasitor. Dari hasil perhitungan didapatkan kapasitas kapasitor yang dipasang sebesar 16.0413 Mvar. Dari hasil simulasi sebelum pemasangan dan setelah pemasangan kapasitor terlihat perbaikan profil tegangan dan rugi-rugi saluran. Rugi saluran sebelum pemasangan adalah 32.649 MW dan setelah pemasangan sebesar 31.834 MW.

Untuk profil tegangan, beberapa bus juga terlihat semakin membaik, dari sebelumnya di kondisi kritis menjadi marginal. Pada bus tonasa yang sebelumnya 0.933 pu menjadi 0.953043 pu.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Agil and M. R. Djalal, "Studi Hubung Singkat 3 Fasa Simetri (Studi Kasus Sistem Interkoneksi 150 kV Sulselrabar)," presented at the Nasread Universitas Darul 'Ulum Jombang, Teknik Elektro Universitas Darul 'Ulum Jombang, 2014.
- [2] M. R. Djalal, M. A. Haikal, T. M. P. N. U. Pandang, and T. E. I. P. Aceh, "Penyelesaian Aliran Daya 37 Bus Dengan Metode Newton Raphson (Studi Kasus Sistem Interkoneksi 150 kV Sulawesi Selatan)," 2014.
- [3] M. R. Djalal, "Penempatan PSS pada System Kelistrikan 150 kV Sulselrabar menggunakan Cuckoo Search Algorithm," *Tesis ITS*, 2015.
- [4] M. R. Djalal and Faisal, "Intelligent Fuzzy Logic-Cuckoo Search Algorithm Method for Short-Term Electric Load Forecasting in 150 kV Sulselrabar System," *Lontar Komputer: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, vol. 8, pp. 154-165, 2017.
- [5] M. R. Djalal, A. Imran, and I. Robandi, "Optimal placement and tuning power system stabilizer using Participation Factor and Imperialist Competitive Algorithm in 150 kV South of Sulawesi system," in *Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), 2015 International Seminar on*, 2015, pp. 147-152.
- [6] M. R. Djalal, H. Nawir, H. Setiadi, and A. Imran, "An Approach Transient Stability Analysis Using Equivalent Impedance Modified in 150 kV South of Sulawesi System," *Journal of Electrical and Electronics Engineering UMSIDA*, vol. 1, pp. 1-7, 2016.
- [7] M. R. Djalal, M. Y. Yunus, H. Nawir, and A. Imran, "Application of Smart Bats Algorithm for Optimal Design of Power Stabilizer System at Sengkang Power Plant," *International Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 1, 2017.
- [8] M. R. Djalal, M. Y. Yunus, H. Nawir, and A. Imran, "Optimal Design of Power System Stabilizer In Bakaru Power Plant Using Bat Algorithm," 2017, vol. 1, p. 6, 2017-11-10 2017.
- [9] I. Gunadin, Y. S. Akil, Sirajuddin, and M. R. Djalal, "Application Fuzzy Logic-Cuckoo Search Algorithm for Load Forecasting in 150 kV Sulselrabar Electric Power System," presented at the The 2nd International Conference on Education, Science, and Technology (ICEST) 2017, Four Points by Sheraton, 2017.
- [10] M. Hidayat, Y. S. Akil, I. Gunadin, and M. R. Djalal, "Short-Term Electricity Demand Forecasting using Fuzzy Logic-Flower Pollination Algorithm (FL-FPA)," presented at the The 2nd International Conference on Education, Science, and Technology (ICEST) 2017, Four Points by Sheraton, 2017.
- [11] M. Y. Yunus, M. R. Djalal, and Marhatang, "Optimal Design Power System Stabilizer Using Firefly Algorithm in Interconnected 150 kV Sulselrabar System, Indonesia," *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol. 12, pp. 250-259, 2017.