

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan hasil simulasi penempatan lokasi dan kapasitas optimal SSSC menggunakan algoritma *gravitational search algorithm*. Melalui simulasi ini didapatkan nilai SSSC yang optimal untuk mereduksi rugi daya dan memperbaiki tegangan sesuai dengan batas yang telah ditentukan.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan satu jenis data, yaitu data sistem standar IEEE 30 Bus dan data *test case* pada sistem tenaga listrik 500 kV Jawa Bali. Data sistem standar digunakan untuk validasi metode yang diajukan sebelum diterapkan pada data *test case*. Data *test case* yang digunakan adalah data sistem tenaga listrik Jawa Bali 500 kV tanggal 19 Februari 2016 pukul 19.30 WIB yang diambil dari tugas akhir Khalid Abri pada tahun 2016 yang diperoleh dari Pusat Pengaturan Beban (P2B) Jawa Bali, Gandul, Cinere, Depok.

3.1 Data Sistem Standar IEEE 30 Bus

Pada penelitian ini data sistem standar IEEE 30 bus merupakan data validasi. Yang dimaksud validasi adalah sebagai data untuk menguji program optimisasi yang dibuat sebelum diterapkan pada data real Jawa Bali 500 kV. Data ini tidak digunakan sebagai pembandingan hasil program GSA kedua data. Sumber data sistem standar IEEE 30 bus berasal dari jurnal *Optimal Load Flow with Steady State Security* (Alsac & Stott, 1974, p. 750).

Tabel 4.1 Data Pembangkitan Sistem Standar IEEE 30 Bus

No. Bus	P _G (MW)	Q _G (MVAR)	Q _G min (MVAR)	Q _G max (MVAR)
1	0,000	0,000	0,000	0,000
2	40,000	0,000	-40,000	50,000
5	0,000	0,000	-40,000	40,000
8	0,000	0,000	-10,000	40,000
11	0,000	0,000	-6,000	24,000
13	0,000	0,000	-6,000	24,000

Sumber: Alsac & Stott (1974,p.750)

Tabel 4.2 Data Saluran Transmisi Sistem Standar IEEE 30 Bus

No. Saluran	Bus Awal	Bus Tujuan	R (p.u.)	X (p.u.)	$\frac{1}{2} B$ (p.u.)
1	1	2	0,0192	0,0575	0,0264
2		3	0,0452	0,1652	0,0204
3	2	4	0,0570	0,1737	0,0264
4		5	0,0472	0,1983	0,0209
5		6	0,0581	0,1763	0,0187
6	3	4	0,0132	0,0379	0,0042
7	4	6	0,0119	0,0414	0,0045
8		12	0,0000	0,2560	0,0000
9	5	7	0,0460	0,1160	0,0102
10	6	7	0,0267	0,0820	0,0085
11		8	0,0120	0,0420	0,0045
12		9	0,0000	0,2080	0,0000
13		10	0,0000	0,5560	0,0000
14		28	0,0169	0,0599	0,0065
15	8	28	0,0636	0,2000	0,0214
16	9	11	0,0000	0,2080	0,0000
17		10	0,0000	0,1100	0,0000
18	10	20	0,0936	0,2090	0,0000
19		17	0,0324	0,0845	0,0000
20		21	0,0348	0,0749	0,0000
21		22	0,0727	0,1499	0,0000
22	12	13	0,0000	0,1400	0,0000
23		14	0,1231	0,2559	0,0000
24		15	0,0662	0,1304	0,0000
25		16	0,0945	0,1987	0,0000
26	14	15	0,2210	0,1997	0,0000
27	15	18	0,1073	0,2185	0,0000
28		23	0,1000	0,2020	0,0000
29	16	17	0,0524	0,1923	0,0000
30	18	19	0,0639	0,1292	0,0000
31	19	20	0,0340	0,0680	0,0000
32	21	22	0,0116	0,0236	0,0000
33	22	24	0,1150	0,1790	0,0000
34	23	24	0,1320	0,2700	0,0000
35	24	25	0,1885	0,3292	0,0000
36	25	26	0,2544	0,3800	0,0000
37		27	0,1093	0,2087	0,0000
38	27	29	0,2198	0,4153	0,0000
39		30	0,3202	0,6027	0,0000
40	28	27	0,0000	0,3960	0,0000
41	29	30	0,2399	0,4533	0,0000

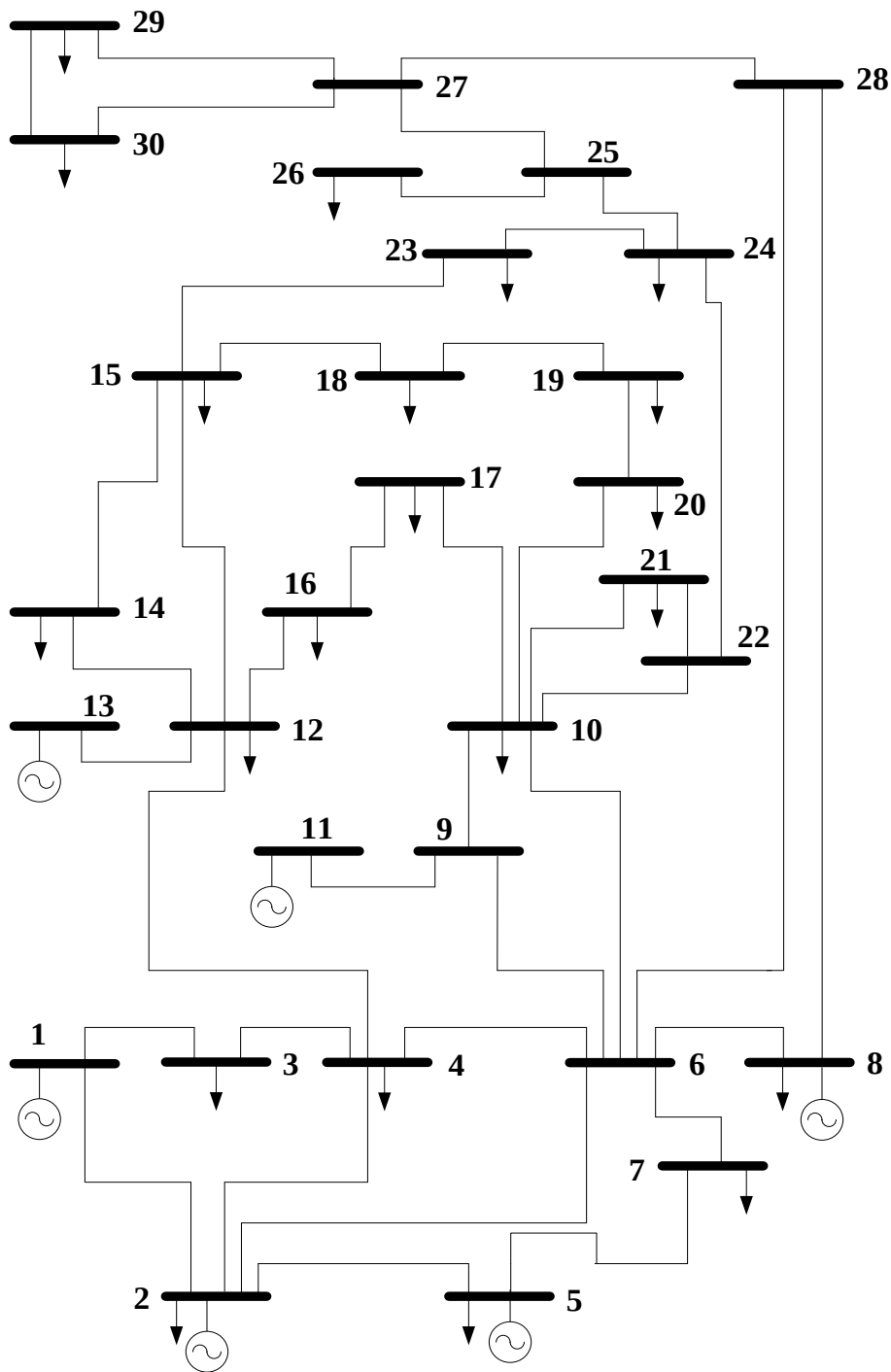
Sumber: Alsac & Stott (1974,p.750)

Tabel 4.3 Data Pembebanan Sistem Standar IEEE 30 Bus

No Bus	Tipe Bus	Tegangan		Beban	
		Magnitude	Derajat	P (MW)	Q (MVAR)
1	1	1,025	0,000	0,000	0,000
2	2	1,025	0,000	21,700	12,700
3	0	1,000	0,000	2,400	1,200
4	0	1,000	0,000	7,600	1,600
5	2	1,010	0,000	94,200	19,000
6	0	1,000	0,000	0,000	0,000
7	0	1,000	0,000	22,800	10,900
8	2	1,010	0,000	30,000	30,000
9	0	1,000	0,000	0,000	0,000
10	0	1,000	0,000	5,800	2,000
11	2	1,025	0,000	0,000	0,000
12	0	1,000	0,000	11,200	7,500
13	2	1,025	0,000	0,000	0,000
14	0	1,000	0,000	6,200	1,600
15	0	1,000	0,000	8,200	2,500
16	0	1,000	0,000	3,500	1,800
17	0	1,000	0,000	9,000	5,800
18	0	1,000	0,000	3,200	0,900
19	0	1,000	0,000	9,500	3,400
20	0	1,000	0,000	2,200	0,700
21	0	1,000	0,000	17,500	11,200
22	0	1,000	0,000	0,000	0,000
23	0	1,000	0,000	3,200	1,600
24	0	1,000	0,000	8,700	6,700
25	0	1,000	0,000	0,000	0,000
26	0	1,000	0,000	3,500	2,300
27	0	1,000	0,000	0,000	0,000
28	0	1,000	0,000	0,000	0,000
29	0	1,000	0,000	2,400	0,900
30	0	1,000	0,000	10,600	1,900

Sumber: Alsac & Stott (1974,p.750)

Kode *bus* pada Tabel 4.3 merepresentasikan jenis *bus* pada sistem. Kode *bus* 1 apabila *bus* tersebut merupakan *slack bus*, kode *bus* 2 digunakan apabila *bus* tersebut merupakan *bus* generator atau *bus* pembangkit, dan kode bus 0 apabila *bus* tersebut merupakan *bus* beban.



Gambar 4.1 Single Line Diagram Sistem Standar IEEE 30 Bus.
Sumber: Alsac & Stott (1974,p.750).

4.1.1 Simulasi Kondisi Awal Sistem Standar IEEE 30 Bus

Simulasi aliran daya sistem standar IEEE 30 bus dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB. Simulasi akan diuji dalam keadaan belum adanya pemasangan kapasitor bank dan SSSC. Analisis aliran daya dilakukan dengan menggunakan metode Newton Raphson. Hasil simulasi berupa aliran daya ,rugi-rugi daya transmisi dan tegangan masing-masing bus.

Tabel 4.4 Hasil Simulasi Kondisi Awal Sistem Standar IEEE 30 Bus

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	1,025	0,000	0,000	0,000	277,076	-37,130
2	1,015	-6,180	21,700	12,700	40,000	52,579
3	0,994	-8,683	2,400	1,200	0,000	0,000
4	0,987	-10,702	7,600	1,600	0,000	0,000
5	1,000	-15,901	94,200	19,000	0,000	54,124
6	0,986	-12,697	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,984	-14,558	22,800	10,900	0,000	0,000
8	0,990	-13,571	30,000	30,000	0,000	36,390
9	0,983	-16,560	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,961	-18,657	5,919	2,000	0,000	0,000
11	1,025	-16,560	0,000	0,000	20,745	0,000
12	0,986	-17,799	11,200	7,500	0,000	0,000
13	1,025	-17,799	0,000	0,000	28,629	0,000
14	0,968	-18,858	6,200	1,600	0,000	0,000
15	0,961	-18,946	8,200	2,500	0,000	0,000
16	0,967	-18,469	3,500	1,800	0,000	0,000
17	0,957	-18,841	9,000	5,800	0,000	0,000
18	0,947	-19,660	3,200	0,900	0,000	0,000
19	0,943	-19,861	9,500	3,400	0,000	0,000
20	0,947	-19,626	2,200	0,700	0,000	0,000
21	0,944	-19,423	19,669	11,200	0,000	0,000
22	0,948	-19,302	0,000	0,000	0,000	0,000
23	0,944	-19,449	3,200	1,600	0,000	0,000
24	0,930	-20,027	15,000	6,700	0,000	0,000
25	0,937	-19,681	1,000	0,000	0,000	0,000
26	0,917	-20,178	3,500	2,300	0,000	0,000
27	0,951	-19,019	0,000	0,000	0,000	0,000
28	0,984	-13,507	0,000	0,000	0,000	0,000
29	0,925	-20,583	3,659	0,900	0,000	0,000
30	0,912	-21,962	12,000	1,900	0,000	0,000

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
Total			295,647	126,200	317,076	166,997

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.5 Hasil Aliran Daya Kondisi Awal Sistem Standar IEEE 30 Bus

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
1		277,076	-37,130	279,553		
	2	183,756	-35,791	187,209	6,370	13,583
	3	93,320	-1,339	93,330	3,747	9,536
2		18,300	39,879	43,877		
	1	-177,386	49,374	184,129		
	4	46,373	0,796	46,380	1,194	-0,052
	5	85,176	-7,400	85,497	3,336	9,774
	6	64,137	-2,891	64,202	2,320	3,295
3		-2,400	-1,200	2,683		
	1	-89,573	10,875	90,231		
	4	87,173	-12,075	88,006	1,034	2,143
4		-7,600	-1,600	7,767		
	2	-45,179	-0,848	45,187		
	3	-86,140	14,218	87,305		
	6	76,735	-18,474	78,927	0,758	1,762
	12	46,984	3,503	47,115	0,000	5,828
5		-94,200	35,124	100,535		
	2	-81,840	17,174	83,622		
	7	-12,360	17,950	21,794	0,236	-1,413
6		0,000	0,000	0,000		
	2	-61,817	6,187	62,125		
	4	-75,977	20,236	78,625		
	7	35,766	-8,978	36,875	0,369	-0,516
	8	30,559	-17,501	35,216	0,151	-0,350
	9	31,402	2,688	31,516	0,000	2,124
	10	17,694	5,478	18,522	0,000	1,961
	28	22,373	-8,109	23,797	0,088	-12,303
7		-22,800	-10,900	25,272		
	5	12,596	-19,363	23,099		
	6	-35,396	8,463	36,394		
8		-30,000	18,049	35,011		
	6	-30,408	17,151	34,911		
	28	0,408	0,898	0,987	0,006	-4,150

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
9		0,000	0,000	0,000		
	6	-31,402	-0,564	31,407		
	11	0,000	-19,893	19,893	0,000	0,852
	10	31,402	20,458	37,478	0,000	1,599
10		-5,919	-2,000	6,248		
	6	-17,694	-3,517	18,040		
	9	-31,402	-18,858	36,629		
	20	8,564	2,686	8,975	0,082	0182
	17	4,480	2,550	5,155	0,009	0,024
	21	21,399	11,223	24,164	0,220	0,474
	22	8,734	3,916	9,572	0,072	0,149
11		0,000	20,745	20,745		
	9	0,000	20,745	20,745		
12		-11,200	-7,500	13,479		
	4	-46,984	-0,275	47,042		
	13	0,000	-23,930	27,537	0,000	1,092
	14	8,337	2,946	8,862	0,099	0,207
	15	19,297	9,375	21,453	0,313	0,617
	16	8,150	5,334	9,740	0,092	0,194
13		0,000	28,629	28,629		
	12	0,000	28,629	28,629		
14		-6,200	-1,600	6,403		
	12	-8,238	-2,797	8,700		
	15	2,038	1,197	2,363	0,013	0,012
15		-8,200	-2,500	8,573		
	12	-18,983	-8,757	20,906		
	14	-2,025	-1,185	2,346		
	18	6,501	2,665	7,026	0,057	0,117
	23	6,307	4,777	7,912	0,068	0,137
16		-3,500	-1,800	3,936		
	12	-8,058	-5,140	9,557		
	17	4,558	3,340	5,650	0,028	0,066
17		-9,000	-5,800	10,707		
	16	-4,530	-3,274	5,589		
	10	-4,470	-2,526	5,135		
18		-3,200	-0,900	3,324		
	15	-6,443	-2,548	6,929		
	19	3,243	1,648	3,638	0,009	0,019

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
19		-9,500	-3,400	10,090		
	18	-3,234	-1,629	3,621		
	20	-6,266	-1,771	6,511	0,016	0,032
20		-2,200	-0,700	2,309		
	19	6,282	1,803	6,536		
	10	-8,482	-2,503	8,844		
21		-19,669	-11,200	22,634		
	10	-21,179	-10,869	23,751		
	22	1,510	-0,451	1,576	0,000	0,001
22		0,000	0,000	0,000		
	10	-8,661	-3,768	9,445		
	21	1,510	-0,451	7,776		
	24	8,661	2,589	5,234	0,041	0,178
23		-3,200	-1,600	3,578		
	15	-6,239	-4,640	7,776		
	24	4,549	2,589	5,234	0,041	0,083
24		-15,000	-6,700	16,428		
	22	-8,547	-3,590	9,271		
	23	-4,509	-2,506	5,158		
	25	-1,944	-0,604	2,036	0,009	0,016
25		-1,000	0,000	1,000		
	24	1,953	0,620	2,049		
	26	3,553	2,379	4,276	0,053	0,079
	27	-6,506	-2,999	7,164	0,064	0,122
26		-3,500	-2,300	4,188		
	25	-3,500	-2,300	4,188		
27		0,000	0,000	0,000		
	25	6,570	3,121	7,274		
	28	-22,688	-6,786	23,681	0,000	2,456
	29	7,753	1,829	7,965	0,154	0,291
	30	8,365	1,836	8,564	0,260	0,489
28		0,000	0,000	0,000		
	27	22,688	9,242	24,498		
	8	-0,402	-5,048	5,064		
	6	-22,285	-4,194	22,677		
29		-3,659	-0,900	3,768		
	27	-7,598	-1,538	7,752		
	30	3,939	0,638	3,991	0,045	0,084

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
30		-12,000	-1,900	12,149		
	27	-8,105	-1,347	8,216		
	29	-3,895	-0,553	3,934		
Total					21,429	40,797

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.4 didapatkan hasil *load flow* bahwa tidak semua tegangan *bus* pada sistem standar IEEE- 30 *Bus* berada pada nilai standar yang diharapkan yaitu $0,95 \leq V_{bus} \leq 1,05$ pu. Sementara pada Tabel 4.5 dapat kita ketahui bahwa rugi daya, baik daya aktif maupun reaktif pada sistem standar IEEE 30 *Bus* masing – masing sebesar 21,429 MW dan 40,797 MVAR.

4.1.2 Simulasi Optimasi Lokasi dan Rating Kapasitor Bank pada Sistem Standar IEEE 30 Bus Menggunakan GSA

Simulasi optimasi menggunakan GSA pada sistem diperlukan untuk mendapatkan lokasi optimal pemasangan kapasitor bank. Besarnya nilai daya reaktif kapasitor bank juga ditentukan menggunakan GSA untuk mendapatkan kondisi sistem yang lebih baik, dimana mendapatkan total rugi daya aktif paling kecil. Optimasi yang dilakukan untuk menentukan lokasi dan kapasitas dari kapasitor bank pada sistem mengikuti ketentuan jumlah kapasitor bank yang ditambahkan pada sistem standar IEEE 30 *bus* adalah 3 buah dengan masing-masing kapasitor bank berkapasitas 0 sampai 5 MVAR. Pada Tabel 4.6 didapatkan hasil dari optimasi penempatan dan kapasitas kapasitor bank dengan menggunakan GSA untuk mendapatkan nilai rugi daya aktif paling kecil.

Tabel 4.6 Hasil Optimasi Penempatan dan *Rating* Kapasitor Bank pada Sistem Standar IEEE 30 *Bus* Menggunakan GSA

Kapasitor Bank	Lokasi	Rating (MVAR)	Fitness
Kapasitor bank 1	26	4,1551	21,8077
Kapasitor bank 2	24	4,8557	
Kapasitor bank 3	23	4,3095	
Total		13,3203	

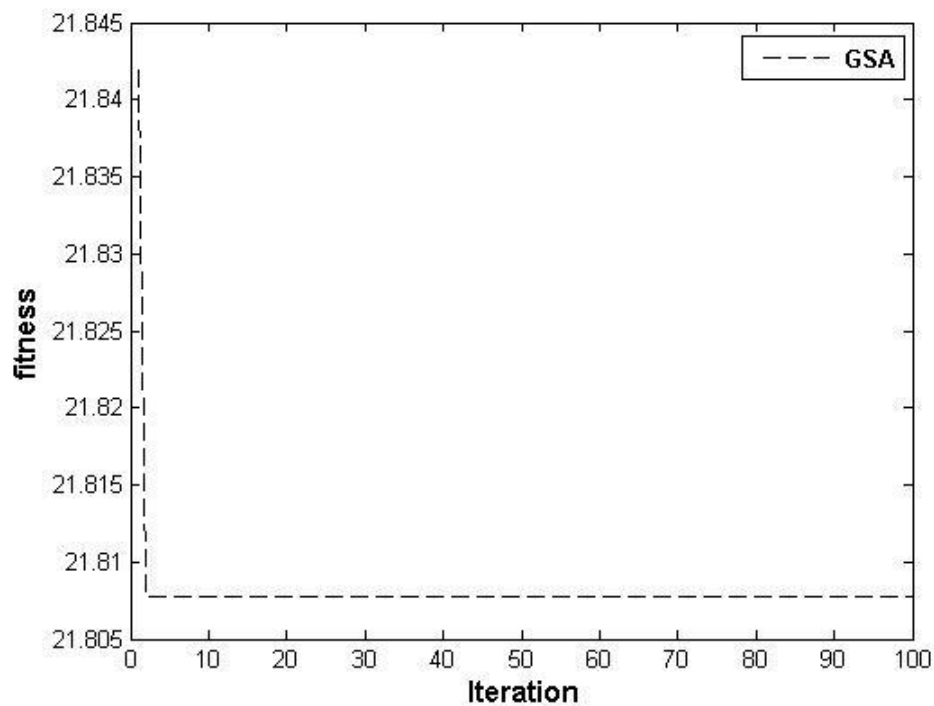
Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Penempatan dan *Rating* Kapasitor Bank pada Sistem Standar IEEE 30 Bus Menggunakan GSA

Pengujian ke-	Fitness	Konvergen (Iterasi ke-)	Waktu
1	21,8302	5	1 menit 59,77 detik
2	21,8273	5	1 menit 59,45 detik
3	21,8301	4	1 menit 59,05 detik
4	21,8265	6	1 menit 59,97 detik
5	21,8403	3	1 menit 58,50 detik
6	21,8879	13	1 menit 57,79 detik
7	21,8652	9	1 menit 59,30 detik
8	21,8556	3	1 menit 58,30 detik
9	21,8077	3	1 menit 58,95 detik
10	21,8266	6	1 menit 59,67 detik

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.7 merupakan hasil dari pengujian program GSA untuk optimasi penempatan dan *rating* kapasitor bank pada sistem standar IEEE 30 bus. Pengujian ini dilakukan sebanyak 10 kali dengan tujuan untuk mendapatkan nilai fitness yang paling minimum dengan tetap memperhatikan batasan tegangan pada tiap bus. Hal ini perlu dilakukan karena algoritma GSA menempatkan posisi agen secara acak sehingga pada setiap hasil *running* program tidak selalu memberikan hasil yang sama. Berdasarkan Tabel 4.7 diambil data hasil pengujian ke-9 dengan nilai fitness yang paling minimum yaitu 21,8077.



Gambar 4.2 Grafik Konvergensi Nilai Fitness pada Optimasi Kapasitor Bank Menggunakan GSA pada Sistem Standar IEEE 30 Bus.

Sumber: Hasil Perhitungan.

Pada simulasi optimasi penempatan dan kapasitas Kapasitor bank menggunakan GSA dilakukan sebanyak 100 iterasi. Dari Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa nilai fitness yang paling minimum terdapat pada iterasi ke-0 menuju ke iterasi ke-10 dengan kata lain nilai fitness telah mencapai titik konvergensi dengan nilai fitness 21,8077.

Tabel 4.8 Hasil Simulasi Sistem Standar IEEE 30 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor Bank

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	1,025	0,000	0,000	0,000	276,799	-37,850
2	1,015	-6,172	21,700	12,700	40,000	50,685
3	0,995	-8,687	2,400	1,200	0,000	0,000
4	0,989	-10,705	7,600	1,600	0,000	0,000
5	1,000	-15,881	94,200	19,000	0,000	53,266
6	0,988	-12,708	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,985	-14,555	22,800	10,900	0,000	0,000
8	0,990	-13,553	30,000	30,000	0,000	42,672
9	0,989	-16,547	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,971	-18,610	5,919	2,000	0,000	0,000

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
11	1,025	-16,547	0,000	0,000	0,000	17,955
12	0,991	-17,663	11,200	7,500	0,000	0,000
13	1,025	-17,663	0,000	0,000	0,000	25,114
14	0,975	-18,728	6,200	1,600	0,000	0,000
15	0,969	-18,876	8,200	2,500	0,000	0,000
16	0,975	-18,371	3,500	1,800	0,000	0,000
17	0,967	-18,776	9,000	5,800	0,000	0,000
18	0,957	-19,583	3,200	0,900	0,000	0,000
19	0,953	-19,783	9,500	3,400	0,000	0,000
20	0,957	-19,555	2,200	0,700	0,000	0,000
21	0,958	-19,449	19,669	11,200	0,000	0,000
22	0,964	-19,353	0,000	0,000	0,000	0,000
23	0,959	-19,505	3,200	1,600	0,000	0,000
24	0,953	-20,245	15,000	6,700	0,000	0,000
25	0,962	-19,926	1,000	0,000	0,000	0,000
26	0,960	-21,044	3,500	2,300	0,000	0,000
27	0,969	-19,016	0,000	0,000	0,000	0,000
28	0,987	-13,547	0,000	0,000	0,000	0,000
29	0,974	-20,781	3,659	0,900	0,000	0,000
30	0,961	-21,846	12,000	1,900	0,000	0,000
Total			295,647	126,200	316,799	151,841

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.9 Hasil Aliran Daya Setelah Pemasangan Kapasitor Bank pada Sistem Standar IEEE 30 Bus

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
1		276,799	-37,850	279,375		
	2	183,527	-35,741	186,974	6,354	13,535
	3	93,278	-2,109	93,302	3,743	9,517
2		18,300	37,985	42,164		
	1	-177,173	49,277	183,898		
	4	46,272	-0,086	46,272	1,186	-0,080
	5	85,075	-7,394	85,396	3,329	9,741
	6	64,126	-3,809	64,239	2,321	3,291
3		-2,400	-1,200	2,683		
	1	-89,535	11,627	90,287		
	4	87,135	-12,827	88,074	1,032	2,137
4		-7,600	-1,600	7,767		

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	2	-45,085	0,006	45,085		
	3	-86,103	14,964	87,393		
	6	77,224	-18,738	79,465	0,766	1,786
	12	46,364	2,168	46,414	0,000	5,638
5		-94,200	34,266	100,239		
	2	-81,746	17,135	83,523		
	7	-12,454	17,133	21,181	0,223	-1,447
6		0,000	0,000	0,000		
	2	-61,805	7,100	62,211		
	4	-76,458	20,525	79,165		
	7	35,843	-8,210	36,771	0,366	-0,529
	8	30,563	-13,660	33,477	0,136	-0,403
	9	31,435	0,778	31,444	0,000	2,107
	10	17,750	3,861	18,165	0,000	1,879
	28	22,672	-10,393	24,941	0,092	-12,347
7		-22,800	-10,900	25,272		
	5	12,677	-18,581	22,493		
	6	-35,477	7,681	36,298		
8		-30,000	12,672	32,567		
	6	-30,427	13,257	33,189		
	28	0,427	-0,583	0,722	0,002	-4,176
9		0,000	0,000	0,000		
	6	-31,435	1,329	31,463		
	10	31,435	15,987	35,267	0,000	1,400
	11	0,000	-17,317	17,317	0,000	0,638
10		-5,919	-2,000	6,248		
	6	-17,750	-1,981	17,860		
	9	-31,435	-14,587	34,654		
	17	4,619	3,664	5,896	0,012	0,031
	20	8,666	2,978	9,164	0,083	0,186
	21	21,520	7,170	22,683	0,190	0,408
	22	8,460	0,757	8,494	0,056	0,115
11		0,000	17,955	17,955		
	9	0,000	17,955	17,955		
12		-11,200	-7,500	13,479		
	4	-46,364	3,471	46,493		
	13	0,000	-24,274	24,274	0,000	0,840
	14	8,145	2,356	8,478	0,090	0,187
	15	19,027	6,766	20,194	0,275	0,542
	16	7,992	4,181	9,020	0,078	0,165

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
13		0,000	25,114	25,114		
	12	0,000	25,114	25,114		
14		-6,200	-1,600	6,403		
	12	-8,055	-2,168	8,341		
	15	1,855	0,568	1,940	0,009	0,008
15		-8,200	-2,500	8,573		
	12	-18,752	-6,224	19,758		
	14	-1,846	-0,560	1,929		
	18	6,395	2,366	6,819	0,053	0,108
	23	6,002	1,918	6,302	0,042	0,085
16		-3,500	-1,800	3,936		
	12	-7,914	-4,017	8,875		
	17	4,414	2,217	4,939	0,021	0,049
17		-9,000	-5,800	10,707		
	10	-4,607	-3,633	5,867		
	16	-4,393	-2,167	4,898	0,021	0,049
18		-3,200	-0,900	3,324		
	15	-6,342	-2,258	6,732		
	19	3,142	1,358	3,423	0,008	0,017
19		-9,500	-3,400	10,090		
	18	-3,134	-1,341	3,409		
	20	-6,366	-2,059	6,691	0,017	0,034
20		-2,200	-0,700	2,309		
	10	-8,583	-2,059	9,026		
	19	6,383	2,792	6,717		
21		-19,669	-11,200	22,634		
	10	-21,330	-6,762	22,376		
	23	1,661	-4,438	4,739	0,003	0,006
22		0,000	0,000	0,000		
	10	-8,405	-0,642	8,429		
	24	8,405	0,642	8,429	0,088	0,137
23		-3,200	2,710	4,193		
	15	-5,960	-1,833	6,236		
	21	-1,658	4,444	4,743		
	24	4,418	0,099	4,419	0,028	0,057
24		-15,000	-1,844	15,113		
	22	-8,317	-0,505	8,332		
	23	-4,390	-0,041	4,390		
	25	-2,293	-1,298	2,635	0,014	0,025
25		-1,000	0,000	1,000		

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	24	2,307	1,323	2,660		
	26	3,543	-1,790	3,970	0,043	0,065
	27	-6,851	0,467	6,867	0,056	0,106
26		-3,500	1,855	3,961		
	25	-3,500	1,855	3,961		
27		0,000	0,000	0,000		
	25	6,906	-0,361	6,916		
	28	-23,006	-3,269	23,237	0,000	2,278
	29	5,021	-3,740	6,261	0,092	0,173
	30	6,545	-2,038	6,855	0,160	0,302
28		0,000	0,000	0,000		
	6	-22,581	-1,954	22,665		
	8	-0,425	-3,593	3,618		
	27	23,006	5,547	23,665		
29		-3,659	-0,900	3,768		
	27	-4,929	3,914	6,294		
	30	4,156	0,605	4,200	0,045	0,084
30		-12,000	-1,900	12,149		
	27	-6,385	2,340	6,800		
	29	-4,112	-0,521	4,145		
Total					21,014	38,698

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa setelah penambahan Kapasitor bank mengalami perbaikan tegangan pada beberapa bus dan tegangan pada tiap bus berada pada batasan yang ditentukan ($0,95 \text{ pu} \leq V \leq 1,05 \text{ pu}$). Dan dari Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa setelah penambahan Kapasitor bank mengalami penurunan rugi daya aktif di beberapa saluran. Dari total rugi daya aktif 21,429 MW berkurang menjadi 21,014 MW.

4.1.3 Simulasi Optimasi Lokasi dan Rating SSSC pada Sistem Standar IEEE 30 Bus Menggunakan GSA

Simulasi optimasi menggunakan GSA pada sistem diperlukan untuk mendapatkan lokasi optimal pemasangan SSSC. Besarnya nilai daya reaktif SSSC juga ditentukan menggunakan GSA untuk mendapatkan kondisi sistem yang lebih baik, dimana mendapatkan total rugi daya aktif paling kecil. Optimasi yang dilakukan untuk menentukan lokasi dan kapasitas dari SSSC pada sistem mengikuti ketentuan jumlah SSSC yang

ditambahkan pada sistem standar IEEE 30 bus adalah 3 buah dengan masing-masing SSSC berkapasitas -0,15 sampai 0,15 pu. Pada Tabel 4.10 didapatkan hasil dari optimasi penempatan dan kapasitas SSSC dengan menggunakan GSA untuk mendapatkan nilai rugi daya aktif paling kecil.

Tabel 4.10 Hasil Optimasi Penempatan dan *Rating* SSSC pada Sistem Standar IEEE 30 Bus Menggunakan GSA

Saluran	Dari Bus	Menuju Bus	<i>Rating</i> Tegangan SSSC (pu)	Daya SSSC (MVAR)	Fitness
33	24	25	-0,1436	-1,4317	21,5430
29	21	23	-0,0349	-0,2039	
22	15	18	-0,1198	-3,3473	

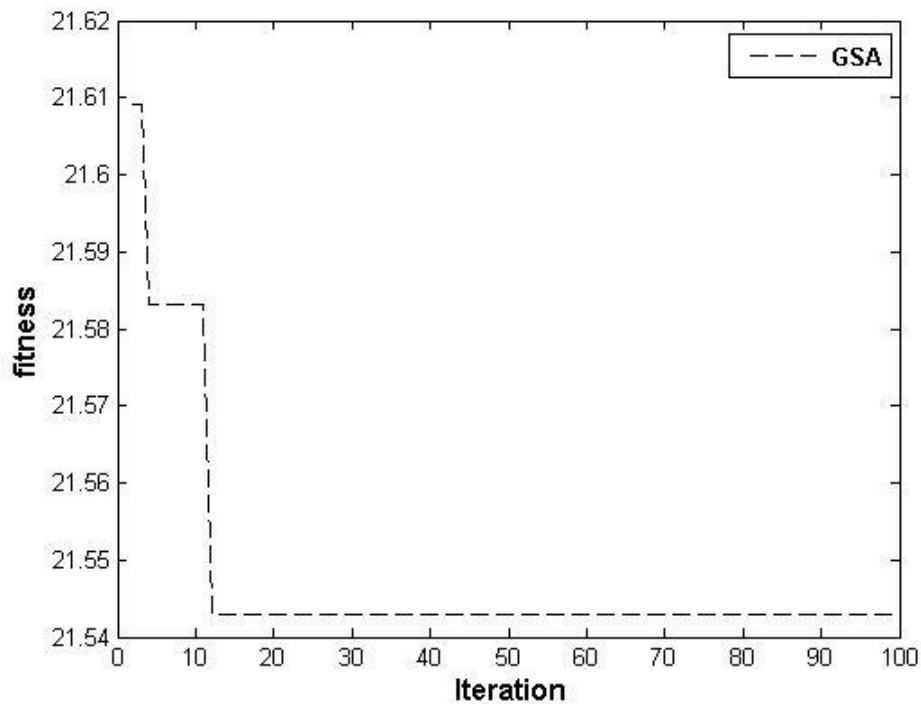
Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Penempatan dan *Rating* SSSC pada Sistem Standar IEEE 30 Bus Menggunakan GSA

Pengujian ke-	Fitness	Konvergen (Iterasi ke-)	Waktu
1	21,8132	5	1 menit 56,32 detik
2	21,7826	13	1 menit 59,77 detik
3	21,7092	15	1 menit 58,87 detik
4	21,5430	12	1 menit 57,67 detik
5	21,8443	13	1 menit 57,36 detik
6	21,8478	10	1 menit 57,79 detik
7	21,7704	23	1 menit 58,86 detik
8	21,8112	22	1 menit 58,30 detik
9	21,6816	15	1 menit 58,95 detik
10	21,6642	11	1 menit 57,43 detik

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.11 merupakan hasil dari pengujian program GSA untuk optimasi penempatan dan *rating* SSSC pada sistem standar IEEE 30 bus. Pengujian ini dilakukan sebanyak 10 kali dengan tujuan untuk mendapatkan nilai fitness yang paling minimum dengan tetap memperhatikan batasan tegangan pada tiap bus. Hal ini perlu dilakukan karena algoritma GSA menempatkan posisi agen secara acak sehingga pada setiap hasil *running* program tidak selalu memberikan hasil yang sama. Berdasarkan Tabel 4.11 diambil data hasil pengujian ke-4 dengan nilai fitness yang paling minimum yaitu 21,5430.



Gambar 4.3 Grafik Konvergensi Nilai Fitness pada Optimasi SSSC Menggunakan GSA pada Sistem Standar IEEE 30 Bus.

Sumber: Hasil Perhitungan.

Pada simulasi optimasi penempatan dan kapasitas SSSC menggunakan GSA dilakukan sebanyak 100 iterasi. Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa nilai fitness yang paling minimum terdapat pada iterasi ke-10 menuju ke iterasi ke-20 dengan kata lain nilai fitness telah mencapai titik konvergensi dengan nilai fitness 21,5430.

Tabel 4.12 Hasil Simulasi Sistem Standar IEEE 30 Bus Setelah Pemasangan SSSC

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	1,025	0,000	0,000	0,000	276,701	-38,492
2	1,015	-6,167	21,700	12,700	40,000	49,261
3	0,996	-8,698	2,400	1,200	0,000	0,000
4	0,990	-10,717	7,600	1,600	0,000	0,000
5	1,000	-15,868	94,200	19,000	0,000	52,708
6	0,989	-12,714	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,986	-14,552	22,800	10,900	0,000	0,000
8	0,990	-13,537	30,000	30,000	0,000	39,781
9	0,994	-16,571	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,982	-18,624	5,919	2,000	0,000	0,000

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
11	1,025	-16,571	0,000	0,000	0,000	15,298
12	0,997	-17,598	11,200	7,500	0,000	0,000
13	1,025	-17,598	0,000	0,000	0,000	20,209
14	0,985	-18,700	6,200	1,600	0,000	0,000
15	0,982	-18,975	8,200	-3,347	0,000	0,000
16	0,983	-18,337	3,500	1,800	0,000	0,000
17	0,977	-18,772	9,000	5,800	0,000	0,000
18	0,969	-19,632	3,200	0,900	0,000	0,000
19	0,965	-19,808	9,500	3,400	0,000	0,000
20	0,968	-19,576	2,200	0,700	0,000	0,000
21	0,973	-19,581	19,669	-0,204	0,000	0,000
22	0,975	-19,389	0,000	0,000	0,000	0,000
23	0,973	-19,603	3,200	1,600	0,000	0,000
24	0,964	-20,313	15,000	-1,432	0,000	0,000
25	0,960	-19,684	1,000	0,000	0,000	0,000
26	0,981	-20,156	3,500	2,300	0,000	0,000
27	0,967	-18,875	0,000	0,000	0,000	0,000
28	0,987	-13,528	0,000	0,000	0,000	0,000
29	0,983	-20,645	3,659	0,900	0,000	0,000
30	0,970	-21,713	12,000	1,900	0,000	0,000
Total			295,647	100,817	316,701	138,765

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.13 Hasil Aliran Daya Setelah Pemasangan SSSC pada Sistem Standar IEEE 30 Bus

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
1		276,701	-38,492	279,365		
	2	183,388	-35,711	186,833	6,344	13,506
	3	93,313	-2,781	93,354	3,746	9,524
2		18,300	36,561	40,885		
	1	-177,044	49,217	183,758		
	4	46,244	-0,863	46,252	1,184	-0,093
	5	85,000	-7,389	85,321	3,323	9,717
	6	64,099	-4,405	64,251	2,321	3,286
3		-2,400	-1,200	2,683		
	1	-89,566	12,305	90,408		
	4	87,166	-13,505	88,206	1,033	2,137
4		-7,600	-1,600	7,767		
	2	-45,060	0,770	45,067		

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	3	-86,133	15,642	87,542		
	6	77,362	-18,078	79,446	0,764	1,776
	12	46,232	0,066	46,232	0,000	5,579
5		-94,200	33,708	100,049		
	2	-81,678	17,105	83,449		
	7	-12,522	16,603	20,796	0,215	-1,469
6		0,000	0,000	0,000		
	2	-61,779	7,691	62,256		
	4	-76,598	19,854	79,129		
	7	35,902	-7,708	36,720	0,365	-0,537
	8	30,441	-11,108	32,404	0,128	-0,435
	9	31,794	-1,257	31,819	0,000	2,153
	10	17,988	2,195	18,121	0,000	1,866
	28	22,252	-9,668	24,261	0,087	-12,385
7		-22,800	-10,900	25,272		
	5	12,737	-18,071	22,109		
	6	-35,537	7,171	36,254		
8		-30,000	9,781	31,554		
	6	-30,313	10,673	32,137		
	28	0,313	-0,892	0,945	0,001	-4,181
9		0,000	0,000	0,000		
	6	-31,794	3,409	31,976		
	10	31,794	11,426	33,785	0,000	1,271
	11	0,000	-14,835	14,835	0,000	0,463
10		-5,919	-2,000	6,248		
	6	-17,988	-0,329	17,991		
	9	-31,794	-10,155	33,376		
	17	4,621	4,423	6,397	0,014	0,036
	20	8,705	2,570	9,077	0,080	0,179
	21	21,830	1,104	21,858	0,172	0,371
	22	8,707	0,387	8,716	0,057	0,118
11		0,000	15,298	15,298		
	9	0,000	15,298	15,298		
12		-11,200	-7,500	13,479		
	4	-46,232	5,512	46,559		
	13	0,000	-19,665	19,665	0,000	0,544
	14	7,942	1,167	8,027	0,080	0,166
	15	19,107	2,080	19,220	0,246	0,484
	16	7,983	3,406	8,679	0,072	0,150
13		0,000	20,209	20,209		

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	12	0,000	20,209	20,209		
14		-6,200	-1,600	6,403		
	12	-7,862	-1,001	7,925		
	15	1,662	-0,599	1,767	0,007	0,006
15		-8,200	3,347	8,573		
	12	-18,861	-1,596	18,929		
	14	-1,655	0,605	1,762		
	18	6,353	2,766	6,929	0,053	0,109
	23	5,964	1,572	6,167	0,039	0,080
16		-3,500	-1,800	3,936		
	12	-7,912	-3,256	8,555		
	17	4,412	1,456	4,645	0,018	0,043
17		-9,000	-5,800	10,707		
	10	-4,607	-4,387	6,362		
	16	-4,393	-1,413	4,615		
18		-3,200	-0,900	3,324		
	15	-6,299	-2,658	6,837		
	19	3,099	1,758	3,563	0,009	0,017
19		-9,500	-3,400	10,090		
	18	-3,091	-1,740	3,547		
	20	-6,409	-1,660	6,621	0,016	0,032
20		-2,200	-0,700	2,309		
	10	-8,625	-2,392	8,951		
	19	6,425	1,692	6,644		
21		-19,669	0,204	19,670		
	10	-21,657	-0,732	21,670		
	23	1,988	0,936	2,198	0,001	0,001
22		0,000	0,000	0,000		
	10	-8, 650	-0,268	8,654		
	24	8,650	0, 268	8,654	0,091	0,141
23		-3,200	-1,600	3,578		
	15	-5,924	-1,492	6,109		
	21	-1,988	-0,935	2,197		
	24	4,712	0,827	4,784	0,032	0,065
24		-15,000	1,432	15,068		
	22	-8,559	-0,127	8,560		
	23	-4,680	-0,762	4,742		
	25	-1,761	2,321	2,913	0,017	0,030
25		-1,000	0,000	1,000		
	24	1,778	-2,291	2,900		

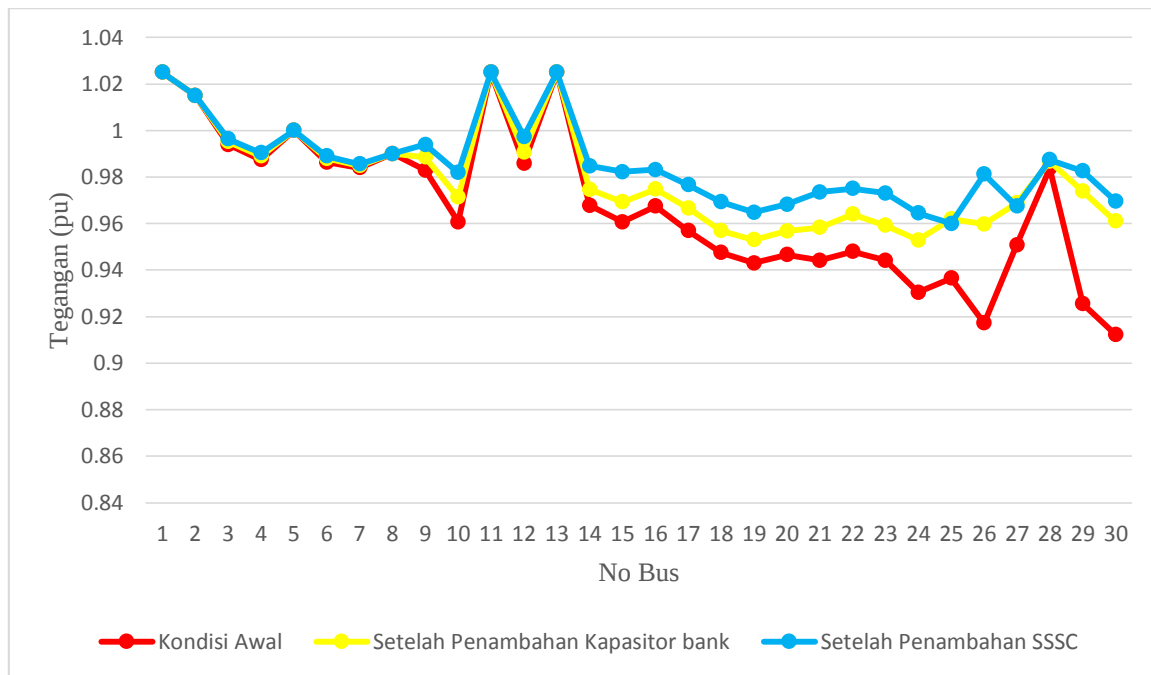
Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	26	-1,063	-4,641	4,761	0,063	0,093
	27	-6,328	-0,084	6,329	0,048	0,091
26		-3,500	-2,300	4,188		
	25	1,126	4,734	4,866		
27		0,000	0,000	0,000		
	25	6,376	0,175	6,378		
	28	-22,476	-3,808	22,797	0,000	2,199
	29	4,119	-5,581	6,936	0,113	0,213
	30	5,947	-3,315	6,808	0,159	0,298
28		0,000	0,000	0,000		
	6	-22,164	-2,718	22,330		
	8	-0,312	-3,289	3,303		
	27	22,476	6,006	23,265		
29		-3,659	-0,900	3,768		
	27	-4,006	5,794	7,044		
	30	4,231	0,509	4,273	0,045	0,086
30		-12,000	-1,900	12,149		
	27	-5,788	3,613	6,823		
	29	-4,186	-0,509	4,217		
Total					20,941	37,732

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.12 dapat dilihat bahwa setelah penambahan SSSC mengalami perbaikan tegangan pada beberapa bus dan tegangan pada tiap bus berada pada batasan yang ditentukan ($0,95 \text{ pu} \leq V \leq 1,05 \text{ pu}$). Dan dari Tabel 4.13 dapat dilihat bahwa setelah penambahan SSSC mengalami penurunan rugi daya aktif di beberapa saluran. Dari total rugi daya aktif 21,429 MW berkurang menjadi 20,941 MW.

4.1.4 Perbandingan Simulasi Sistem Standar IEEE 30 Bus

Setelah melakukan pengujian pada sistem standar IEEE 30 bus dengan berbagai kondisi yang diujikan yaitu sistem sebelum adanya penambahan kompensator, setelah penambahan kapasitor bank dengan optimasi GSA dan setelah penambahan SSSC dengan optimasi GSA. Akan dibandingkan berdasarkan nilai tegangan tiap bus dan rugi daya aktif yang dihasilkan.



Gambar 4.4 Perbandingan Profil Tegangan Sistem Standar IEEE 30 Bus pada Tiga Kondisi. Sumber: Hasil Perhitungan.

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa dalam pengujian sistem sebelum penambahan Kapasitor bank dan SSSC terdapat beberapa bus pada sistem yang memiliki nilai tegangan di bawah batas fungsi objektif yang ditentukan ($0,95 \text{ pu} \leq V \leq 1,05 \text{ pu}$). Akan tetapi setelah mendapat penambahan Kapasitor bank dan SSSC pada sistem, maka terdapat perbaikan nilai tegangan pada bus-bus sistem tersebut, dengan penambahan SSSC pada sistem perubahan level tegangan lebih baik dari pada Kapasitor bank. Dari hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan melakukan penambahan kapasitor bank dan SSSC pada sistem, maka sistem mengalami perbaikan tegangan pada beberapa bus dan tegangan pada tiap bus berada pada batasan yang ditentukan.

Tabel 4.14 Perbandingan Rugi Daya Aktif dan Rugi Daya Reaktif Sistem Standar IEEE 30 Bus pada Tiga Kondisi

Simulasi	Kondisi Awal	Setelah Penambahan Kapasitor Bank	Setelah Penambahan SSSC
Rugi Daya Aktif (MW)	21,429	21,014	20,941
Rugi Daya Reaktif (MVAR)	40,797	38,698	37,732

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.14 dapat diketahui bahwa nilai rugi daya aktif dan reaktif yang terjadi pada sistem saat kondisi awal adalah sebesar 21,429 MW dan 40,797 MVAR. Sedangkan nilai rugi daya aktif dan reaktif yang terjadi pada sistem setelah penambahan kapasitor bank yang dioptimasi oleh GSA adalah 21,014 MW dan 38,698 MVAR, dan dengan penambahan SSSC dengan optimasi GSA sebesar 20,941 MW dan 37,732 MVAR. Dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan kapasitor bank dan SSSC yang dioptimasi dengan GSA dapat mereduksi rugi daya aktif dan reaktif.

3.2 Data Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV

Setelah melakukan validasi pada data sistem standart IEEE 30 bus selanjutnya dilakukan simulasi pada data sistem transmisi Jawa Bali 500 kV. Berikut data sistem transmisi Jawa-Bali.

Tabel 4.15 Data Pembangkitan Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV

No. Bus	P_G (MW)	Q_G (MVAR)
1	2766,000	1144,000
8	767,000	244,400
10	422,000	141,000
11	566,930	111,710
15	2230,000	201,000
17	515,160	157,340
22	4038,100	715,060
23	764,000	100,050

Sumber: Abri, PT. PLN (Persero) Pusat Pengaturan Beban (P2B) (2016)

Tabel 4.16 Data Pembebanan Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV

No. Bus	Nama Bus	P (MW)	Q (MVAR)
1	Suralaya	147,860	77,440
2	Cilegon	100,230	193,240
3	Kembangan	122,000	114,000
4	Gandul	571,280	-31,200
5	Cibinong	367,320	231,140
6	Cawang	523,000	108,000
7	Bekasi	740,000	-7,000
8	Muara Tawar	0,000	0,000
9	Cibatu	947,000	410,000
10	Cirata	667,070	261,070
11	Saguling	0,000	0,000
12	Bandung Selatan	557,000	261,000
13	Mandiracan	67,960	66,790
14	Ungaran	654,000	410,000
15	Tanjung Jati	292,000	55,000
16	Surabaya Barat	932,850	339,710
17	Gresik	102,300	118,770
18	Depok	503,990	108,380
19	Tasikmalaya	285,000	92,000
20	Pedan	674,000	231,000
21	Kediri	615,434	178,800
22	Paiton	869,000	210,000
23	Grati	447,400	280,300
24	Ngimbang	574,000	164,000
25	Balaraja	577,000	184,000
26	Ujung Berung	25,730	4,180

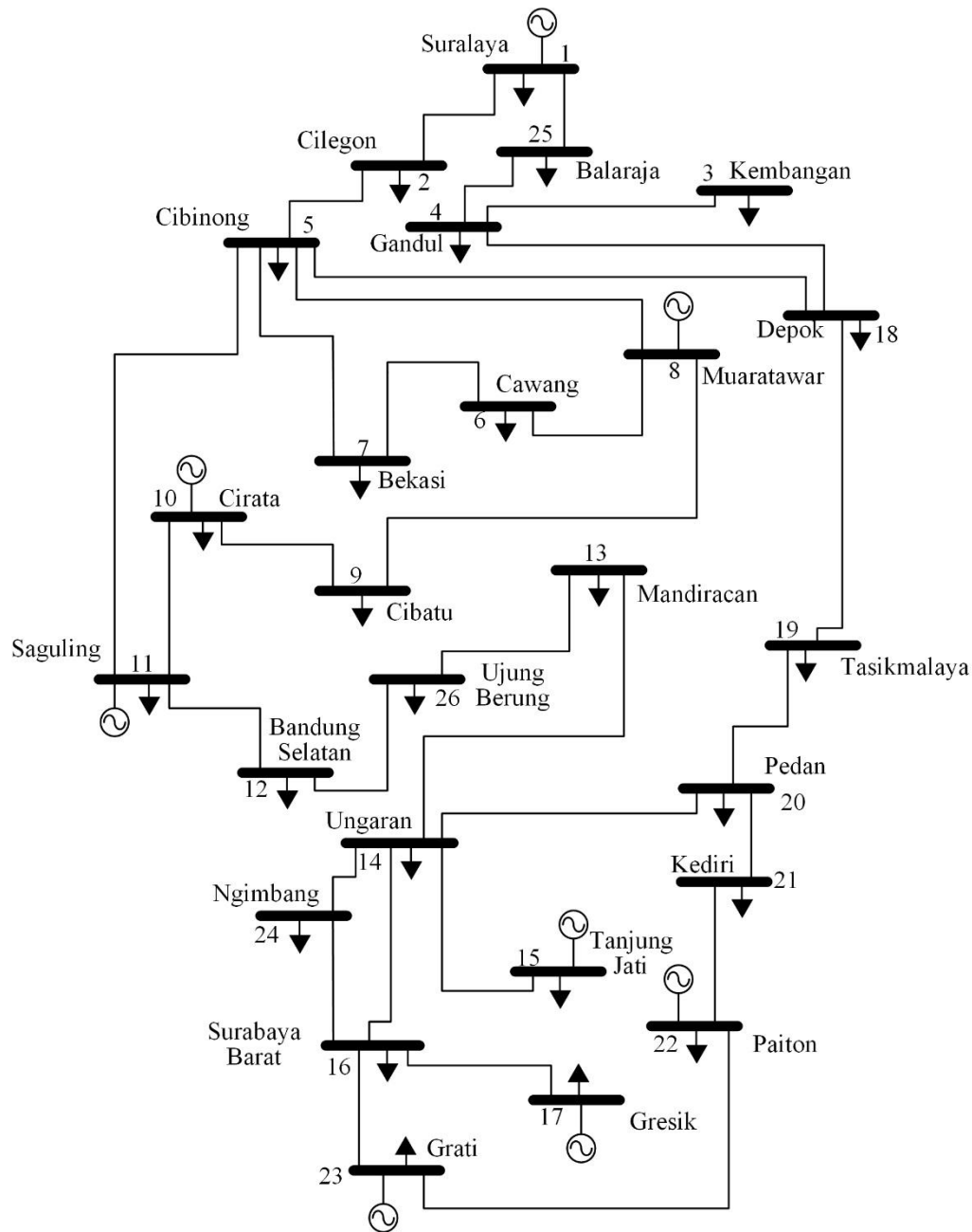
Sumber: Abri, PT. PLN (Persero) Pusat Pengaturan Beban (P2B) (2016)

Tabel 4.17 Data Saluran Transmisi Jawa Bali 500 kV

No Saluran	Bus Asal	Bus Tujuan	Resistansi	Reaktansi
1	1	2	0,000626496	0,007008768
2		25	0,003677677	0,035333317
3	2	5	0,013133324	0,146925792
4	3	4	0,001513179	0,016928308
5	4	18	0,000694176	0,006669298
6	5	7	0,004441880	0,042675400
7		8	0,006211600	0,059678000
8		11	0,004111380	0,045995040
9	6	7	0,001973648	0,018961840

No Saluran	Bus Asal	Bus Tujuan	Resistansi	Reaktansi
10		8	0,005625600	0,0540480000
11	8	9	0,002822059	0,0271129540
12	9	10	0,002739960	0,0263241910
13	10	11	0,001474728	0,0141684580
14	11	12	0,001957800	0,0219024000
15	12	13	0,006990980	0,0671659000
16		26	0,000385000	0,0037030000
17	13	14	0,013478000	0,1294900000
18		26	0,000868000	0,0097008000
19	14	15	0,013533920	0,1514073600
20		16	0,015798560	0,1517848000
21		20	0,009036120	0,0868146000
22	16	17	0,001394680	0,0133994000
23		23	0,003986382	0,0445966560
24	18	5	0,000818994	0,0078684800
25		19	0,014056000	0,1572480200
26	19	20	0,015311000	0,0171288000
27	20	21	0,010291000	0,0115128000
28	21	22	0,010291000	0,0115128000
29	22	23	0,004435823	0,1049624661
30	24	14	0,023479613	0,2255805880
31		16	0,005966652	0,0573244660
32	25	4	0,002979224	0,0286229200

Sumber: Abri, PT. PLN (Persero) Pusat Pengaturan Beban (P2B) (2016)



Gambar 4.5 Single Line Diagram Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV.
Sumber: Abri, PT. PLN (Persero) Pusat Pengaturan Beban (P2B) (2016).

4.2.1 Simulasi Kondisi Awal Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV

Simulasi aliran daya sistem transmisi Jawa Bali 500 kV dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB. Simulasi akan diuji dalam keadaan belum adanya pemasangan Kapasitor bank dan SSSC. Analisis aliran daya dilakukan dengan menggunakan Newton Raphson. Hasil simulasi berupa aliran daya, rugi-rugi daya transmisi dan tegangan masing-masing *bus*.

Tabel 4.18 Hasil Simulasi Kondisi Awal Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	1,020	0,000	147,860	77,440	2325,343	1180,833
2	1,017	-0,240	100,230	193,240	0,000	0,000
3	0,976	-4,518	122,000	144,000	0,000	0,000
4	0,978	-4,407	571,280	-31,200	0,000	0,000
5	0,979	-4,779	367,320	231,140	0,000	0,000
6	0,983	-6,840	523,000	108,000	0,000	0,000
7	0,981	-6,787	740,000	-7,000	0,000	0,000
8	1,000	-5,378	0,000	0,000	767,000	1221,661
9	0,983	-5,926	947,000	410,000	0,000	0,000
10	0,980	-5,053	667,070	261,070	422,000	534,148
11	0,975	-4,347	0,000	0,000	566,930	213,634
12	0,959	-3,764	557,000	261,000	0,000	0,000
13	0,955	-3,074	67,960	66,790	0,000	0,000
14	0,931	5,809	654,000	410,000	0,000	0,000
15	0,990	23,916	292,000	55,000	2230,000	568,697
16	0,961	4,925	932,850	339,710	0,000	0,000
17	0,970	5,214	102,300	118,770	515,160	713,323
18	0,977	-4,491	503,990	108,380	0,000	0,000
19	0,922	4,427	285,000	92,000	0,000	0,000
20	0,937	5,965	674,000	231,000	0,000	0,000
21	0,959	7,288	615,343	178,800	0,000	0,000
22	0,990	8,858	869,000	210,000	4038,100	854,774
23	0,975	7,263	447,400	280,300	764,000	283,737
24	0,944	3,481	574,000	164,000	0,000	0,000
25	0,992	-2,901	577,000	184,000	0,000	0,000
26	0,958	-3,577	25,730	4,180	0,000	0,000
Total			11363,424	4090,620	11628,533	5570,808

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.19 Hasil Aliran Daya Kondisi Awal Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
1		2177,483	1103,393	2441,087		
	2	657,512	428,629	784,885	0,372	1,790
	25	1519,971	674,765	1663,015	9,777	93,476
2		-100,230	-193,240	217,687		
	1	-657,141	-426,839	783,598	0,372	1,790

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	5	556,911	233,599	603,919	4,635	51,741
3		-122,000	-144,000	188,733		
	4	-122,000	-144,000	188,733	0,056	-0,272
4		-571,280	31,200	572,131		
	3	122,056	143,728	188,562	0,056	-0,272
	18	236,745	255,401	348,249	0,089	-3,732
	25	-930,081	-367,929	1000,211	3,112	29,360
5		-367,320	-231,140	433,993		
	2	-552,276	-181,858	581,447	4,635	51,741
	7	776,097	-116,375	784,773	2,855	27,074
	8	133,750	-361,504	385,453	0,963	8,987
	11	-148,324	93,697	175,440	0,132	1,147
	18	-576,566	334,901	666,774	0,381	1,912
6		-523,000	-108,000	534,035		
	7	-33,201	136,022	140,015	0,040	-0,427
	8	-489,799	-244,022	547,220	1,741	16,438
7		-740,000	7,000	740,033		
	5	-773,241	143,449	786,435	2,855	27,074
	6	33,241	-136,449	140,440	0,040	-0,427
8		767,000	1221,661	1442,479		
	5	-132,787	370,491	393,569	0,963	8,987
	6	491,540	260,460	556,283	1,741	16,438
	9	408,247	590,710	718,056	1,456	13,409
9		-947,000	-410,000	1031,944		
	8	-406,791	-577,301	706,226	1,456	13,409
	10	-540,209	167,301	565,522	0,907	8,129
10		-245,070	273,078	366,920		
	9	541,116	-159,172	564,041	0,907	8,129
	11	-786,186	432,250	897,178	1,237	10,803
11		566,930	213,634	605,846		
	5	148,457	-92,549	174,942	0,132	1,147
	10	787,423	-421,447	893,114	1,237	10,803
	12	-368,950	727,631	815,825	1,372	14,663
12		-557,000	-261,000	615,118		
	11	370,321	-712,968	803,406	1,372	14,663
	13	-156,581	75,928	174,019	0,230	1,992
	26	-770,740	376,040	857,582	0,308	2,959
13		-67,960	-66,790	95,286		
	12	156,811	-73,935	173,367	0,230	1,992
	14	-1022,278	367,903	1086,464	17,433	167,377
	26	797,507	-360,758	875,307	0,729	8,144
14		-654,000	-410,000	771,891		

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	13	1039,711	-200,526	1058,872	17,433	167,377
	15	-1882,491	107,098	1885,535	55,509	620,795
	16	70,991	-191,716	204,438	0,762	7,267
	20	-33,602	-59,358	68,209	0,048	0,304
	24	151,392	-65,497	164,953	0,737	7,017
15		1938,000	513,697	2004,926		
	14	1938,000	513,697	2004,926	55,509	620,795
16		-932,850	-339,710	992,780		
	14	-70,229	198,983	211,013	0,762	7,267
	17	-412,082	-588,191	718,179	0,778	6,362
	23	-875,458	-201,891	898,436	3,483	38,628
	24	424,920	251,390	493,714	1,575	14,875
17		412,860	594,553	723,842		
	16	412,860	594,554	723,842	0,778	6,362
18		-503,990	-108,380	515,512		
	4	-236,656	-259,132	350,935	0,089	-3,732
	5	567,947	-332,989	666,145	0,381	1,912
	19	-844,281	483,741	973,045	13,956	156,035
19		-285,000	-92,000	299,481		
	18	858,237	-327,706	918,674	13,956	156,035
	20	-1143,237	235,706	1167,282	24,544	27,377
20		-674,000	-231,000	712,486		
	14	33,650	59,662	68,498	0,048	0,304
	19	1167,781	-208,328	1186,218	24,544	27,377
	21	-1875,432	-82,334	1877,238	41,316	46,096
21		-615,434	-178,800	640,881		
	20	1916,747	128,430	1921,045	41,316	46,096
	22	-2532,182	-307,230	2550,752	72,840	81,356
22		3169,100	644,774	3234,027		
	21	2605,022	388,586	2633,845	72,840	81,356
	23	564,078	256,188	619,529	1,737	19,110
23		316,600	3,437	316,619		
	16	878,941	240,515	911,254	3,483	38,623
	23	-562,341	-237,078	610,273	1,737	19,110
24		-574,000	-164,000	596,969		
	14	-150,655	72,515	167,198	0,737	7,017
	16	-423,345	-236,515	484,933	1,575	14,875
25		-577,000	-184,000	605,628		
	1	-1510,193	-581,289	1618,203	9,777	93,476
	4	933,193	397,289	1014,243	3,112	29,360
26		-25,730	-4,180	26,067		
	12	771,048	-373,082	856,566	0,308	2,959

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	13	-796,778	368,902	878,034	0,729	8,144
Total					265,108	1480,189

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.18 didapatkan hasil *load flow* bahwa tidak semua tegangan *bus* pada sistem transmisi Jawa Bali 500 kV berada pada nilai standar yang diharapkan yaitu $0.95 \leq V_{bus} \leq 1.05$ pu. Sementara pada Tabel 4.19 dapat kita ketahui bahwa rugi daya, baik daya aktif maupun reaktif pada sistem transmisi Jawa Bali 500 kV masing – masing sebesar 265,108 MW dan 1480,189 MVAR.

4.2.2 Simulasi Optimasi Lokasi dan *Rating* Kapasitor Bank pada Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV Menggunakan GSA

Simulasi optimasi menggunakan GSA pada sistem diperlukan untuk mendapatkan lokasi optimal pemasangan kapasitor bank. Besarnya nilai daya reaktif kapasitor bank juga ditentukan menggunakan GSA untuk mendapatkan kondisi sistem yang lebih baik, dimana mendapatkan total rugi daya aktif paling kecil. Optimasi yang dilakukan untuk menentukan lokasi dan kapasitas dari kapasitor bank pada sistem mengikuti ketentuan jumlah kapasitor bank yang ditambahkan pada sistem transmisi Jawa Bali 500 kV adalah 3 buah dengan masing-masing kapasitor bank berkapasitas 0 sampai 75 MVAR. Pada Tabel 4.20 didapatkan hasil dari optimasi penempatan dan kapasitas kapasitor bank dengan menggunakan GSA untuk mendapatkan nilai rugi daya aktif paling kecil.

Tabel 4.20 Hasil Optimasi Penempatan dan *Rating* Kapasitor Bank Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV menggunakan GSA

Kapasitor Bank	Lokasi	Rating (MVAR)	Fitness
Kapasitor bank 1	21	59,7450	239,9402
Kapasitor bank 2	20	51,8988	
Kapasitor bank 3	13	23,6301	
Total		135,2739	

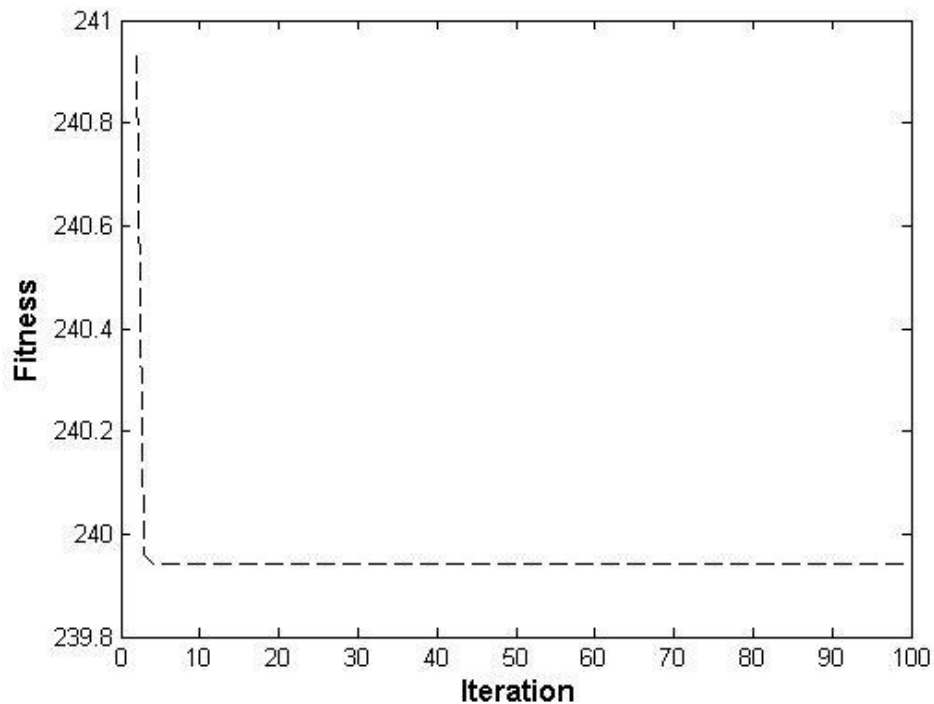
Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.21 Hasil Pengujian Penempatan dan *Rating* Kapasitor Bank Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV menggunakan GSA

Pengujian ke-	Fitness	Konvergen (Iterasi ke-)	Waktu
1	240,1006	11	1 menit 58,64 detik
2	240,0941	4	1 menit 59,77 detik
3	243,6198	4	1 menit 59,42 detik
4	239,9402	4	1 menit 58,98 detik
5	240,2484	3	1 menit 59,02 detik
6	240,1710	4	1 menit 57,79 detik
7	240,2004	10	1 menit 57,87 detik
8	240,1766	6	1 menit 58,30 detik
9	240,0480	4	1 menit 58,95 detik
10	240,2627	3	1 menit 57,97 detik

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.21 merupakan hasil dari pengujian program GSA untuk optimasi penempatan dan *rating* kapasitor bank pada sistem transmisi Jawa Bali 500 kV. Pengujian ini dilakukan sebanyak 10 kali dengan tujuan untuk mendapatkan nilai fitness yang paling minimum dengan tetap memperhatikan batasan tegangan pada tiap bus. Hal ini perlu dilakukan karena algoritma GSA menempatkan posisi agen secara acak sehingga pada setiap hasil *running* program tidak selalu memberikan hasil yang sama. Berdasarkan Tabel 4.21 diambil data hasil pengujian ke-4 dengan nilai fitness yang paling minimum yaitu 239,9402.



Gambar 4.6 Grafik Konvergensi Nilai Fitness Pemasangan Kapasitor Bank Menggunakan GSA pada Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV.

Sumber: Hasil Perhitungan.

Pada simulasi optimasi penempatan dan kapasitas Kapasitor bank menggunakan GSA dilakukan sebanyak 100 iterasi. Dari Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa nilai fitness yang paling minimum terdapat pada iterasi ke-0 menuju ke iterasi ke-10 dengan kata lain nilai fitness telah mencapai titik konvergensi dengan nilai fitness 239,9402.

Tabel 4.22 Hasil Simulasi Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV Setelah Pemasangan Kapasitor Bank

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	1,020	0,000	147,860	77,440	2321,076	1161,183
2	1,017	-0,239	100,230	193,240	0,000	0,000
3	0,977	-4,508	122,000	144,000	0,000	0,000
4	0,979	-4,398	571,280	-31,200	0,000	0,000
5	0,979	-4,769	367,320	231,140	0,000	0,000
6	0,984	-6,826	523,000	108,000	0,000	0,000
7	0,981	-6,773	740,000	-7,000	0,000	0,000
8	1,000	-5,364	0,000	0,000	767,000	1203,136
9	0,983	-5,913	947,000	410,000	0,000	0,000
10	0,980	-5,041	667,070	261,070	422,000	534,120
11	0,975	-4,336	0,000	0,000	566,930	150,625

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
12	0,961	-3,763	557,000	261,000	0,000	0,000
13	0,957	-3,079	67,960	66,790	0,000	0,000
14	0,955	5,707	654,000	410,000	0,000	0,000
15	0,990	23,752	292,000	55,000	2230,000	539,151
16	0,964	4,822	932,850	339,710	0,000	0,000
17	0,970	5,126	102,300	118,770	515,160	529,883
18	0,978	-4,481	503,990	108,380	0,000	0,000
19	0,951	4,355	285,000	92,000	0,000	0,000
20	0,967	5,825	674,000	231,000	0,000	0,000
21	0,969	7,090	615,343	178,800	0,000	0,000
22	1,000	8,635	869,000	210,000	4038,100	848,450
23	0,985	7,082	447,400	280,300	764,000	447,488
24	0,967	3,389	574,000	164,000	0,000	0,000
25	0,993	-2,896	577,000	184,000	0,000	0,000
26	0,960	-3,578	25,730	4,180	0,000	0,000
Total			11363,424	4090,620	11624,266	5414,036

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.23 Hasil Aliran Daya Setelah Pemasangan Kapasitor Bank pada Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
1		2173,216	1083,743	2428,449		
	2	656,270	423,830	781,231	0,368	1,751
	25	1516,946	659,914	1654,271	9,675	92,491
2		-100,230	-193,240	217,687		
	1	-655,902	-422,079	779,973		
	5	555,672	228,839	600,948	4,589	51,228
3		-122,000	-144,000	188,733		
	4	-122,000	-144,000	188,733	0,056	-0,274
4		-571,280	31,200	572,131		
	3	122,056	143,726	188,560		
	18	233,875	242,043	336,574	0,083	-3,799
	25	-927,211	-354,568	992,693	3,060	28,855
5		-367,320	-231,140	433,993		
	2	-551,083	-177,611	578,997		
	7	776,517	-110,389	784,325	2,848	27,001
	8	134,128	-349,877	374,705	0,908	8,465
	11	-146,982	109,121	183,060	0,144	1,276
	18	-579,900	297,616	651,812	0,363	1,741
6		-523,000	-108,000	534,035		

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	7	-33,632	129,931	134,213	0,037	-0,460
	8	-489,368	-237,931	544,143	1,721	16,239
7		-740,000	7,000	740,033		
	5	-773,669	137,391	785,774		
	6	33,669	-130,391	134,668		
8		767	1203,136	1426,824		
	5	-133,219	358,342	382,304		
	6	491,088	254,170	552,965		
	9	409,131	590,624	718,488	1,458	13,426
9		-947,000	-410,000	1031,944		
	8	-407,674	-577,198	706,651		
	10	-539,326	167,198	564,649	0,905	8,102
10		-245,070	273,050	366,900		
	9	540,231	-159,096	563,171		
	11	-785,301	432,147	896,353	1,234	10,781
11		566,930	150,625	586,598		
	5	147,126	-107,845	182,419		
	10	786,535	-421,366	892,293		
	12	-366,731	679,835	772,443	1,230	13,074
12		-557,000	-261,000	615,118		
	11	367,961	-666,762	761,555		
	13	-156,256	68,244	170,508	0,220	1,899
	26	-768,705	337,517	839,539	0,294	2,829
13		-67,960	-43,160	80,507		
	12	156,476	-66,345	169,960		
	14	-1057,237	203,712	1076,684	17,063	163,818
	26	795,428	-322,703	858,395	0,698	7,806
14		-654,000	-410,000	771,891		
	13	1074,300	-39,894	1075,040		
	15	-1911,962	260,120	1929,576	55,199	617,323
	16	87,354	-60,485	106,251	0,195	1,825
	20	-34,604	-121,646	126,472	0,158	1,349
	24	159,228	-61,355	170,640	0,749	7,129
15		1938,000	484,151	1997,560		
	14	1967,161	357,203	1999,329		
16		-932,850	-339,710	992,780		
	14	-87,159	62,310	107,142		
	17	-412,356	-407,384	579,654	0,504	3,729
	23	-872,039	-365,236	945,436	3,836	42,573
	24	397,399	-88,206	407,071	1,064	9,966
17		412,860	411,113	582,638		
	16	412,860	411,113	582,638		

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
18		-503,990	-108,380	515,512		
	4	-233,792	-245,841	339,259		
	5	580,263	-295,875	651,343		
	19	-880,304	313,142	934,341	12,840	143,554
19		-285,000	-92,000	299,481		
	18	893,144	-169,588	909,102		
	20	-1189,189	209,982	1207,586	24,680	27,524
20		-674,000	-179,101	697,390		
	14	34,762	122,995	127,813		
	19	1213,869	-182,458	1227,505		
	21	-1085,603	795,960	1346,138	19,951	22,189
21		-615,434	-119,055	626,844		
	20	1105,554	-773,771	1349,433		
	22	-2536,648	-299,372	2554,252	71,483	79,835
22		3169,100	638,450	3232,772		
	21	2608,131	379,208	2635,554		
	23	560,969	259,242	617,975	1,694	18,622
23		316,600	167,188	358,032		
	16	875,875	407,809	966,160		
	22	-559,275	-240,621	608,840		
24		-574,000	-164,000	596,969		
	14	-158,479	68,484	172,643		
	16	-396,335	98,173	408,313		
25		-577,000	-184,000	605,628		
	1	-1507,271	-567,423	1610,539		
	4	930,271	383,423	1006,190		
26		-25,730	-4,180	26,067		
	12	769,000	-334,688	838,676		
	13	-794,730	330,508	860,715		
Total					239,308	1421,867

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.22 dapat dilihat bahwa setelah penambahan Kapasitor bank mengalami perbaikan tegangan pada beberapa bus dan tegangan pada tiap bus berada pada batasan yang ditentukan ($0,95 \text{ pu} \leq V \leq 1,05 \text{ pu}$). Dan dari Tabel 4.23 dapat dilihat bahwa setelah penambahan Kapasitor bank mengalami penurunan rugi daya aktif di beberapa saluran. Dari total rugi daya aktif 265,108 MW berkurang menjadi 239,308 MW.

4.2.3 Simulasi Optimasi Lokasi dan *Rating* SSSC pada Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV Menggunakan GSA

Simulasi optimasi menggunakan GSA pada sistem diperlukan untuk mendapatkan lokasi optimal pemasangan SSSC. Besarnya nilai daya reaktif SSSC juga ditentukan menggunakan GSA untuk mendapatkan kondisi sistem yang lebih baik, dimana mendapatkan total rugi daya aktif paling kecil. Optimasi yang dilakukan untuk menentukan lokasi dan kapasitas dari SSSC pada sistem mengikuti ketentuan jumlah SSSC yang ditambahkan pada sistem transmisi Jawa Bali 500 kV adalah 3 buah dengan masing-masing SSSC berkapasitas -0,15 sampai 0,15 pu. Pada Tabel 4.24 didapatkan hasil dari optimasi penempatan dan kapasitas SSSC dengan menggunakan GSA untuk mendapatkan nilai rugi daya aktif paling kecil.

Tabel 4.24 Hasil Optimasi Penempatan dan *Rating* SSSC pada Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV Menggunakan GSA

Saluran	Dari Bus	Menuju Bus	<i>Rating</i> Tegangan SSSC (pu)	Daya SSSC(MVAR)	Fitness
28	21	22	-0,0763	-202,9466	237,6580
15	12	13	0,0199	3,6060	
13	10	11	0,0182	16,6503	

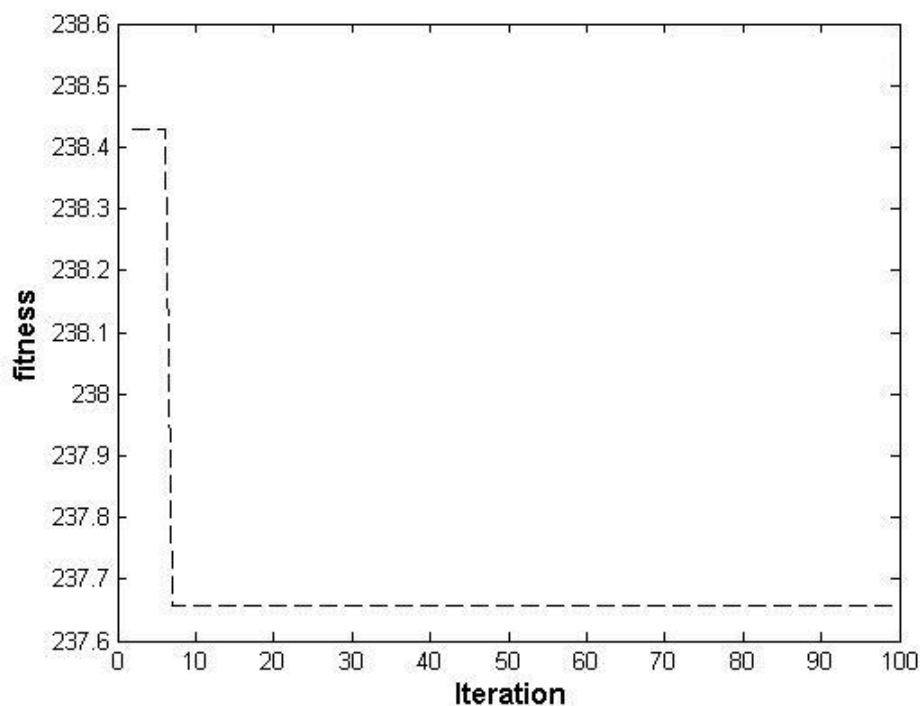
Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.25 Hasil Pengujian Penempatan dan *Rating* SSSC pada Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV Menggunakan GSA

Pengujian ke-	Fitness	Konvergen (Iterasi ke-)	Waktu
1	238,0293	22	1 menit 59,77 detik
2	238,7384	4	1 menit 59,15 detik
3	238,0228	22	1 menit 59,75 detik
4	238,6586	3	1 menit 57,79 detik
5	238,1418	25	1 menit 58,95 detik
6	237,6580	8	1 menit 57,97 detik
7	238,2408	28	1 menit 58,68 detik
8	238,7692	15	1 menit 58,30 detik
9	237,7749	4	1 menit 58,98 detik
10	237,9149	25	1 menit 57,87 detik

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.25 merupakan hasil dari pengujian program GSA untuk optimasi penempatan dan *rating* SSSC pada sistem transmisi Jawa Bali 500 kV. Pengujian ini dilakukan sebanyak 10 kali dengan tujuan untuk mendapatkan nilai *fitness* yang paling minimum dengan tetap memperhatikan batasan tegangan pada tiap bus. Hal ini perlu dilakukan karena algoritma GSA menempatkan posisi agen secara acak sehingga pada setiap hasil *running* program tidak selalu memberikan hasil yang sama. Berdasarkan Tabel 4.25 diambil data hasil pengujian ke-6 dengan nilai *fitness* yang paling minimum yaitu 237,6580.



Gambar 4.7 Grafik Konvergensi Nilai Fitness pada Optimasi SSSC Menggunakan GSA pada Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV.

Sumber: Hasil Perhitungan.

Pada simulasi optimasi penempatan dan kapasitas SSSC menggunakan GSA dilakukan sebanyak 100 iterasi. Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa nilai *fitness* yang paling maksimal terdapat pada iterasi ke-0 menuju ke iterasi ke-10 dengan kata lain nilai *fitness* telah mencapai titik konvergensi dengan nilai *fitness* 237,6580.

Tabel 4.26 Hasil Simulasi Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV Setelah Pemasangan SSSC

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	1,020	0,000	147,860	77,440	2316,473	1095,233

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
2	1,017	-0,240	100,230	193,240	0,000	0,000
3	0,980	-4,501	122,000	144,000	0,000	0,000
4	0,982	-4,391	571,280	-31,200	0,000	0,000
5	0,983	-4,759	367,320	231,140	0,000	0,000
6	0,985	-6,791	523,000	108,000	0,000	0,000
7	0,983	-6,743	740,000	-7,000	0,000	0,000
8	1,000	-5,319	0,000	0,000	767,000	929,384
9	0,988	-5,889	947,000	410,000	0,000	0,000
10	0,990	-5,054	667,070	16,650	422,000	475,611
11	0,985	-4,359	0,000	0,000	566,930	120,148
12	0,974	-3,811	557,000	3,606	0,000	0,000
13	0,970	-3,135	67,960	66,790	0,000	0,000
14	0,969	5,608	654,000	410,000	0,000	0,000
15	0,990	23,598	292,000	55,000	2230,000	512,709
16	0,964	4,800	932,850	339,710	0,000	0,000
17	0,970	5,106	102,300	118,770	515,160	502,652
18	0,981	-4,474	503,990	108,380	0,000	0,000
19	0,964	4,267	285,000	92,000	0,000	0,000
20	0,980	5,723	674,000	231,000	0,000	0,000
21	0,973	6,950	615,434	-202,947	0,000	0,000
22	1,000	8,656	869,000	210,000	4038,100	565,047
23	0,985	7,081	447,400	280,300	764,000	439,701
24	0,978	3,356	574,000	164,000	0,000	0,000
25	0,994	-2,894	577,000	184,000	0,000	0,000
26	0,973	-3,628	25,730	4,180	0,000	0,000
Total			11363,424	3207,060	11619,663	4640,485

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.27 Hasil Aliran Daya Setelah Pemasangan SSSC pada Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
1		2168,613	1017,793	2395,576		
	2	655,032	401,702	768,395	0,356	1,616
	25	1513,582	616,092	1634,167	9,441	90,244
2		-100,230	-193,240	217,687		
	1	-654,676	-400,085	767,248		
	5	554,446	206,845	591,773	4,448	49,657
3		-122,000	-144,000	188,733		
	4	-122,000	-144,000	188,733	0,056	-0,283

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
4		-571,280	31,200	572,131		
	3	122,056	143,717	188,553		
	18	230,863	201,611	306,504	0,068	-3,965
	25	-924,199	-314,128	976,125	2,942	27,721
5		-367,320	-231,140	433,993		
	2	-549,997	-157,188	572,019		
	7	775,551	-82,527	779,929	2,797	26,510
	8	130,220	-295,555	322,971	0,670	6,176
	11	-149,779	-32,488	153,262	0,100	0,781
	18	-573,314	336,619	664,832	0,375	1,846
6		-523,000	-108,000	534,035		
	7	-32,730	101,443	106,592	0,023	-0,594
	8	-490,270	-209,443	533,133	1,646	15,526
7		-740,000	7,000	740,033		
	5	-772,754	109,037	780,408		
	6	32,754	-102,037	107,165		
8		767,000	929,384	1205,008		
	5	-129,549	301,731	328,367		
	6	491,916	224,969	540,918		
	9	404,633	402,685	570,862	0,920	8,259
9		-947,000	-410,000	1031,944		
	8	-403,713	-394,426	564,408		
	10	-543,287	-15,574	543,510	0,829	7,369
10		-245,070	458,961	520,292		
	9	544,116	22,943	544,600		
	11	-789,186	436,018	901,624	1,224	10,658
11		566,930	120,148	579,521		
	5	149,879	33,269	153,527		
	10	790,410	-425,360	897,596		
	12	-373,359	512,239	633,866	0,811	8,377
12		-557,000	-3,606	557,012		
	11	374,171	-503,862	627,599		
	13	-157,151	83,957	178,172	0,234	2,022
	26	-774,020	416,300	878,869	0,313	3,013
13		-67,960	-66,790	95,286		
	12	157,385	-81,935	177,435		
	14	-1082,801	199,808	1101,082	17,375	166,812
	26	800,803	-400,835	895,519	0,740	8,272
14		-654,000	-410,000	771,891		
	13	1100,176	-32,996	1100,670		
	15	-1926,350	350,175	1957,919	55,208	617,422
	16	89,449	25,163	92,921	0,145	1,343

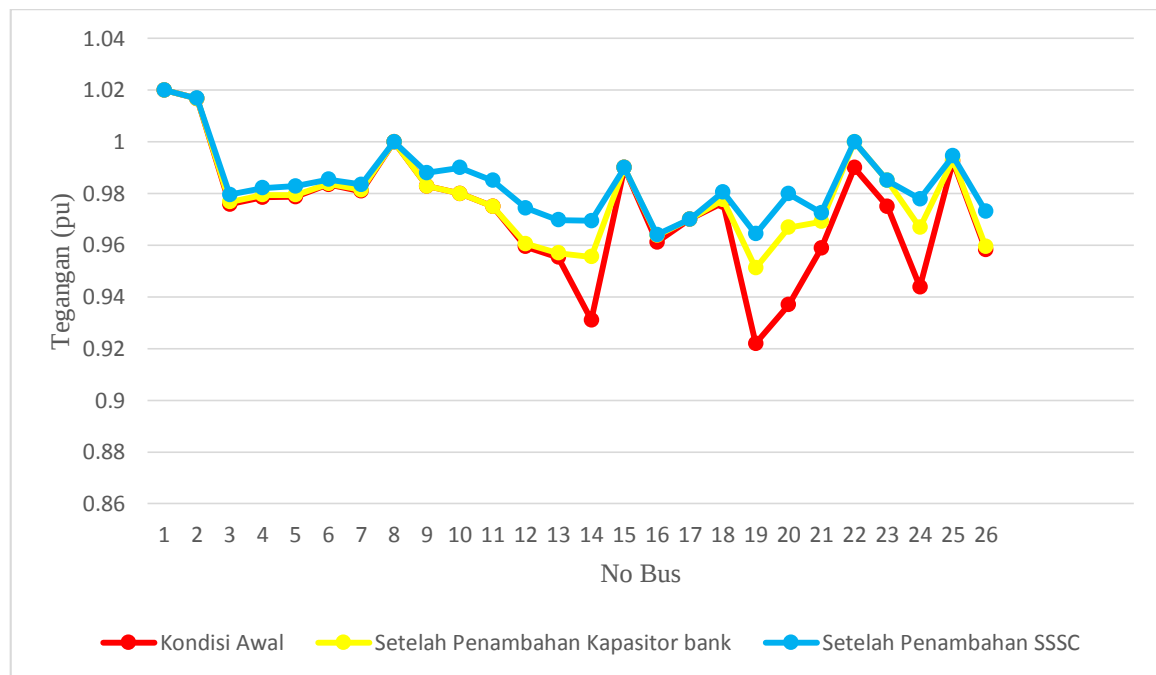
Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	20	-33,864	-113,464	118,410	0,135	1,118
	24	159,947	-50,040	167,592	0,702	6,674
15		1938,000	457,709	1991,317		
	14	1981,558	267,246	1999,498		
16		-932,850	-339,710	992,780		
	14	-89,304	-23,820	92,426		
	17	-412,388	-380,463	561,085	0,472	3,420
	23	-879,479	-356,294	948,909	3,861	42,855
	24	386,687	-267,647	470,278	1,419	13,372
17		412,860	383,882	563,754		
	16	412,860	383,883	563,755		
18		-503,990	-108,380	515,512		
	4	-230,795	-205,576	309,076		
	5	573,689	-334,773	664,223		
	19	-891,489	251,044	926,161	12,538	140,174
19		-285,000	-92,000	299,481		
	18	904,027	-110,870	910,800		
	20	-1205,455	220,067	1225,378	24,722	27,569
20		-674,000	-231,000	712,486		
	14	33,998	114,582	119,520		
	19	1230,177	-192,498	1245,147		
	21	-665,564	1237,504	1405,130	21,163	23,543
21		-615,434	202,947	648,033		
	20	686,727	-1213,961	1394,738		
	22	-2530,932	-18,434	2530,999	69,696	77,836
22		3169,100	355,047	3188,927		
	21	2600,629	96,270	2602,410		
	23	568,471	258,778	624,600	1,731	19,030
23		316,600	159,401	354,463		
	16	883,340	399,149	969,335		
	22	-566,740	-239,748	615,365		
24		-574,000	-164,000	596,969		
	14	-159,245	56,714	169,043		
	16	-385,268	281,020	476,868		
25		-577,000	-184,000	605,628		
	1	-1504,141	-525,848	1593,410		
	4	927,141	341,848	988,155		
26		-25,730	-4,180	26,067		
	12	774,333	-413,287	877,723		
	13	-800,063	409,107	898,593		
Total					237,163	1404,371

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.26 dapat dilihat bahwa setelah penambahan SSSC mengalami perbaikan tegangan pada beberapa *bus* dan tegangan pada tiap *bus* berada pada batasan yang ditentukan ($0,95 \text{ pu} \leq V \leq 1,05 \text{ pu}$). Dan dari Tabel 4.27 dapat dilihat bahwa setelah penambahan SSSC mengalami penurunan rugi daya aktif di beberapa saluran. Dari total rugi daya aktif 265,108 MW berkurang menjadi 237,163 MW.

4.2.4 Perbandingan Simulasi Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV

Setelah melakukan pengujian pada sistem transmisi Jawa Bali 500 kV dengan berbagai kondisi yang diujikan yaitu sistem sebelum adanya penambahan kompensator, setelah penambahan kapasitor bank dengan optimasi GSA dan setelah penambahan SSSC dengan optimasi GSA. Akan dibandingkan berdasarkan nilai tegangan tiap *bus* dan rugi daya aktif yang dihasilkan.



Gambar 4.8 Perbandingan Profil Tegangan Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV pada Tiga Kondisi.

Sumber: Hasil Perhitungan.

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa dalam pengujian sistem sebelum penambahan Kapasitor bank dan SSSC terdapat beberapa *bus* pada sistem yang memiliki nilai tegangan di bawah batas fungsi objektif yang ditentukan ($0,95 \text{ pu} \leq V \leq 1,05 \text{ pu}$). Akan tetapi setelah mendapat penambahan Kapasitor bank dan SSSC pada sistem, maka terdapat perbaikan nilai tegangan pada *bus-bus* sistem tersebut, dengan penambahan SSSC pada sistem perubahan level tegangan lebih baik dari pada Kapasitor bank. Dari hasil analisis

tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan melakukan penambahan kapasitor bank dan SSSC pada sistem, maka sistem mengalami perbaikan tegangan pada beberapa bus dan tegangan pada tiap bus berada pada batasan yang ditentukan.

Tabel 4.28 Perbandingan Rugi Daya Aktif dan Rugi Daya Reaktif Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV pada Tiga Kondisi

Simulasi	Kondisi Awal	Setelah Penambahan Kapasitor Bank	Setelah Penambahan SSSC
Rugi Daya Aktif (MW)	265,108	239,308	237,163
Rugi Daya Reaktif (MVAR)	1480,189	1421,867	1404,371

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.28 dapat diketahui bahwa nilai rugi daya aktif dan reaktif yang terjadi pada sistem saat kondisi awal adalah sebesar 265,108 MW dan 1480,189 MVAR. Sedangkan nilai rugi daya aktif dan reaktif yang terjadi pada sistem setelah penambahan kapasitor bank yang dioptimasi oleh GSA adalah 242,852 MW dan 1431,852 MVAR, dan dengan penambahan SSSC dengan optimasi GSA sebesar 237,810 MW dan 1402,764 MVAR. Dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan kapasitor bank dan SSSC yang dioptimasi dengan GSA dapat mereduksi rugi daya aktif dan reaktif.

3.3 Simulasi dan Analisis Kinerja Parameter GSA

Pada sub bab ini parameter-parameter yang digunakan dalam metode optimasi GSA akan diuji pada dua kondisi, yang pertama untuk optimasi penempatan kapasitor bank dan yang kedua untuk optimasi penempatan SSSC. Parameter-parameter GSA akan diuji berdasarkan kualitas dalam mendapatkan nilai fitness paling minimum.

Parameter-parameter metode optimasi GSA yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari jumlah agen merupakan jumlah penyimpanan solusi dari optimasi, jumlah iterasi merupakan jumlah perhitungan yang dilakukan dalam satu kali pengaplikasian program.

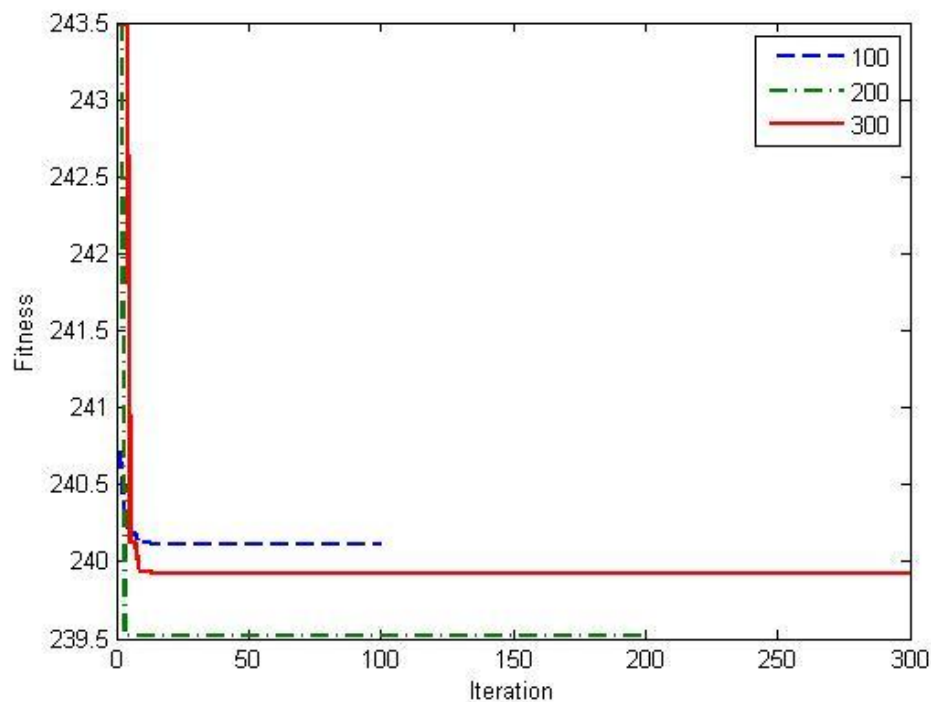
4.3.1 Simulasi Parameter GSA untuk Optimasi Penempatan Kapasitor Bank

Pada simulasi ini dilakukan tiga kali pengujian parameter GSA pada sistem transmisi Jawa Bali 500 kV.

Tabel 4.29 Hasil Pengujian Parameter Iterasi GSA untuk Optimasi Penempatan Kapasitor Bank

No	Iterasi	Fitness	Konvergen (Iterasi ke-)	Waktu
1	100	240,1129	3	1 menit 32,33 detik
2	200	239,5132	3	3 menit 5,47 detik
3	300	239,9256	14	4 menit 41,32 detik

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.9 Grafik Hasil Pengujian Parameter Iterasi GSA untuk Optimasi Penempatan Kapasitor Bank.

Sumber: Hasil Perhitungan.

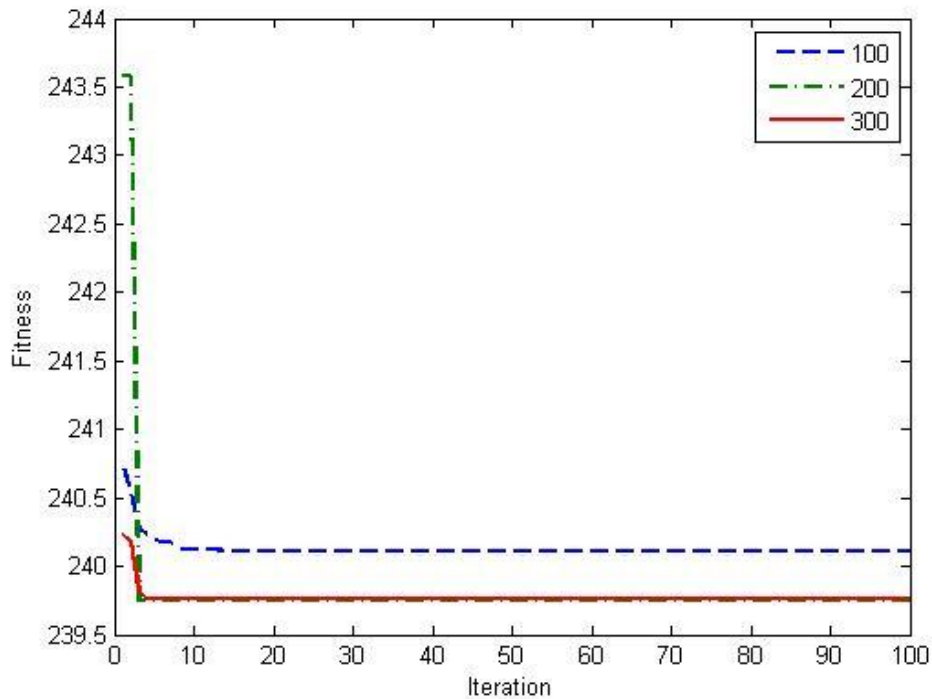
Dari Tabel 4.29 dan Gambar 4.9 dapat diambil kesimpulan bahwa parameter yang dapat mendapatkan nilai fitness terbaik terdapat pada pengujian ke-2 yaitu jumlah iterasi 200 sehingga nilai fitness yang dihasilkan 239,5132.

Tabel 4.30 Hasil Pengujian Parameter Jumlah Agen GSA untuk Optimasi Penempatan Kapasitor Bank

No	Agen	Fitness	Konvergen (Iterasi ke-)	Waktu
1	100	240,1129	3	1 menit 32,33 detik
2	200	239,7486	3	3 menit 16,63 detik

No	Agan	Fitness	Konvergen (Iterasi ke-)	Waktu
3	300	239,7572	4	4 menit 57,78 detik

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.10 Grafik Hasil Pengujian Parameter Jumlah Agen GSA untuk Optimasi Penempatan Kapasitor Bank.

Sumber: Hasil Perhitungan.

Dari Tabel 4.30 dan Gambar 4.10 dapat diambil kesimpulan bahwa parameter yang dapat mendapatkan nilai fitness terbaik terdapat pada pengujian ke-2 yaitu jumlah agen 200 sehingga nilai fitness yang dihasilkan 239,7486.

4.3.2 Simulasi Parameter GSA untuk Optimasi Penempatan SSSC

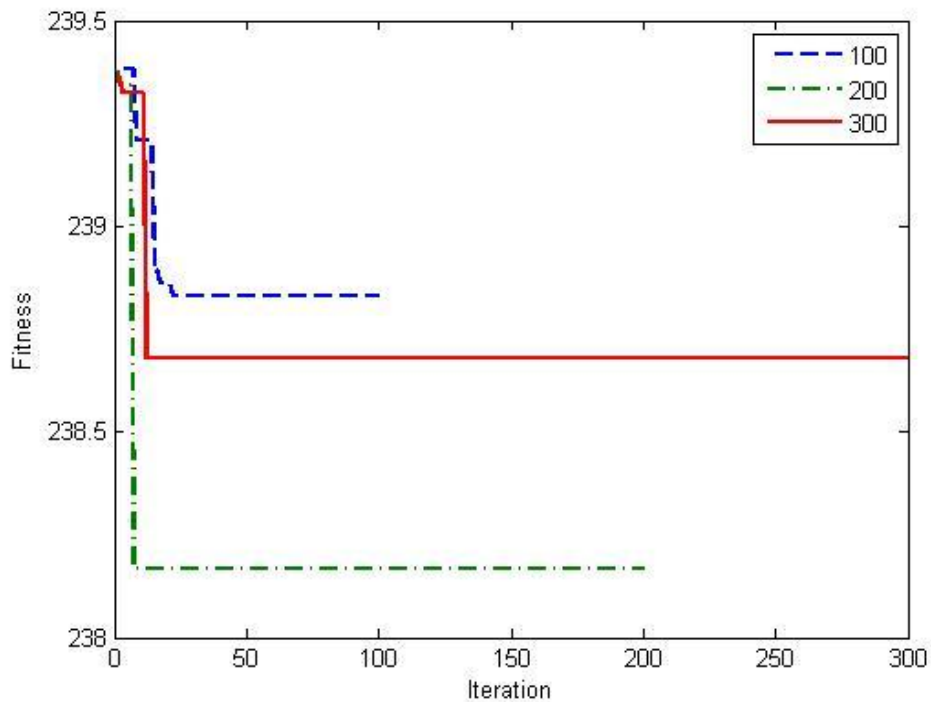
Pada simulasi ini dilakukan tiga kali pengujian parameter GSA pada sistem transmisi Jawa Bali 500 kV.

Tabel 4.31 Hasil Pengujian Parameter Iterasi GSA untuk Optimasi Penempatan SSSC

No	Iterasi	Fitness	Konvergen (Iterasi ke-)	Waktu
1	100	238,8287	22	1 menit 32,83 detik
2	200	238,1660	7	3 menit 7,21 detik

No	Iterasi	Fitness	Konvergen (Iterasi ke-)	Waktu
3	300	238,6773	12	4 menit 39,13 detik

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.11 Grafik Hasil Pengujian Parameter Iterasi GSA untuk Optimasi Penempatan SSSC.

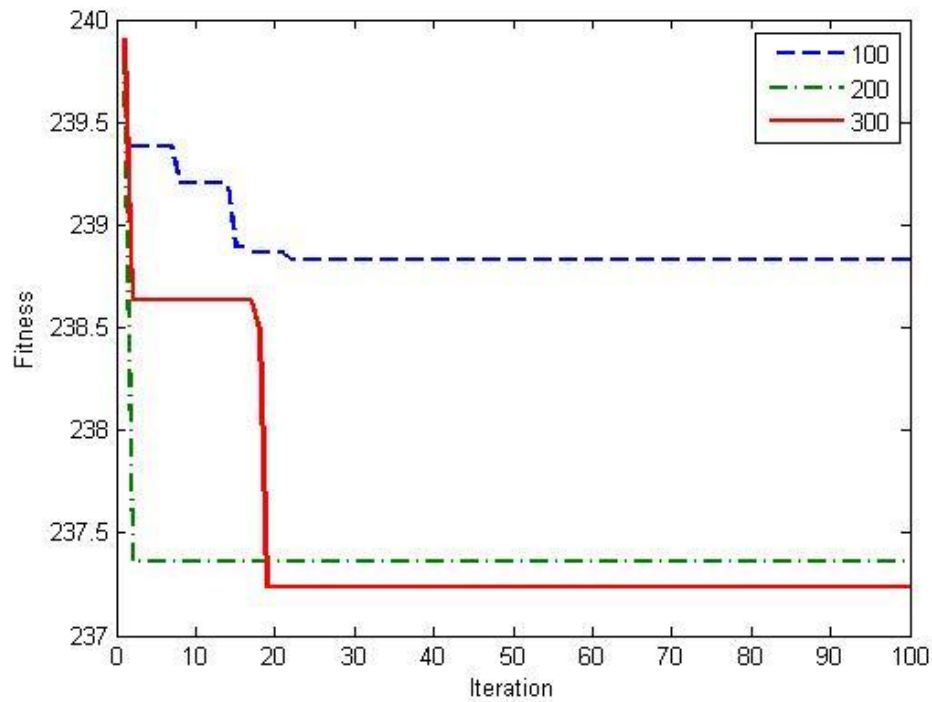
Sumber: Hasil Perhitungan.

Dari Tabel 4.31 dan Gambar 4.11 dapat diambil kesimpulan bahwa parameter yang dapat mendapatkan nilai fitness terbaik terdapat pada pengujian ke-2 yaitu jumlah iterasi 200 sehingga nilai fitness yang dihasilkan 238,1660.

Tabel 4.32 Hasil Pengujian Parameter Jumlah Agen GSA untuk Optimasi Penempatan SSSC

No	Agen	Fitness	Konvergen (Iterasi ke-)	Waktu
1	100	238,8287	22	1 menit 32,83 detik
2	200	237,3561	2	3 menit 14,13 detik
3	300	237,2340	19	5 menit 3,99 detik

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.12 Grafik Hasil Pengujian Parameter Jumlah Agen GSA untuk Optimasi Penempatan SSSC.

Sumber: Hasil Perhitungan.

Dari Tabel 4.32 dan Gambar 4.12 dapat diambil kesimpulan bahwa parameter yang dapat mendapatkan nilai fitness terbaik terdapat pada pengujian ke-3 yaitu jumlah agen 300 sehingga nilai fitness yang dihasilkan 237,2340.