

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada penulisan skripsi ini dilakukan simulasi penempatan kapasitor bank dan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) pada sistem tenaga listrik. Metode *Imperialist Competitive Algorithm* (ICA) akan digunakan guna mendapatkan lokasi dan kapasitas yang optimal dari kapasitor bank dan UPFC dalam mereduksi rugi daya dan memperbaiki tegangan sesuai dengan batas yang ditentukan.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan dua data, yaitu data sistem standar IEEE 30 bus dan data sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV. Data sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV yang digunakan adalah data pada 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. Simulasi yang diujikan pada kedua data antara lain, aliran daya sistem tanpa penambahan kapasitor bank maupun upfc, aliran daya sistem dengan penambahan kapasitor bank yang dioptimasi menggunakan ICA, dan aliran daya sistem dengan penambahan UPFC yang dioptimasi menggunakan ICA.

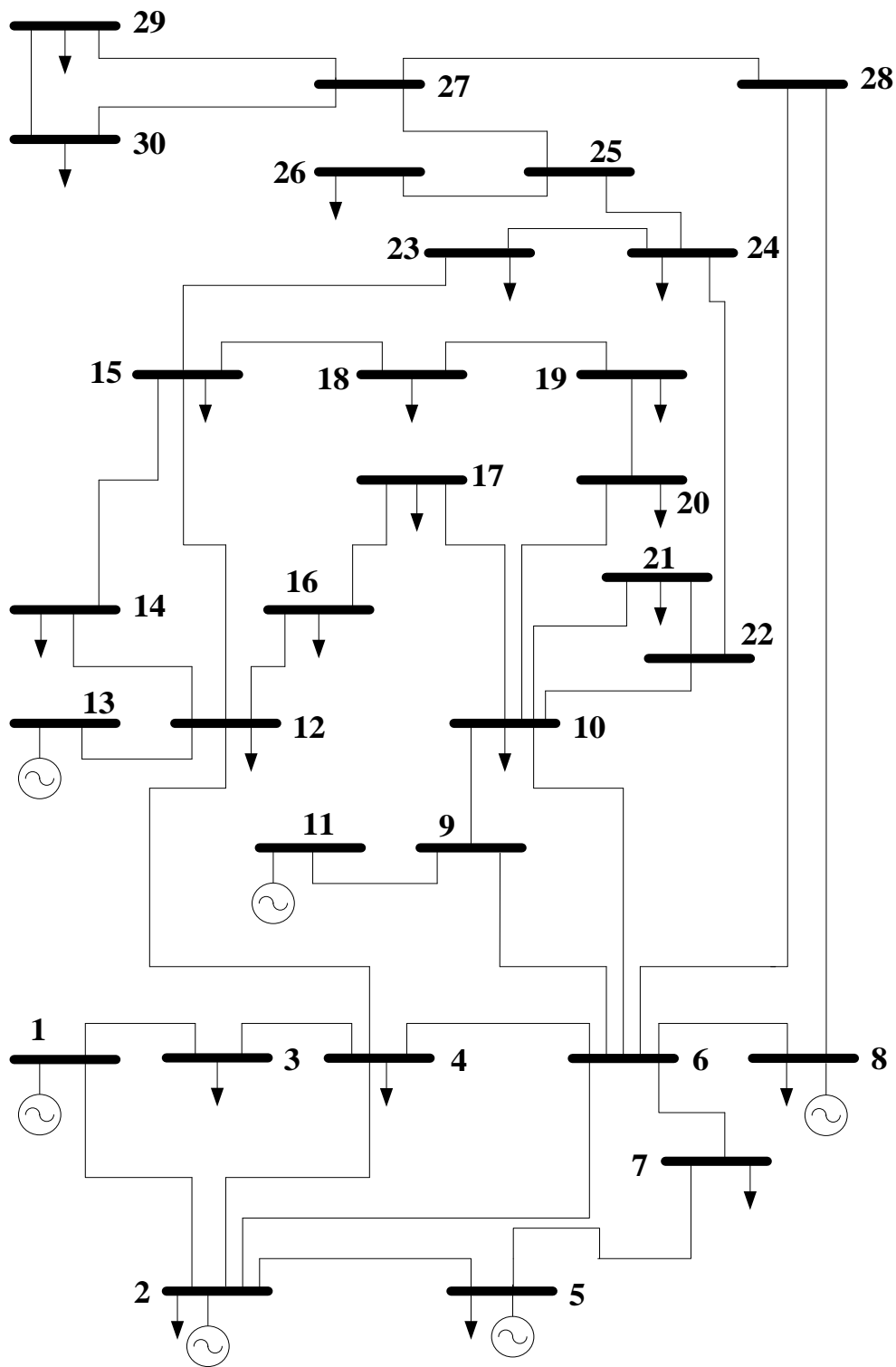
3.1 Data Sistem Standar IEEE 30 Bus

Pada penelitian ini data sistem standar IEEE 30 bus merupakan data validasi. Yang dimaksud validasi adalah sebagai data untuk menguji program optimisasi yang disusun sebelum diaplikasikan pada data sistem JAMALI 500 kV. Sumber data sistem standar IEEE 30 bus berasal dari jurnal *Optimal Load Flow with Steady State Security* (Alsac & Stott, 1974:750). Pada Tabel 4.1 diklasifikasikan jenis-jenis bus pada sistem sedangkan *single line diagram* sistem standar IEEE 30 bus ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Tabel 4.1 Jenis-jenis Bus pada Sistem Standar IEEE 30 bus

Jenis Bus	Nomor Bus	Jumlah Bus
<i>Slack Bus</i>	Bus 1	1
<i>Load Bus</i>	Bus 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, dan 30	24
Generator Bus	Bus 2, 5, 8, 11, dan 13	5
Jumlah		30

Sumber : Alsac & Stott (1974:750)



Gambar 4.1 Single Line Diagram Sistem Standar IEEE 30 bus

Sumber : Alsac & Stott (1974:750)

Pada Tabel 4.2 dipaparkan data saluran yang terdapat pada sistem standar IEEE 30 bus yang terdiri dari impedansi saluran (R dan X) dan suseptansi (B) masing-masing dalam bentuk per unit (pu).

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	1	3	0,0452	0,1652	0,0204
3	2	4	0,0570	0,1737	0,0184
4	2	5	0,0472	0,1983	0,0209
5	2	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	4	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	6	8	0,0120	0,0420	0,0045
12	6	9	0,0000	0,2080	0,0000
13	6	10	0,0000	0,5560	0,0000
14	6	28	0,0169	0,0599	0,0650
15	8	28	0,0636	0,2000	0,0214
16	9	11	0,0000	0,2080	0,0000
17	9	10	0,0000	0,1100	0,0000
18	10	20	0,0936	0,2090	0,0000
19	10	17	0,0324	0,0845	0,0000
20	10	21	0,0348	0,0749	0,0000
21	10	22	0,0727	0,1499	0,0000
22	12	13	0,0000	0,1400	0,0000
23	12	14	0,1231	0,2559	0,0000
24	12	15	0,0662	0,1304	0,0000
25	12	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	15	23	0,1000	0,2020	0,0000
29	16	17	0,0824	0,1923	0,0000
30	18	19	0,0639	0,1292	0,0000
31	19	20	0,0340	0,0680	0,0000
32	21	23	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	25	27	0,1093	0,2087	0,0000
38	27	29	0,2198	0,4153	0,0000
39	27	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 (1974:750)

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	5,919	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	19,669	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	15,000	6,700
25	0	1,000	0,000	1,000	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	3,659	0,900
30	0	1,000	0,000	12,000	1,900

Sumber : Alsac & Stott (1974:750)

Kode bus pada Tabel 4.3 Data Pembebanan Sistem Standar IEEE 30 Bus 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.

Pada Tabel 4.4 dipaparkan besarnya daya aktif dan daya reaktif yang dibangkitkan oleh masing-masing pembangkit pada sistem standar IEEE 30 bus.

Tabel 4.4 Data Pembangkitan Sistem Standar IEEE 30 Bus

No. Bus	P _G (MW)	Q _G (MVAR)	Q _G min (MVAR)	Q _G max (MVAR)
1	138,480	-2.790	-20,000	150,000
2	40,000	50,000	-20,000	60,000
5	0,000	37,000	-15,000	62,500
8	0,000	37,300	-15,000	48,700
11	0,000	16,200	-10,000	40,000
13	0,000	10,600	-15,000	44,700

Sumber : Alsac & Stott (1974:750)

Sistem Standar IEEE 30 bus akan disimulasikan sebanyak 3 kondisi, yaitu sebelum penambahan kapasitor bank maupun UPFC, setelah penambahan kapasitor bank dengan optimasi ICA dan setelah penambahan UPFC dengan optimasi ICA. Kemudian akan dibandingkan hasil aliran daya dari ketiga simulasi tersebut.

4.1.1 Simulasi Sistem Standar IEEE 30 Bus Pada Kondisi Awal

Sistem standar IEEE 30 bus akan diuji dalam keadaan tanpa penambahan kapasitor bank maupun UPFC menggunakan software MATLAB R2016a. Analisis aliran daya dilakukan dengan menggunakan metode Newton Raphson. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui besar aliran daya, rugi-rugi daya serta tegangan pada masing-masing bus. Dan dari analisis aliran daya sistem standar IEEE 30 bus didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.5 Hasil Simulasi Sistem Standar IEEE 30 Bus pada Kondisi Awal

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	1,025	0,000	0,000	0,000	277,071	-37,130
2	1,015	-6,180	21,700	12,700	40,000	52,576
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	54,122
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	48,047
9	0,983	-16,560	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,961	-18,657	5,800	2,000	0,000	0,000
11	1,025	-16,560	0,000	0,000	0,000	20,745
12	0,986	-17,799	11,200	7,500	0,000	0,000
13	1,025	-17,799	0,000	0,000	0,000	28,629
14	0,968	-18,858	6,200	1,600	0,000	0,000

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
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	-20,853	3,659	0,900	0,000	0,000
30	0,912	-21,962	12,000	1,900	0,000	0,000
Total			295,647	126,2	317,071	166,989

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.5 hasil simulasi sistem standar IEEE 30 bus pada kondisi awal diketahui bahwa total daya yang dibangkitkan oleh *slack* bus dan generator adalah sebesar 317,071 MW dan 166,989 MVAR. Selain itu terdapat beberapa variasi tegangan pada sistem tersebut dimana variasi tegangan tersebut berkisar pada nilai 0,912 p.u. hingga 1,025 p.u. Apabila melihat batasan fungsi objektif yang telah dijelaskan pada bab 3, maka terdapat beberapa bus yang berada diluar batas nilai tegangan $1 \pm 5\%$ p.u. Pada Tabel 4.6 berikut dipaparkan hasil aliran daya sistem standar IEEE 30 Bus.

Tabel 4.6 Hasil Aliran Daya Sistem Standar IEEE 30 Bus pada Kondisi Awal

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
1		277,071	-37,130	279,548		
	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	39,876	43,875		
	1	-177,386	49,374	184,129	6,370	13,583
	4	46,373	0,796	46,380	1,194	-0,052
	5	85,176	-7,400	85,497	3,336	9,774
3	64,137	-2,891	64,202	2,320	3,295	
3		-2,400	-1,200	2,683		

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	1	-89,573	10,875	90,231	3,747	9,536
	4	87,173	-2,891	64,202	2,320	3,295
4		-7,600	-1,600	7,767		
	2	-45,179	-0,848	45,187	1,194	-0,052
	3	-86,140	14,218	87,305	1,034	2,143
	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	35,122	100,535		
	2	-81,840	17,174	83,622	3,336	9,774
	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	2,320	3,295
	4	-75,977	20,236	78,625	0,758	1,762
	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	0,236	-1,413
	6	-35,396	8,463	36,394	0,369	-0,516
8		-30,000	18,047	35,010		
	6	-30,408	17,151	34,911	0,151	-0,350
	28	0,408	0,898	0,987	0,006	-4,150
9		0,000	0,000	0,000		
	6	-31,408	-0,564	31,407	0,000	2,124
	10	31,402	20,458	37,478	0,000	1,599
	11	0,000	-19,893	19,893	0,000	0,852
10		-5,919	-2,000	6,248		
	6	-17,694	-3,517	18,040	0,000	1,961
	9	-31,402	-18,858	36,629	0,000	1,599
	17	4,480	2,550	5,155	0,099	0,024
	20	8,564	2,686	8,975	0,082	0,182
	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	0,000	0,852
12		-11,200	-7,500	13,479		
	4	-46,984	2,325	47,042	0,000	5,828
	13	0,000	-27,537	27,537	0,000	1,092
	14	8,337	3,004	8,862	0,099	0,207

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	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	0,000	1,092
14		-6,200	-1,600	6,403		
	12	-8,238	-2,797	8,700	0,099	0,207
	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	0,313	0,617
	14	-2,025	-1,185	2,346	0,013	0,012
	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	0,092	0,194
	17	4,558	3,340	5,650	0,028	0,066
17		-9,000	-5,800	10,707		
	10	-4,470	-2,526	5,135	0,009	0,024
	16	-4,530	-3,274	5,589	0,028	0,066
18		-3,200	-0,900	3,324		
	15	-6,443	-2,548	6,929	0,057	0,117
	19	3,243	1,648	3,638	0,009	0,019
19		-9,500	-3,400	10,090		
	18	-3,234	-1,629	3,621	0,009	0,019
	20	-6,266	-1,771	6,511	0,016	0,032
20		-2,200	-0,700	2,309		
	10	-8,482	-2,503	8,844	0,082	0,182
	19	6,282	1,803	6,536	0,016	0,032
21		-19,669	-11,200	22,634		
	10	-21,179	-10,749	23,751	0,220	0,474
	23	1,510	-0,451	1,576	0,000	0,001
22		0,000	0,000	0,000		
	10	-8,661	-3,768	9,445	0,072	0,149
	24	8,661	3,768	9,445	0,114	0,178
23		-3,200	-1,600	3,578		
	15	-6,239	-4,640	7,776	0,068	0,137
	21	-1,510	0,451	1,576	0,000	0,001
	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	0,114	0,178
	23	-4,509	-2,506	5,158	0,041	0,083
	25	-1,944	-0,604	2,036	0,009	0,016
25		-1,000	0,000	1,000		

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	24	1,953	0,620	2,049	0,009	0,016
	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	0,053	0,079
27		0,000	0,000	0,000		
	25	6,570	3,121	7,274	0,064	0,122
	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		
	6	-22,285	-4,194	22,677	0,088	-12,303
	8	-0,402	-5,048	5,064	0,006	-4,150
	27	22,688	9,242	24,498	0,000	2,456
29		-3,659	-0,900	3,768		
	27	-7,598	-1,538	7,752	0,154	0,291
	30	3,939	0,638	3,991	0,045	0,084
30		-12,000	-1,900	12,149		
	27	-8,105	-1,900	8,216	0,260	0,489
	29	-3,895	-0,553	3,934	0,045	0,084
Total					21,429	40,797

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dilihat total rugi-rugi daya aktif pada kondisi tanpa penempatan kompensator sebesar 21,429 MW dan rugi-rugi daya reaktif sebesar 40,797 MVAR.

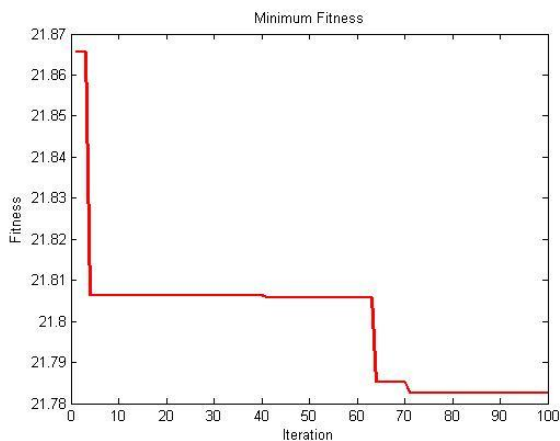
4.1.2 Simulasi Sistem Standar IEEE 30 Bus Setelah Penempatan Kapasitor Bank dengan Optimasi ICA

Jumlah kapasitor bank yang ditambahkan pada sistem standar IEEE 30 bus adalah 3 buah dengan masing-masing kapasitor bank berkapasitas 0 sampai 5 MVAR. Penambahan kapasitor bank akan dioptimasi menggunakan metode ICA untuk mendapatkan lokasi dan besar kapasitasnya. Simulasi dilakukan sebanyak 10 kali untuk mendapatkan hasil yang valid dan simulasi dengan hasil fitness terbaik akan dijadikan sebagai data yang dicantumkan dalam hasil penelitian. Hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Simulasi Penempatan Kapasitor Bank Pada Sistem Standar IEEE 30 Bus

No.	Fitness	ΣP_{loss} (MW)	ΣVD (pu)	Lokasi (bus) dan Kapasitas (MVAR)			Konvergen (Iterasi)	Waktu Eksekusi Program
				#1	#2	#3		
1	21.8287	21.065	0.7637	18	27	3	83	3' 54"
				3.3282	4.2742	3.6688		
2	21.7827	21.033	0.7497	21	19	23	71	3' 40"
				4.8985	4.713	4.6224		
3	21.8234	21.019	0.8044	22	24	19	19	4' 01"
				3.8484	4.5834	4.722		
4	21.8408	21.13	0.7108	3	28	27	32	4' 03"
				4.8913	2.8249	4.3840		
5	21.7909	21.003	0.7879	25	24	21	81	3' 35"
				4.6198	3.7579	4.5211		
6	21.8083	21.017	0.7913	25	20	24	95	4' 01"
				3.8416	4.3567	4.3573		
7	21.8195	21.006	0.8135	21	25	24	99	3' 55"
				4.6239	2.9581	4.3781		
8	21.8302	21.045	0.7852	14	25	24	21	3' 50"
				3.7650	4.8819	4.9497		
9	21.7907	21.014	0.7767	17	24	25	67	3' 45"
				4.3099	4.8887	4.6186		
10	21.8122	21.056	0.7562	21	17	18	99	3' 38"
				4.8277	4.8455	4.9675		

Berdasarkan Tabel 4.7, nilai fitness berkisar pada 21,7827 sampai 21,8408, dengan rata rata fitness 21.81274 dan simulasi ke-2 menunjukkan nilai fitness terbaik. Grafik konvergensi simulasi ke-2 ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Konvergensi Optimasi Kapasitor Bank pada Sistem IEEE 30 Bus Menggunakan ICA

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa simulasi mencapai titik konvergen pada iterasi ke-71 dengan nilai fitness 21,7827 dan membutuhkan waktu 3 menit 40 detik untuk menyelesaikan program. Adapun penempatan lokasi dan kapasitas kapasitor bank yang diperoleh dari simulasi ke-2 ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Penempatan dan Kapasitas Kapasitor Bank pada Sistem IEEE 30 Bus

Kapasitor Bank	Lokasi (bus)	Rating (MVAR)
Kapasitor Bank 1	21	4,8985
Kapasitor Bank 2	19	4,7139
Kapasitor Bank 3	23	4,6224
Total		14,2348

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.8 dapat dilihat lokasi penempatan kapasitor bank yang telah dioptimasi dengan metode ICA, masing-masing ditempatkan pada bus 21 dengan kapasitas 4,8985 MVAR, pada bus 19 dengan kapasitas 4,7139 MVAR, dan pada bus 23 dengan kapasitas sebesar 4,6224 MVAR. Jadi total daya reaktif yang diinjeksikan oleh ketiga kapasitor bank pada sistem IEEE 30 bus adalah 14,2348 MVAR. Dari simulasi yang dilakukan juga didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.9 Hasil Optimasi Penempatan dan Kapasitas Kapasitor Bank pada Sistem 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	276,829	-37,895
2	1,015	-6,172	21,700	12,700	40,000	50,702
3	0,995	-8,690	2,400	1,200	0,000	0,000
4	0,989	-10,709	7,600	1,600	0,000	0,000
5	1,000	-15,882	94,200	19,000	0,000	53,326
6	0,988	-12,706	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,985	-14,554	22,800	10,900	0,000	0,000
8	0,990	-13,550	30,000	30,000	0,000	43,518
9	0,990	-16,576	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,974	-18,652	5,919	2,000	0,000	0,000
11	1,025	-16,576	0,000	0,000	0,000	17,438
12	0,992	-17,674	11,200	7,500	0,000	0,000
13	1,025	-17,674	0,000	0,000	0,000	23,877
14	0,977	-18,754	6,200	1,600	0,000	0,000
15	0,973	-18,941	8,200	2,500	0,000	0,000

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
16	0,977	-18,394	3,500	1,800	0,000	0,000
17	0,969	-18,811	9,000	5,800	0,000	0,000
18	0,965	-19,762	3,200	0,900	0,000	0,000
19	0,963	-20,032	9,500	3,400	0,000	0,000
20	0,965	-19,749	2,200	0,700	0,000	0,000
21	0,962	-19,528	19,669	11,200	0,000	0,000
22	0,961	-19,299	0,000	0,000	0,000	0,000
23	0,962	-19,563	3,200	1,600	0,000	0,000
24	0,974	-20,032	15,000	6,700	0,000	0,000
25	0,976	-19,610	1,000	0,000	0,000	0,000
26	0,957	-20,097	3,500	2,300	0,000	0,000
27	0,958	-18,913	0,000	0,000	0,000	0,000
28	0,986	-13,510	0,000	0,000	0,000	0,000
29	0,963	-20,721	3,659	0,900	0,000	0,000
30	0,950	-21,812	12,000	1,900	0,000	0,000
Total			295,647	126,200	316,829	150,966

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.9 hasil simulasi sistem standar IEEE 30 bus setelah penempatan kapasitor bank yang telah dioptimasi dengan menggunakan ICA diketahui bahwa total daya yang dibangkitkan oleh *slack* bus dan generator adalah sebesar 316,829 MW dan 150,966 MVAR. Selain itu terdapat beberapa variasi tegangan pada sistem tersebut dimana variasi tegangan tersebut berkisar pada nilai 0,950 p.u. hingga 1,025 p.u. Dan bus-bus yang sebelumnya berada di luar dari batas tegangan sekarang berada dalam batas, yaitu nilai tegangan $1 \pm 5\%$ p.u. Hasil aliran daya pada masing-masing saluran transmisi dan rugi-rugi daya yang timbul pada sistem standar IEEE 30 bus setelah penempatan kapasitor bank yang telah dioptimasi dengan metode ICA ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Aliran Daya Sistem Standar IEEE 30 Bus Setelah Penempatan Kapasitor Bank yang Telah Dioptimasi

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
1		276,829	-37,895	279,410		
	2	183,533	-35,743	186,981	6,354	13,537
	3	93,302	-2,153	93,326	3,745	9,524
2		18,300	38,002	42,179		
	1	-177,178	49,279	183,904	6,354	13,537
	4	46,289	-0,139	46,289	1,187	-0,078
	5	85,076	-7,394	85,397	3,329	9,741

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	6	64,113	-3,741	64,222	2,320	3,288
3		-2,400	-1,200	2,683		
	1	-89,556	11,677	90,314	3,745	9,524
	4	87,156	-12,877	88,103	1,033	2,139
4		-7,600	-1,600	7,767		
	2	-45,102	0,062	45,102	1,187	-0,078
	3	-86,124	15,016	87,423	1,033	2,139
	6	77,127	-18,237	79,254	0,762	1,772
	12	46,498	1,559	46,524	0,000	5,664
5		-94,200	34,326	100,259		
	2	-81,747	17,135	83,524	3,329	9,741
	7	-12,453	17,193	21,229	0,224	-1,445
6		0,000	0,000	0,000		
	2	-61,793	7,030	62,192	2,320	3,288
	4	-76,365	20,009	78,943	0,762	1,772
	7	35,843	-8,266	36,784	0,367	-0,528
	8	30,470	-13,906	33,493	0,136	-0,403
	9	31,726	0,243	31,727	0,000	2,145
	10	17,921	3,456	18,251	0,000	1,898
	28	22,198	-8,566	23,794	0,086	-12,351
7		-22,800	-10,900	25,272		
	5	12,677	-18,638	22,540	0,224	-1,445
	6	-35,477	7,738	36,311	0,367	-0,528
8		-30,000	13,518	32,905		
	6	-30,334	13,504	33,204	0,136	-0,403
	28	0,334	0,017	0,334	0,003	-4,167
9		0,000	0,000	0,000		
	6	-31,726	1,902	31,783	0,000	1,581
	10	31,726	14,933	35,065	0,000	1,381
	11	0,000	-16,836	16,836	0,000	0,602
10		-5,919	-2,000	6,248		
	6	-17,921	-1,559	17,989	0,000	1,898
	9	-31,726	-13,552	34,499	0,000	1,381
	17	4,559	3,798	5,933	0,012	0,031
	20	8,674	0,145	8,675	0,074	0,166
	21	21,660	5,487	22,344	0,183	0,394
	22	8,836	3,681	9,572	0,070	0,145
11		0,000	17,438	17,438		
	9	0,000	17,438	17,438	0,000	0,602
12		-11,200	-7,500	13,479		
	4	-46,498	4,105	46,679	0,000	5,664

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	13	0,000	-23,118	23,118	0,000	0,760
	14	8,110	2,018	8,357	0,087	0,181
	15	19,137	5,449	19,897	0,266	0,524
	16	8,052	4,047	9,012	0,078	0,164
13		0,000	23,877	23,877		
	12	0,000	23,877	23,877	0,000	0,760
14		-6,200	-1,600	6,403		
	12	-8,022	-1,836	8,230	0,087	0,181
	15	1,822	0,236	1,838	0,008	0,007
15		-8,200	-2,500	8,573		
	12	-18,870	-4,925	19,502	0,266	0,524
	14	-1,814	-0,229	1,829	0,008	0,007
	18	6,369	0,446	6,384	0,046	0,094
	23	6,116	2,208	6,502	0,045	0,090
16		-3,500	-1,800	3,936		
	12	-7,974	-3,883	8,869	0,078	0,164
	17	4,474	2,083	4,935	0,021	0,049
17		-9,000	-5,800	10,707		
	10	-4,453	-2,034	4,896	0,021	0,049
	16	-4,547	-3,766	5,904	0,012	0,031
18		-3,200	-0,900	3,324		
	15	-6,323	-0,352	6,332	0,046	0,094
	19	3,123	-0,548	3,170	0,007	0,014
19		-9,500	1,314	9,590		
	18	-3,116	0,562	3,166	0,077	0,014
	20	-6,384	0,752	6,428	0,015	0,030
20		-2,200	-0,700	2,309		
	10	-8,599	0,021	8,599	0,007	0,014
	19	6,399	-0,721	6,440	0,015	0,030
21		-19,669	-6,301	20,654		
	10	-21,476	-5,093	22,072	0,183	0,394
	23	1,807	-1,208	2,174	0,001	0,001
22		0,000	0,000	0,000		
	10	-8,765	-3,536	9,452	0,070	0,145
	24	1,584	-7,962	8,118	0,082	0,128
23		-3,200	3,022	4,402		
	15	-6,071	-2,118	6,430	0,045	0,090
	21	-1,807	1,210	2,174	0,001	0,001
	24	0,532	-4,729	4,759	0,032	0,066
24		-15,000	-6,700	16,428		
	22	-1,502	8,090	8,228	0,082	0,128
	23	-0,500	4,795	4,821	0,032	0,066

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	25	-1,825	0,529	1,900	0,007	0,013
25		-1,000	0,000	1,000		
	24	1,832	-0,517	1,903	0,007	0,013
	26	3,710	2,423	4,431	0,052	0,078
	27	-0,711	9,048	9,076	0,094	0,180
26		-3,500	-2,300	4,188		
	25	-3,657	2,345	4,344	0,052	0,078
27		0,000	0,000	0,000		
	25	0,806	-8,868	8,904	0,094	0,180
	28	-22,443	-5,656	23,144	0,000	2,312
	29	5,061	-3,669	6,251	0,094	0,177
	30	6,576	-1,985	6,869	0,165	0,310
28		0,000	0,000	0,000		
	6	-22,112	-3,785	22,434	0,086	-12,351
	8	-0,331	-4,183	4,196	0,003	-4,167
	27	22,443	7,968	23,815	0,000	2,312
29		-3,659	-0,900	3,768		
	27	-4,967	3,846	6,282	0,094	0,177
	30	4,160	0,607	4,205	0,046	0,086
30		-12,000	-1,900	12,149		
	27	-6,412	2,295	6,810	0,165	0,310
	29	-4,115	-0,521	4,148	0,046	0,086
Total					21,033	38,724

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.10 dapat dilihat total rugi-rugi daya aktif pada kondisi sistem setelah penempatan kapasitor bank yang telah dioptimasi menggunakan metode ICA menurun dari 21,429 MW menjadi 21,033 MW (3,7565%) dan rugi-rugi daya reaktif turun dari 40,797 MVAR menjadi 38,724 MVAR (9,1134%).

4.1.3 Simulasi Sistem Standar IEEE 30 Bus Setelah Penempatan UPFC dengan Optimasi ICA

Jumlah UPFC yang ditambahkan pada sistem standar IEEE 30 bus adalah 3 buah. Batas injeksi daya nyata UPFC adalah -5 MW sampai dengan 0 MW, sedangkan batas injeksi daya reaktif UPFC adalah -5 MVAR sampai 5 MVAR. Simulasi dilakukan sebanyak 10 kali untuk mendapatkan hasil yang valid dan simulasi dengan hasil fitness terbaik akan dijadikan

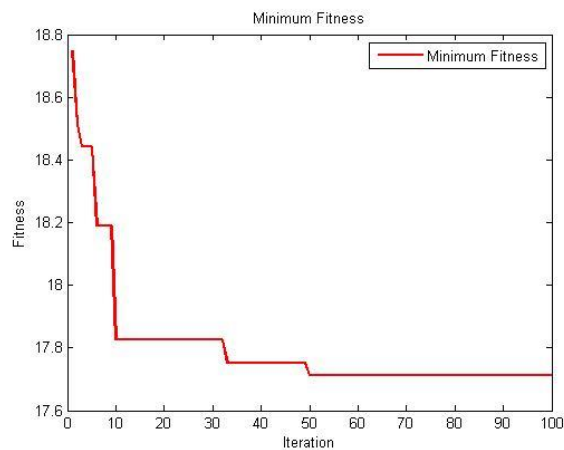
sebagai data yang dicantumkan dalam hasil penelitian. Hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Simulasi Penempatan UPFC Pada Sistem Standar IEEE 30 Bus

No	Fitness	ΣP_{loss} (MW)	$\Sigma V D$ (pu)	Lokasi (bus i- busj)			Konvergen (Iterasi)	Waktu Eksekusi Program
				#1	#2	#3		
1	18.1834	17.454	0.7294	5-7	22-4	27-30	50	3' 45"
2	17.8587	17.211	0.6477	24-25	18-19	10-21	98	3' 36"
3	18.1251	17.390	0.7351	24-25	18-19	5-7	49	3' 46"
4	17.9180	17.273	0.6450	29-30	19-20	24-25	79	3' 35"
5	18.1834	17.454	0.7294	5-7	22-24	27-30	50	3' 50"
6	18.0975	17.359	0.7385	6-28	29-30	23-24	79	3' 47"
7	18.2370	17.612	0.6250	23-24	24-25	18-19	99	3' 57"
8	17.7105	17.055	0.6555	21-23	6-7	24-25	50	3' 30"
9	18.1658	17.541	0.6248	10-20	23-24	29-30	69	3' 36"
10	18.1834	17.454	0.7294	5-7	22-24	27-30	50	3' 40"

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.11, nilai fitness berkisar pada 17,7105 sampai 18,1834, dengan rata rata fitness 18,032 dan simulasi ke-8 menunjukkan nilai fitness terbaik. Grafik konvergensi simulasi ke-8 ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Konvergensi Optimasi UPFC pada Sistem IEEE 30 Bus Menggunakan ICA

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa simulasi konvergen pada iterasi ke-50 dengan nilai fitness 17,7105 dan membutuhkan waktu 3 menit 30 detik untuk menyelesaikan program. Adapun penempatan lokasi dan kapasitas UPFC yang diperoleh dari simulasi ke-8 ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Penempatan dan Kapasitas UPFC pada Sistem IEEE 30 Bus

UPFC	Lokasi saluran (bus i – bus j)	Pi (MW)	Qi (MVAR)	Pj (MW)	Qj (MVAR)
UPFC 1	29 (21-23)	-3,9682	-3,8988	-4,8590	-0,2397
UPFC 2	9 (6-7)	-4,5689	-4,3284	-3,7717	1,4593
UPFC 3	33 (24-25)	-4,9573	-3,2120	-4,7284	0,3200

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.12 dapat dilihat lokasi penempatan kapasitor bank yang telah dioptimasi dengan metode ICA, masing-masing ditempatkan pada saluran 29 antara bus 21 dan 23, saluran 9 antara bus 6 dan 7, serta saluran 33 antara bus 24 dan 25. Dari simulasi yang dilakukan juga didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.13 Hasil Optimasi Penempatan dan Kapasitas UPFC pada Sistem IEEE 30 Bus

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	1,025	0	0	0	236,200	-31,169
2	1,015	-5,155	21,7	12,7	40,000	47,288
3	0,998	-7,214	2,4	1,2	0	0
4	0,992	-8,873	7,6	1,6	0	0
5	1,010	-13,797	90,001	18,846	0	39,133
6	0,990	-10,533	0	0	0	0
7	0,991	-12,355	19,629	8,461	0	0
8	0,990	-11,281	30	30	0	38,894
9	0,989	-13,361	0	0	0	0
10	0,970	-14,883	5,8	2	0	0
11	1,025	-13,361	0	0	0	19,304
12	0,990	-14,414	11,2	7,5	0	0
13	1,025	-14,414	0	0	0	22,659
14	0,973	-15,333	6,2	1,6	0	0
15	0,968	-15,356	8,2	2,5	0	0
16	0,975	-14,362	-0,267	-0,190	0	0
17	0,968	-14,885	5,217	7,443	0	0
18	0,957	-15,998	3,2	0,9	0	0
19	0,954	-16,144	9,5	3,4	0	0
20	0,958	-15,894	2,2	0,7	0	0
21	0,953	-15,478	17,5	11,2	0	0
22	0,958	-15,139	0	0	0	0
23	0,953	-15,489	3,2	1,6	0	0
24	0,971	-15,399	8,7	6,7	0	0
25	0,977	-14,774	0	0	0	0
26	0,958	-15,243	3,5	2,3	0	0

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
27	0,960	-14,096	-2,85	1,333	0	0
28	0,989	-11,802	0	0	0	0
29	0,972	-15,013	-1,457	-1,966	0	0
30	0,963	-16,154	10,6	1,9	0	0
Total			270,229	124,732	286,755	146,587

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.13 hasil simulasi sistem standar IEEE 30 bus setelah penempatan UPFC yang telah dioptimasi dengan menggunakan ICA diketahui bahwa total daya yang dibangkitkan oleh *slack* bus dan generator adalah sebesar 286,755 MW dan 146,587 MVAR. Selain itu terdapat beberapa variasi tegangan pada sistem tersebut dimana variasi tegangan tersebut berkisar pada nilai 0,953 p.u. hingga 1,025 p.u. Dan bus-bus yang sebelumnya berada di luar dari batas tegangan sekarang berada dalam batas, yaitu nilai tegangan $1 \pm 5\%$ p.u.

Hasil aliran daya pada masing-masing saluran transmisi dan rugi-rugi daya yang timbul pada sistem standar IEEE 30 bus setelah penempatan UPFC yang telah dioptimasi dengan metode ICA ditunjukkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Hasil Aliran Daya Sistem Standar IEEE 30 Bus Setelah Penempatan UPFC yang Telah Dioptimasi

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
1		236,200	-31,169	238,248		
	2	153,804	-28,988	156,511	4,449	7,829
	3	77,825	-2,009	77,851	2,606	5,347
2		18,300	34,588	39,131		
	1	-149,355	-36,817	153,826	4,449	7,829
	4	38,244	0,072	38,244	0,811	-1,235
	5	76,244	-1,751	76,264	2,663	6,998
3		53,166	-2,757	53,238	1,594	1,078
		-2,400	-1,200	2,683		
	1	-75,219	7,356	75,578	2,606	5,347
4	4	72,818	-8,553	73,318	0,711	1,209
		-7,600	-1,600	7,767		
	2	-37,433	-1,307	37,455	0,811	-1,235
	3	-72,107	9,762	72,764	0,711	1,209
	6	64,968	-13,628	66,382	0,531	0,964
5		36,964	3,578	37,137	0,000	3,586
		-90,001	20,287	92,259		
	2	-73,500	8,738	74,097	2,663	6,998

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	7	-16,421	10,898	19,708	0,193	-1,501
6		0,000	0,000	0,000		
	2	-51,572	3,835	51,714	1,594	1,078
	4	-64,437	14,592	66,069	0,531	0,964
	7	36,612	-4,463	36,883	0,368	-0,525
	8	28,479	-7,508	29,452	0,105	-0,514
	9	23,272	0,591	23,279	-0,000	1,149
	10	13,146	3,600	13,630	0,000	1,053
	28	14,489	-10,642	17,977	0,039	-13,613
7		-19,629	-8,461	21,375		
	5	16,614	-12,398	20,730	0,193	-1,501
	6	-36,243	3,938	36,457	0,368	-0,525
8		-30,000	8,894	31,291		
	6	-28,374	6,995	29,223	0,105	-0,514
	28	-1,625	-1,836	2,452	0,002	-4,192
9		0,000	0,000	0,000		
	6	-23,272	0,559	23,278	-0,000	1,149
	10	23,260	15,949	28,202	0,000	0,892
	11	0,000	-16,504	16,504	-0,000	0,578
10		-5,800	-2,000	6,135		
	6	-13,146	-2,546	13,391	0,000	1,053
	9	-23,260	-15,056	27,708	0,000	0,892
	17	1,664	4,238	4,553	0,007	0,019
	20	8,996	2,503	9,338	0,086	0,193
	21	15,996	6,489	17,263	0,110	0,236
	22	4,196	2,886	5,092	0,20	0,041
11		0,000	19,304	19,304		
	9	-0,000	17,082	17,802	-0,000	0,578
12		-11,200	-7,500	13,479		
	4	-36,964	0,008	36,964	0,000	3,586
	13	0,000	-19,310	19,310	0,000	0,535
	14	7,173	2,396	7,563	0,072	0,150
	15	15,260	6,288	16,505	0,185	0,364
	16	3,333	3,122	4,567	0,020	0,042
13		0,000	22,659	22,659		
	12	-0,000	19,845	19,845	0,000	0,535
14		-6,200	-1,600	6,403		
	12	-7,101	-2,246	7,448	0,072	0,150
	15	0,903	0,645	1,10	0,003	0,003
15		-8,200	-2,500	8,573		
	12	-15,075	-5,924	16,197	0,185	0,364
	14	-0,900	-0,643	1,106	0,003	0,003

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	18	5,631	1,912	5,947	0,40	0,082
	23	2,199	2,265	3,157	0,011	0,021
16		0,267	0,190	0,328		
	12	-3,313	-3,080	4,523	0,020	0,042
	17	3,580	3,270	4,848	0,020	0,047
17		-5,217	-7,443	9,089		
	10	-1,657	-4,220	4,533	0,007	0,019
	16	-3,560	-3,223	4,802	0,020	0,047
18		-3,200	-0,900	3,324		
	15	-5,591	-1,830	5,882	0,040	0,082
	19	2,610	1,368	2,947	0,006	0,012
19		-9,500	-3,400	10,090		
	18	-2,604	1,356	2,936	0,006	0,012
	20	-6,910	-2,039	7,205	0,019	0,039
20		-2,200	-0,700	2,309		
	10	-8,910	-2,311	9,205	0,086	0,193
	19	6,930	2,078	7,234	0,019	0,039
21		-17,500	-11,200	20,777		
	10	-15,887	-6,254	17,073	0,110	0,236
	23	0,727	-0,119	0,737	0,000	0,000
22		0,000	0,000	0,000		
	10	-4,176	-2,845	5,053	0,020	0,041
	24	4,264	2,990	5,207	0,033	0,052
23		-3,200	-1,600	3,578		
	15	-2,188	-2,244	3,134	0,011	0,021
	21	-0,727	0,120	0,737	0,000	0,000
	24	0,617	2,358	2,437	0,008	0,017
24		-8,700	-6,700	10,981		
	22	-4,230	-2,937	5,150	0,033	0,052
	23	-0,609	-2,340	2,418	0,008	0,017
	25	-3,197	-0,263	3,208	0,021	0,037
25		0,000	0,000	0,000		
	24	3,218	0,301	3,232	0,021	0,037
	26	-1,247	-4,914	5,070	0,071	0,106
	27	-6,527	-2,319	6,926	0,057	0,108
26		-3,500	-2,300	4,188		
	25	1,317	5,020	5,190	0,071	0,106
27		2,850	-1,333	3,147		
	25	6,583	2,427	7,016	0,057	0,108
	28	-12,821	-3,589	13,313	0,000	0,739
	29	3,283	-0,681	3,353	0,026	0,049

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	30	5,816	0,533	5,841	0,115	0,216
28		0,000	0,000	0,000		
	6	-14,449	-1,972	14,583	0,039	-12,613
	8	1,626	-2,355	2,862	0,002	-4,192
	27	12,281	4,328	13,531	0,000	0,739
29		1,457	1,966	2,447		
	27	-3,257	0,731	3,338	0,026	0,049
	30	4,730	1,264	4,896	0,061	0,115
30		-10,600	-1,900	10,769		
	27	-5,701	-0,316	5,710	0,115	0,216
	29	-4,669	-1,149	4,809	0,061	0,115
Total					17,028	22,322

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.14 dapat dilihat total rugi-rugi daya aktif pada kondisi sistem setelah penempatan kapasitor bank yang telah dioptimasi menggunakan metode ICA menurun dari 21,429 MW menjadi 17,028 MW (20,53%) dan rugi-rugi daya reaktif turun dari 40,797 MVAR menjadi 22,322 MVAR (45,285%)

4.1.4 Perbandingan Simulasi Sistem Standar IEEE 30 Bus pada Tiga Kondisi

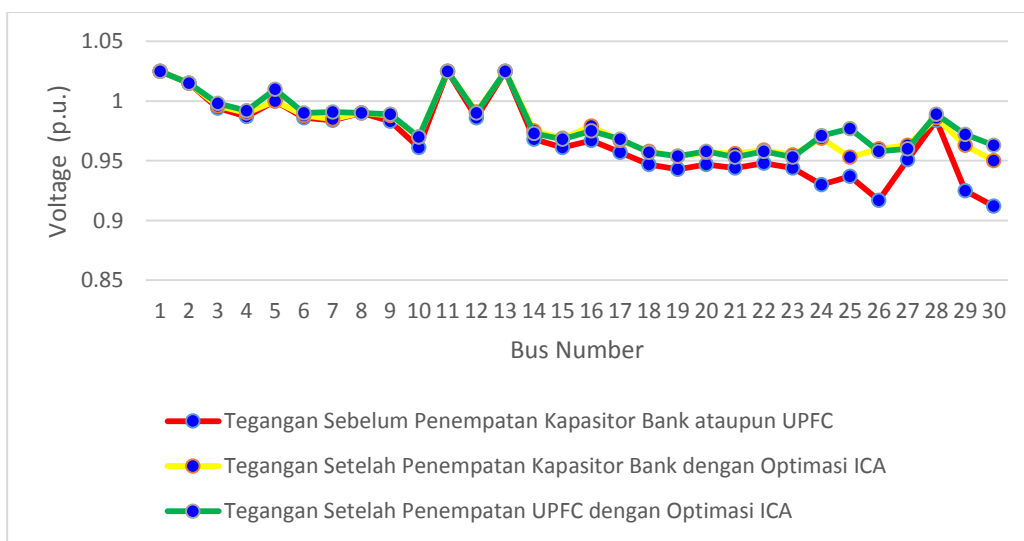
Setelah melakukan pengujian pada sistem standar IEEE 30 bus dengan 3 kondisi yang diterapkan, dapat dilihat adanya perbaikan nilai tegangan pada bus-bus yang berada di bawah batas yang diijinkan dan juga peningkatan kapabilitas saluran transmisi. Selain itu rugi daya aktif yang dihasilkan pada proses aliran daya dari masing-masing kondisi yang diterapkan berbeda. Pada Tabel 4.15 dan Gambar 4.4 dapat dilihat perbandingan profil tegangan sistem pada 3 kondisi.

Tabel 4.15 Perbandingan Profil Tegangan Sistem Standar IEEE 30 Bus pada Tiga Kondisi

No Bus	Magnitude Tegangan		
	Kondisi Awal	Kapsitor bank dengan optimasi ICA	UPFC dengan optimasi ICA
1	1,025	1,025	1,025
2	1,015	1,015	1,015
3	0,994	0,996	0,998
4	0,987	0,990	0,992
5	1,000	1,000	1,010
6	0,986	0,988	0,990

No Bus	Magnitude Tegangan		
	Kondisi Awal	Kapsitor bank dengan optimasi ICA	UPFC dengan optimasi ICA
7	0,984	0,985	0,991
8	0,990	0,990	0,990
9	0,983	0,988	0,989
10	0,961	0,970	0,970
11	1,025	1,025	1,025
12	0,986	0,991	0,990
13	1,025	1,025	1,025
14	0,968	0,975	0,973
15	0,961	0,969	0,968
16	0,967	0,979	0,975
17	0,957	0,967	0,968
18	0,947	0,958	0,957
19	0,943	0,954	0,954
20	0,947	0,957	0,958
21	0,944	0,956	0,953
22	0,948	0,959	0,958
23	0,944	0,955	0,953
24	0,930	0,969	0,971
25	0,937	0,953	0,977
26	0,917	0,960	0,958
27	0,951	0,963	0,960
28	0,984	0,986	0,989
29	0,925	0,963	0,972
30	0,912	0,950	0,963

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.4 Perbandingan Profil Tegangan Sistem Standar IEEE 30 Bus pada Tiga Kondisi

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa dalam pengujian sistem pada kondisi awal terdapat beberapa bus pada sistem yang memiliki nilai tegangan di bawah batas peraturan. Akan tetapi setelah sistem ditambahkan kapasitor bank maupun UPFC, terdapat perbaikan nilai tegangan pada bus-bus sistem tersebut sesuai dengan batas level yang diijinkan. Dan penambahan UPFC dapat memperbaiki nilai tegangan lebih baik dibandingkan dengan kompensasi menggunakan kapasitor bank.

Tabel 4.16 Perbandingan Total Rugi Daya Sistem Standar IEEE 30 Bus pada Tiga Kondisi

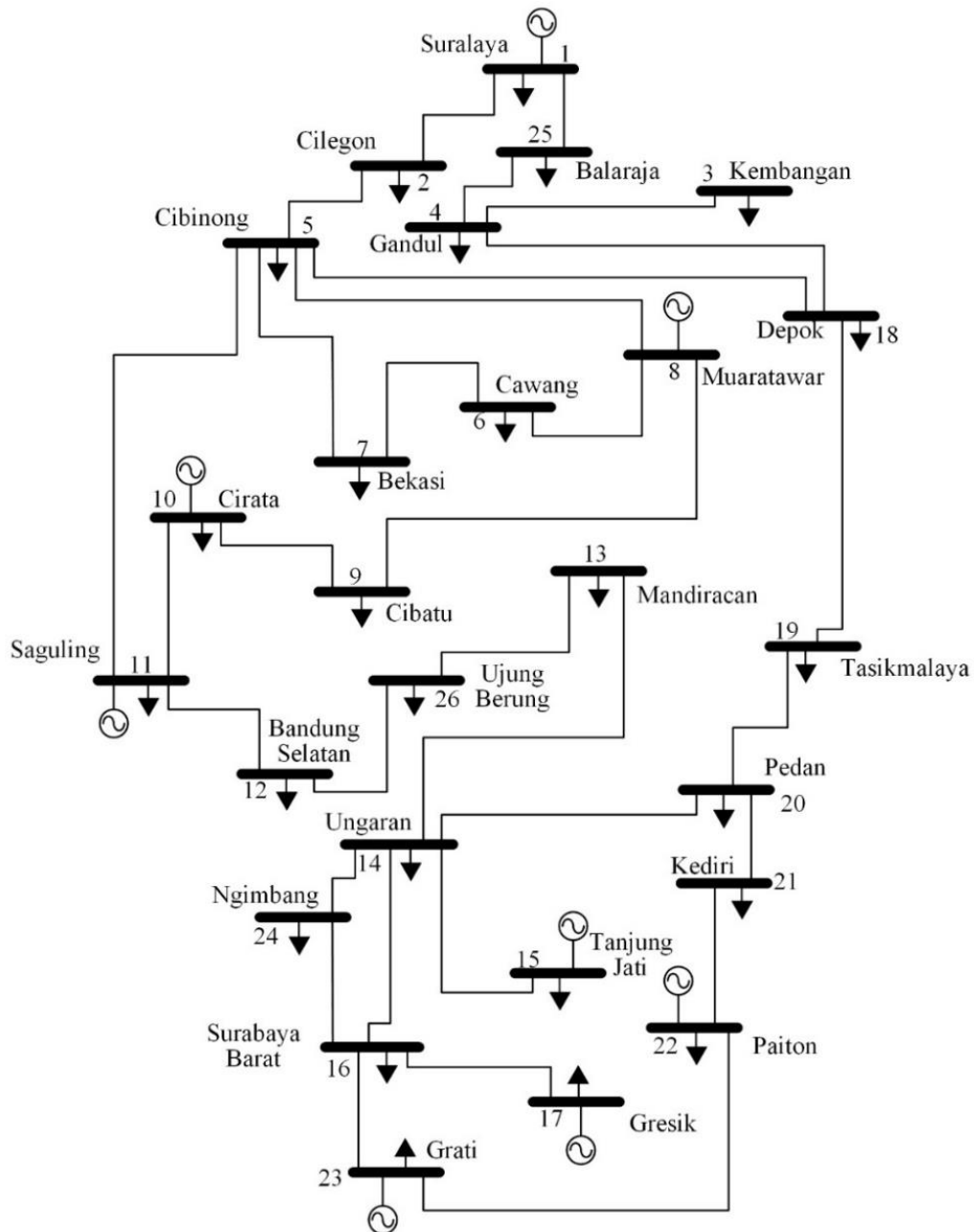
Simulasi	Kondisi Awal	Setelah Penempatan Kapasitor Bank dengan Optimasi ICA	Setelah Kompensasi UPFC dengan Optimasi ICA
Rugi Daya Aktif (MW)	21,429	20,624	17,028
Rugi Daya Reaktif (MVAR)	40,797	37,079	22,322

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.16 dapat disimpulkan bahwa dengan adanya kompensasi kapasitor bank yang dioptimasi dengan menggunakan ICA dapat mereduksi rugi daya aktif sebesar 0,805 MW (3,7565%) dan mereduksi daya reaktif sebesar 3,718 MVAR (9,1134%) sedangkan kompensasi UPFC yang dioptimasi dengan menggunakan ICA dapat mereduksi daya aktif lebih baik, yaitu sebesar 4,01 MW (20,5375%) dan mereduksi daya reaktif sebesar 18,475 MVAR (45,2851%).

3.2 Data Sistem Tenaga Listrik Jawa Madura Bali 500 kV

Data sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV yang akan digunakan pada simulasi terdiri dari 26 bus, 32 saluran dan 8 unit pembangkit. Berikut adalah data-data sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV yang akan digunakan pada simulasi. Pada Tabel 4.17 akan diklasifikasikan jenis-jenis bus pada sistem sedangkan *single line diagram* sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Single Line Diagram Sistem Tenaga Listrik Jawa Madura Bali 500 kV
 Sumber : Khalid A., PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) (2016)

Tabel 4.17 Jenis-jenis Bus pada Sistem Tenaga Listrik Jawa Madura Bali 500 kV

Jenis Bus	Nama Bus	Jumlah Bus
Slack Bus	Suralaya	1

<i>Load Bus</i>	New Suralaya, Cilegon, Kembangan, Gandul, Balaraja, Cibinong, Cawang, Bekasi, Depok, Cibatu, Tasikmalaya, Bandung Selatan, Mandiracan, Ungaran, Pedan, Ngimbang, Surabaya Barat, dan Kediri	18
<i>Generator Bus</i>	Muara Tawar, Cirata, Saguling, Tanjung Jati, Gresik, Grati, dan Paiton	7
Jumlah		26

Sumber : Khalid A., PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) (2016)

Unit pembangkit Cirata dan Saguling merupakan pembangkit listrik tenaga air, dan unit lainnya merupakan pembangkit termal. Berikut merupakan data saluran yang terdapat pada sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV yang terdiri dari impedansi saluran (R dan X) dan susceptansi (B).

Tabel 4.18 Data Saluran Transmisi Sistem Tenaga Listrik Jamali 500 kV

No. Saluran	Bus Awal	Bus Tujuan	R (p.u.)	X (p.u.)	½ B (p.u.)
1	1	2	0,000626496	0,007008768	0,0011414290
2	1	25	0,003677677	0,035333317	0,0002264160
3	2	5	0,013133324	0,146925792	0,0000544495
4	3	4	0,001513179	0,016928308	0,0004726210
5	4	18	0,000694176	0,006669298	0,0023990310
6	5	7	0,004441180	0,042675400	0,0001874620
7	5	8	0,006211600	0,059678000	0,0001340530
8	5	11	0,004111380	0,045995040	0,0001739310
9	6	7	0,001973648	0,018961840	0,0004219000
10	6	8	0,005625600	0,054048000	0,0001480170
11	8	9	0,002822059	0,027112954	0,0002950630
12	9	10	0,002739960	0,026324191	0,0003055450
13	10	11	0,001474728	0,014168458	0,0005646350
14	11	12	0,001957800	0,021902400	0,0003652570
15	12	13	0,006990980	0,067659000	0,0001191080
16	12	26	0,000385000	0,003703000	0,0000000000
17	13	14	0,013478000	0,129490000	0,0000617810
18	13	26	0,000868000	0,009700800	0,0000000000
19	14	15	0,013533920	0,151407360	0,0001056750
20	14	16	0,015798560	0,152784800	0,0000279497
21	14	20	0,009036120	0,086814600	0,0000921505
22	16	17	0,001394680	0,013399400	0,0005945430
23	16	23	0,003986382	0,044596656	0,0001793860
24	18	5	0,000818994	0,007868480	0,0009126260
25	18	19	0,014056000	0,157248020	0,0000508750
26	19	20	0,015311000	0,017128800	0,0000467055
27	20	21	0,010291000	0,011512800	0,0000694880
28	21	22	0,010291000	0,011512800	0,0000694880

No. Saluran	Bus Awal	Bus Tujuan	R (p.u.)	X (p.u.)	½ B (p.u.)
29	22	23	0,004435823	0,049624661	0,0001695470
30	24	14	0,023479613	0,225580588	0,0000354641
31	24	16	0,005966652	0,057324466	0,0001393620
32	25	4	0,002979224	0,028622920	0,0002794970

Sumber: Khalid A., PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) (2016)

Data pembebanan pada sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.19 Data Pembebanan Saluran Transmisi Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV

No Bus	Tipe Bus	Tegangan		Beban	
		Magnitude	Derajat	P(MW)	Q(MVAR)
1	1	1,020	0	147,86	77,44
2	0	1,000	0	100,23	193,24
3	0	1,000	0	122,00	144,00
4	0	1,000	0	571,28	-31,20
5	0	1,000	0	367,32	231,14
6	0	1,000	0	523,00	108,00
7	0	1,000	0	740,00	-7,00
8	2	1,000	0	0,00	0,00
9	0	1,000	0	947,00	410,00
10	2	1,000	0	667,07	261,07
11	2	1,025	0	0,00	0,00
12	0	1,000	0	557,00	261,00
13	0	1,000	0	67,96	66,79
14	0	1,000	0	654,00	410,00
15	2	1,000	0	292,00	55,00
16	0	1,000	0	932,85	339,71
17	2	1,000	0	102,30	118,71
18	0	1,000	0	503,99	108,38
19	0	1,000	0	285,00	92,00
20	0	1,000	0	674,00	231,00
21	0	1,000	0	615,43	178,80
22	2	1,000	0	869,00	210,00
23	2	1,025	0	447,40	280,30
24	0	1,000	0	574,00	164,00
25	0	1,000	0	577,00	184,00
26	0	1,000	0	25,73	4,18

Sumber : Khalid A., PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) (2016)

Pada Tabel 4.19 dipaparkan besarnya daya aktif dan daya reaktif yang dibangkitkan oleh masing-masing pembangkit.

Tabel 4.20 Data Pembangkitan Sistem Tenaga Listrik Jawa Madura Bali 500 kV

Unit Pembangkit	No. Bus	P _G (MW)	Q _G (MVAR)	Q _G min (MVAR)	Q _G max (MVAR)
Suralaya	1	2766,00	1144,00	-600	1700
Muara Tawar	8	767,00	244,40	-700	800
Cirata	10	422,00	141,00	-480	300
Saguling	11	566,93	111,71	-140	150
Tanjung Jati	15	2230,00	201,00	-240	500
Gresik	17	515,16	157,34	-610	200
Paiton	22	4038,10	715,06	-100	600
Grati	23	764,00	100,05	-50	250

Sumber : Khalid A., PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) (2016)

Setelah validasi yang dilakukan pada sistem standar IEEE 30 bus selesai, akan dilakukan simulasi sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV. Simulasi yang dilakukan yaitu sebelum penempatan kapasitor bank maupun UPFC, setelah penempatan kapasitor bank dengan optimasi ICA dan setelah penempatan UPFC dengan optimasi ICA. Kemudian akan dibandingkan hasil aliran daya dari ketiga simulasi tersebut.

4.2.1 Simulasi Sistem Tenaga Listrik Jawa Madura Bali 500 kV pada Kondisi Awal

Sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV akan diuji dalam keadaan tanpa kapasitor bank maupun UPFC pada software MATLAB R2016a. Analisis aliran daya dilakukan dengan menggunakan metode Newton Raphson. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui besar aliran daya, rugi-rugi daya serta tegangan pada masing-masing bus. Dan dari analisis aliran daya sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.21 Hasil Simulasi Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV pada Kondisi Awal

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

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
13	0,955	-3,074	67,960	66,700	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	615,434	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	11628,532	5570,804

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.21 hasil simulasi pada sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV pada kondisi awal diketahui bahwa total daya yang dibangkitkan oleh *slack bus* dan generator adalah sebesar 11628,532 MW dan 5570,804 MVAR. Selain itu terdapat beberapa variasi tegangan pada sistem tersebut dimana variasi tegangan tersebut berkisar pada nilai 0,922 p.u. hingga 1,020 p.u. Apabila melihat batasan fungsi objektif yang telah dijelaskan pada bab 3, maka terdapat beberapa bus yang berada diluar batas nilai tegangan $1 \pm 5\%$ p.u. Pada tabel berikut dipaparkan hasil aliran daya sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV

Tabel 4.22 Hasil Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV pada Kondisi Awal

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
	5	556,911	233,599	603,919	4,635	51,741
3		-122,000	-144,000	188,733		
		-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

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	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	547,2208	1,741	16,43
7		-740,000	7,000	740,033		
	5	-733,241	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
		-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	787,432	-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	-156,811	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		
	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

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	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	38,623
	24	424,920	251,390	493,714	1,575	14,875
17		412,860	594,553	723,842		
	16	412,860	594,553	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	576,947	-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	1887,238	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
	22	-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
	13	-796,778	368,902	878,034	0,729	8,144
Total					265,108	1480,189

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.22 dapat dilihat total rugi daya aktif pada kondisi awal sebesar 265,108 MW dan total rugi daya reaktif sebesar 1480,189 MVAR..

4.2.2 Simulasi Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV Setelah Penempatan Kapasitor Bank dengan Optimasi ICA

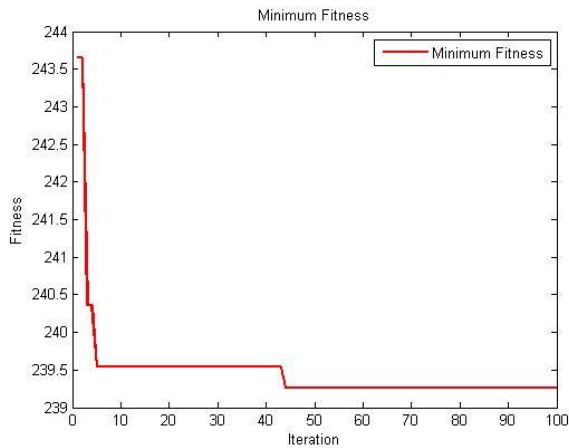
Jumlah kapasitor bank yang ditambahkan pada sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV adalah 3 buah dengan masing-masing kapasitor bank berkapasitas 0 sampai 75 MVAR. Penambahan kapasitor bank akan dioptimasi menggunakan metode ICA untuk mendapatkan lokasi dan besar kapasitasnya. Simulasi dilakukan sebanyak 10 kali untuk mendapatkan hasil yang valid dan simulasi dengan hasil fitness terbaik akan dijadikan sebagai data yang dicantumkan dalam hasil penelitian. Hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Simulasi Penempatan Kapasitor Bank Pada Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV

No	Fitness	ΣP_{loss} (MW)	$\Sigma V D$ (pu)	Lokasi (bus) dan Kapasitas (MVAR)			Konvergen (Iterasi)	Waktu Eksekusi Program
				#1	#2	#3		
1	239.311	238.684	0.626	21	4	14	97	3' 20"
				70.423	44.896	72.422		
2	239.324	238.696	0.627	13	21	14	4	3' 05"
				49.618	63.610	67.237		
3	239.467	238.835	0.631	1	14	21	47	3' 35"
				14.617	67.970	70.511		
4	239.438	238.806	0.631	22	21	14	49	3' 21"
				44.416	72.423	68.793		
5	239.328	238.7	0.628	21	26	14	98	3' 15"
				69.737	44.682	63.841		
6	239.261	238.633	0.627	12	14	21	44	3' 07"
				74.829	57.802	71.436		
7	239.306	238.678	0.627	21	14	25	36	3' 13"
				74.800	67.537	44.345		
8	239.369	238.739	0.629	14	21	13	21	3' 06"
				59.883	69.869	32.952		
9	239.498	238.869	0.628	7	21	14	61	3' 12"
				37.616	64.075	63.279		
10	239.315	238.689	0.626	14	18	21	35	3' 24"
				69.731	60.00	68.597		

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.23, nilai fitness berkisar pada 239,2605 sampai 239,4668, dengan rata-rata fitness 239,3614 dan simulasi ke-6 menunjukkan nilai fitness terbaik . Grafik konvergensi simulasi ke-6 ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Konvergensi Optimasi Kapasitor Bank pada Sistem Tenaga Lisik JAMALI 500 kV Menggunakan ICA

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa simulasi konvergen pada iterasi ke-44 dengan nilai fitness 239,2605 dan membutuhkan waktu 3 menit 7 detik untuk menyelesaikan program. Adapun penempatan lokasi dan kapasitas kapasitor bank yang diperoleh dari simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Penempatan dan Kapasitas Kapasitor Bank pada Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV

Kapasitor Bank	Bus (Lokasi)	Rating (MVAR)
Kapasitor Bank 1	12 (Bandung Selatan)	74.829613
Kapasitor Bank 2	14 (Ungaran)	57.802792
Kapasitor Bank 3	21 (Kediri)	71.436687
Total		204.069092

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.24 dapat dilihat lokasi penempatan kapasitor bank yang telah dioptimasi dengan metode ICA, masing-masing ditempatkan pada bus 12 (Bandung Selatan) dengan rating 74.829613 MVAR, pada bus 14 (Ungaran) dengan rating 57.802792 MVAR, dan pada bus 21 (Kediri) dengan rating sebesar 71.436687 MVAR. Jadi total daya reaktif yang

diinjeksikan oleh ketiga kapasitor bank pada sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV adalah 204.069092 MVAR. Dari simulasi yang dilakukan juga didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.25 Hasil Optimasi Penempatan dan Kapasitas Kapasitor Bank pada Sistem Tenaga Listrik Jamali 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	2277,663	1152,523
2	1,017	-0,234	100,230	193,240	0,000	0,000
3	0,979	-4,400	122,000	144,000	0,000	0,000
4	0,981	-4,289	571,280	-31,200	0,000	0,000
5	0,980	-4,646	367,320	231,140	0,000	0,000
6	0,984	-6,702	523,000	108,000	0,000	0,000
7	0,982	-6,648	740,000	-7,000	0,000	0,000
8	1,000	-5,224	0,000	0,000	767,000	1156,706
9	0,983	-5,764	947,000	410,000	0,000	0,000
10	0,980	-4,883	667,070	261,070	422,000	534,301
11	0,975	-4,172	0,000	0,000	566,930	87,651
12	0,962	-3,580	557,000	261,000	0,000	0,000
13	0,959	-2,888	67,960	66,700	0,000	0,000
14	0,958	6,006	654,000	410,000	0,000	0,000
15	1,000	23,761	292,000	55,000	2230,000	387,913
16	0,964	5,190	932,850	339,710	0,000	0,000
17	0,970	5,496	102,300	118,770	515,160	497,021
18	0,979	-4,361	503,990	108,380	0,000	0,000
19	0,951	4,700	285,000	92,000	0,000	0,000
20	0,967	6,198	674,000	231,000	0,000	0,000
21	0,969	7,474	615,434	178,800	0,000	0,000
22	1,000	9,035	869,000	210,000	4038,100	813,908
23	0,985	7,466	447,400	280,300	764,000	437,858
24	0,968	3,748	574,000	164,000	0,000	0,000
25	0,994	-2,837	577,000	184,000	0,000	0,000
26	0,961	-3,392	25,730	4,180	0,000	0,000
Total			11363,424	4090,620	11604,379	5178,078

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.25 hasil simulasi sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV setelah penempatan kapasitor bank yang telah dioptimasi dengan menggunakan ICA diketahui bahwa total daya yang dibangkitkan oleh *slack* bus dan generator adalah sebesar 11604,379 MW dan 5178,078 MVAR. Selain itu terdapat beberapa variasi tegangan pada sistem tersebut dimana variasi tegangan tersebut berkisar pada nilai 0,951 p.u. hingga 1,020 p.u. Dan bus-bus yang

sebelumnya berada di luar dari batas tegangan sekarang berada dalam batas, yaitu nilai tegangan $1\pm 5\%$ p.u. Hasil aliran daya pada masing-masing saluran transmisi dan rugi-rugi daya yang timbul pada sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV setelah penempatan kapasitor bank yang telah dioptimasi dengan metode ICA ditunjukkan pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Hasil Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV Setelah Penempatan Kapasitor Bank yang Telah Dioptimasi

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
1		2129,803	107,803	2385,763		
	2	642,392	420,825	767,959	0,356	1,612
	25	1487,411	654,258	1624,945	9,335	89,224
2		-100,20	-193,240	217,687		
	1	-642,392	420,825	767,959	0,356	1,612
	5	541,806	225,973	587,042	4,379	48,877
3		-122,000	-144,000	188,733		
	4	-122,000	-144,000	188,733	0,056	-0,276
4		-571,280	31,200	572,131		
	3	122,056	143,724	188,559	0,056	-0,276
	18	204,849	241,274	316,506	0,073	-3,894
	25	-898,185	-353,798	965,355	2,891	27,235
5		-367,320	-231,140	433,993		
	2	-537,428	-177,096	565,855	4,379	48,877
	7	774,579	-136,021	786,431	2,860	27,121
	8	130,108	-341,987	365,901	0,865	8,052
	11	-160,835	120,489	200,962	0,173	1,604
	18	-573,744	303,475	649,060	0,360	1,707
6		-523,000	-44,297	524,873		
	7	-31,667	155,820	159,005	0,052	-0,322
	8	-491,333	-200,117	530,524	1,629	15,355
7		-740,000	7,000	740,033		
	5	-771,718	163,142	788,774	2,860	27,121
	6	31,718	-156,142	159,331	0,052	-0,322
8		767,000	1156,706	1387,897		
	5	-129,243	350,039	373,137	0,865	8,052
	6	492,962	215,473	537,996	1,629	15,355
	9	403,281	591,194	715,644	1,446	13,315
9		-947,000	-410,000	1031,944		
	8	-401,835	-577,879	703,857	1,446	13,315
	10	-545,165	167,879	570,428	0,923	8,281

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
10		-245,070	273,231	367,035		
	9	546,088	-159,598	568,932	0,923	8,281
	11	-791,158	432,830	901,816	1,250	10,926
11		566,930	8,657	573,667		
	5	161,008	-118,885	200,144	0,173	1,604
	10	792,408	-421,904	897,726	1,250	10,926
	12	-386,486	628,446	737,777	1,122	11,866
12		-557,000	-261,000	615,118		
	11	387,608	-616,580	728,293	1,122	11,866
	13	-159,594	59,932	170,476	0,220	1,892
	26	-785,014	295,648	838,842	0,293	2,817
13		-67,960	-0,394	67,961		
	12	159,814	-58,040	170,026	0,220	1,892
	14	-1096,076	124,949	1103,175	17,845	171,332
	26	811,734	-280,864	858,951	0,697	7,787
14		-654,000	-410,000	771,891		
	13	1113,921	46,383	1114,887	17,845	171,332
	15	-1926,584	277,976	1946,535	54,624	610,889
	16	89,935	21,407	92,448	0,144	1,330
	20	-46,244	-92,708	103,602	0,103	0,816
	24	159,894	-55,268	169,176	0,716	6,809
15		1938,000	332,913	1966,386		
	14	1981,209	332,913	2008,984	54,624	610,889
16		-932,850	-339,710	992,780		
	14	-89,791	-20,077	92,009	0,144	1,330
	17	-412,395	-374,892	557,327	0,465	3,359
	23	-877,593	-354,887	946,633	3,842	42,641
	24	385,241	-278,418	475,318	1,450	13,664
17		412,860	378,251	559,935		
	16	412,860	378,251	559,935	0,465	3,359
18		-503,990	-108,380	515,512		
	4	-204,776	-245,168	319,437	0,073	-3,894
	5	574,104	-301,768	648,583	0,360	1,707
	19	-918,809	258,366	954,444	13,387	149,672
19		-285,000	-92,000	299,481		
	18	932,196	-108,694	938,512	13,387	149,672
	20	-1234,555	224,520	1254,805	26,069	29,076
20		-674,000	-231,000	712,486		
	14	46,347	93,525	104,379	0,103	0,816
	19	1260,623	-195,445	1275,684	26,069	29,076
	21	-669,299	1301,781	1463,761	23,071	25,678

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
21		-615,434	-109,868	625,165		
	20	692,370	-1276,102	1451,831	23,071	25,678
	22	-2531,615	-265,797	2545,530	70,929	79,215
22		3169,100	603,908	3226,128		
	21	2602,543	345,012	2625,312	70,929	79,215
	23	566,557	258,896	622,907	1,722	18,925
23		316,600	157,558	353,638		
	16	881,435	397,529	966,932	3,842	42,641
	22	-564,835	-239,971	613,697	1,722	18,925
24		-574,000	-164,000	596,969		
	14	-159,178	62,077	170,854	0,716	6,809
	16	-383,791	292,081	482,294	1,450	13,664
25		-577,000	-184,000	605,628		
	1	-1478,077	-565,033	1582,395	9,335	89,224
	4	901,077	381,033	978,328	2,891	27,235
26		-25,730	-4,180	26,067		
	12	785,307	-292,831	838,127	0,293	2,817
	13	-811,037	288,651	860,872	0,697	7,787
Total					238,555	1411,432

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.26 dapat dilihat total rugi-rugi daya aktif pada kondisi sistem setelah penempatan kapasitor bank yang telah dioptimasi menggunakan metode ICA menurun dari 265,108 MW menjadi 238,555 MW (10,0159%) dan rugi-rugi daya reaktif turun dari 1480.189 MVAR menjadi 1411.432 MVAR (22,8860%).

4.2.3 Simulasi Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV Setelah Penempatan UPFC dengan Optimasi ICA

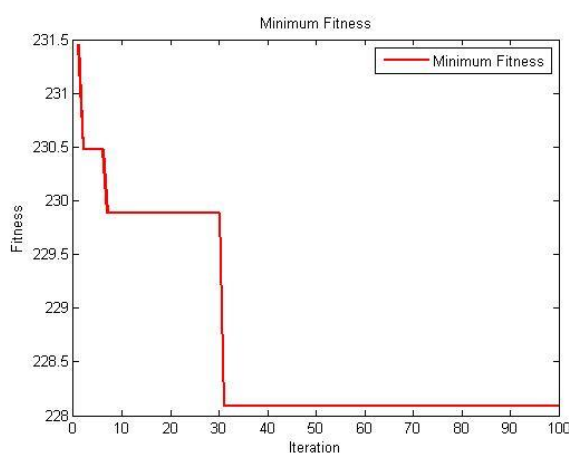
Jumlah UPFC yang ditambahkan pada sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV adalah 3 buah. Batas injeksi daya nyata UPFC adalah -250 MW sampai dengan 0 MW, sedangkan batas injeksi daya reaktif UPFC adalah -150 MVAR sampai 100 MVAR. Penambahan UPFC akan dioptimasi menggunakan metode ICA untuk mendapatkan lokasi dan besar kapasitasnya. Simulasi dilakukan sebanyak 10 kali untuk mendapatkan hasil yang valid dan simulasi dengan hasil fitness terbaik akan dijadikan sebagai data yang dicantumkan dalam penelitian. Hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Simulasi Penempatan UPFC Pada Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV

No	Fitness	ΣP_{loss} (MW)	ΣVD (pu)	Lokasi (bus i- busj)			Konvergen (Iterasi)	Waktu Eksekusi Program
				#1	#2	#3		
1	229.1885	228.629	0.5595	5-7	6-7	25-4	21	3' 40"
2	229.0362	228.467	0.5692	25-4	6-8	6-7	72	3' 38"
3	228.7578	228.185	0.5728	25-4	6-7	6-8	21	3' 45"
4	229.2154	228.641	0.5744	6-7	4-18	5-7	74	3' 23"
5	228.9213	228.363	0.5583	5-7	18-5	6-7	97	3' 32"
6	228.0900	227.528	0.5620	6-8	6-7	3-4	31	3' 14"
7	228.8273	228.284	0.5433	5-7	6-8	4-18	22	3' 23"
8	229.1764	228.615	0.5614	6-7	6-8	4-18	49	3' 28"
9	229.5299	228.974	0.5559	6-7	8-9	3-4	90	3' 20"
10	229.3136	228.749	0.5646	5-7	6-7	25-4	38	3' 18"

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.27, nilai fitness berkisar pada 228,090 sampai 229,7578, dengan rata rata fitness 18,032 dan simulasi ke-6 menunjukkan nilai fitness terbaik. Grafik konvergensi simulasi ke-6 ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.7 Grafik Konvergensi Optimasi UPFC pada Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV menggunakan ICA

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa simulasi konvergen pada iterasi ke-31 dengan nilai fitness 228,090 dan membutuhkan waktu 3 menit 14 detik untuk menyelesaikan program. Adapun penempatan lokasi dan kapasitas kapasitor bank yang diperoleh dari simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Penempatan dan Kapasitas UPFC pada Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV

UPFC	Lokasi saluran (bus i - bus j)	Pi (MW)	Qi (MVAR)	Pj (MW)	Qj (MVAR)
UPFC 1	10 (6 - 8)	-227,1044	-127,0887	-172,6299	-25,3440

UPFC 2	9 (6 - 7)	-195,6449	-8,7537	-215,3075	-19,7864
UPFC 3	4 (3 - 4)	-191,1664	-118,5016	-240,2983	67,9909

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.24 dapat dilihat lokasi penempatan kapasitor bank yang telah dioptimasi dengan metode ICA, masing-masing ditempatkan pada saluran 6 antara bus 5 dan 7, saluran 4 antara bus 3 dan 4, serta saluran 9 antara bus 6 dan 7. Dari simulasi yang dilakukan juga didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.29 Hasil Optimasi Penempatan dan Kapasitas UPFC pada Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV

No Bus	Tegangan		Beban		Generator	
	Magnitude	Degree	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	1.020	0	147,860	77,440	1841,597	165,066
2	1,017	-5,155	21,7	12,7	0	0
3	0,985	-3,378	122,000	144,000	0	0
4	0,986	-3,264	571,280	-31,200	0	0
5	0,985	-3,401	196,121	985,106	0	0
6	0,987	-5,289	523,000	108,000	0	0
7	0,984	-5,196	600,973	-39,527	0	0
8	1,000	-3,902	0,000	0,000	767,000	1134,374
9	0,983	-4,476	947,000	410,000	0	0
10	0,980	-3,616	667,070	261,070	422,000	718,838
11	0,975	-2,903	0,000	0,000	566,930	553,988
12	0,960	-2,242	557,000	261,000		0
13	0,957	-1,510	67,960	66,790	0	0
14	0,968	7,883	654,000	410,000	0	0
15	1,000	25,757	292,000	55,000	2230,000	322,026
16	0,964	6,927	932,850	339,710	0	0
17	0,970	7,218	102,300	118,770	515,160	697,336
18	0,984	-3,220	503,990	108,380	0	0
19	0,962	6,802	285,000	92,000	0	0
20	0,977	8,493	629,038	760,319	0	0
21	0,969	9,662	610,274	635,853	0	0
22	1,000	10,781	869,000	210,000	4038,100	1584,141
23	0,985	9,228	447,400	280,300	764,000	278,230
24	0,979	5,500	574,000	164,000	0	0
25	0,997	-2,278	577,000	184,000	0	0
26	0,959	-2,043	25,730	4,180	0	0
Total			10285,732	3848,826	10489,337	4876,385

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.29 hasil simulasi sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV setelah penempatan UPFC yang telah dioptimasi dengan menggunakan ICA diketahui bahwa total daya yang dibangkitkan oleh *slack* bus dan generator adalah sebesar 10489,337 MW dan 4876,385 MVAR. Selain itu terdapat beberapa variasi tegangan pada sistem tersebut dimana variasi tegangan tersebut berkisar pada nilai 0,957 p.u. hingga 1,020 p.u. Dan bus-bus yang sebelumnya berada di luar dari batas tegangan sekarang berada dalam batas, yaitu nilai tegangan $1\pm 5\%$ p.u. Hasil aliran daya pada masing-masing saluran transmisi dan rugi-rugi daya yang timbul pada sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV setelah penempatan UPFC yang telah dioptimasi dengan metode ICA ditunjukkan pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Hasil Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV Setelah Penempatan UPFC yang Telah Dioptimasi

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
1		1693,737	1577,626	2314,659		
	2	475,363	697,135	843,782	0,430	2,444
	25	1222,399	876,413	1504,114	7,999	76,391
2		-69,318	-367,328	373,811		
	1	-474,933	-694,691	841,521	0,430	2,444
	5	405,616	327,363	521,240	3,465	38,652
3		-122,000	-144,000	188,733		
	4	-122,000	-144,000	188,733	0,058	-0,233
4		-571,280	31,200	572,131		
	3	122,058	143,767	188,592	0,058	-0,233
	18	-58,345	480,844	484,371	0,176	-2,774
	25	-634,992	-593,411	869,110	2,409	22,611
5		-196,121	-985,106	1004,439		
	2	-402,151	-288,711	495,055	3,465	38,652
	7	667,200	-178,780	690,737	2,281	21,566
	8	94,819	-432,411	442,685	1,310	12,327
	11	-196,855	-216,349	292,505	0,378	3,906
	18	-359,135	131,145	382,331	0,129	-0,454
6		-523,000	-108,000	534,035		
	7	-63,883	160,626	172,864	0,063	-0,193
	8	-459,117	-268,626	531,929	1,684	15,893

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
7		-600,973	39,527	602,272		
	5	-664,919	200,346	694,446	2,281	21,566
	6	63,946	-160,819	173,066	0,063	-0,193
8		767,000	1134,374	1369,341		
	5	-93,509	444,738	454,462	1,310	12,327
	6	460,801	284,520	541,561	1,684	15,893
	9	399,708	401,448	566,504	0,925	8,313
9		-947,000	-410,000	1031,944		
	8	-398,784	-393,135	559,985	0,925	8,313
	10	-548,216	-16,865	548,476	0,862	7,695
10		-245,070	457,768	519,241		
	9	549,078	24,560	549,627	0,862	7,695
	11	-794,148	433,178	904,608	1,257	11,000
11		566,930	553,988	792,662		
	5	197,233	220,255	295,658	0,378	3,906
	10	795,406	-422,178	900,502	1,257	11,000
	12	-425,709	747,886	860,559	1,526	16,931
12		-557,000	-261,000	615,118		
	11	427,235	-731,495	847,121	1,526	16,391
	13	-166,014	79,091	183,891	0,257	2,252
	26	-818,220	391,404	907,018	0,344	3,312
13		-67,960	-66,790	95,286		
	12	166,271	-76,839	183,168	0,257	2,252
	14	-1176,531	31,332	1176,948	20,447	196,618
	26	845,108	-374,819	934,498	0,814	9,094
14		-654,000	-410,000	771,891		
	13	1197,0008	165,286	1208,366	20,477	196,618
	15	-1955,078	359,907	1987,929	55,651	622,376
	16	115,154	110,684	159,723	0,419	3,977
	20	-108,302	83,441	136,718	0,176	1,514
	24	171,409	-82,469	190,216	0,884	8,422
15		1938,000	267,026	1956,309		
	14	2010,729	262,470	2027,787	55,651	622,376
16		-932,850	-339,710	992,780		
	14	-114,735	-106,707	156,686	0,419	3,977
	17	-412,118	-567,872	701,655	0,742	6,018
	23	-861,681	-197,602	884,047	3,370	37,363
	24	352,346	-611,749	705,963	3,216	30,628
17		412,860	578,566	710,768		
	16	412,860	573,890	706,968	0,742	6,018
18		-503,990	-108,380	515,512		

Bus		Aliran Daya Saluran			Losses Saluran	
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
	4	58,521	-483,618	487,146	0,176	-2,774
	5	359,264	-131,599	382,608	0,129	-0,454
	19	-1001,563	212,528	1023,864	15,888	177,648
19		-285,000	-92,000	299,481		
	18	1017,451	-34,879	1018,049	15,888	177,648
	20	-1337,811	300,210	1371,082	31,391	35,031
20		-629,038	-760,319	986,000		
	14	108,478	-81,928	135,940	0,176	1,514
	19	1369,202	-265,179	1394,645	31,391	35,031
	21	-2028,043	-338,736	2056,137	45,860	51,170
21		-610,274	-635,853	881,331		
	20	2073,903	389,906	2110,237	45,860	51,170
	22	550,120	257,050	607,212	1,669	18,345
22		3169,100	1374,141	3454,194		
	21	529,766	-1286,297	1391,119	20,318	22,592
	23	550,120	257,050	607,212	1,669	18,345
23		316,600	-2,070	316,607		
	16	865,050	234,965	896,393	3,370	37,363
	22	-548,451	-238,705	598,146	1,669	18,345
24		-574,000	-164,000	596,969		
	14	-170,526	90,891	193,236	0,884	8,422
	16	-349,130	642,376	731,122	3,216	30,628
25		-577,000	-184,000	605,628		
	1	-1214,401	-800,022	1454,236	7,999	76,391
	4	637,401	616,022	886,443	2,409	22,611
26		-25,730	-4,180	26,067		
	12	818,565	-388,092	905,905	0,344	3,312
	13	-814,294	383,913	927,482	0,814	9,094
Total					230,188	1276,940

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.30 dapat dilihat total rugi-rugi daya aktif pada kondisi sistem setelah penempatan kapasitor bank yang telah dioptimasi menggunakan metode ICA menurun dari 265,108 MW menjadi 230,188 MW (13,1719%) dan rugi-rugi daya reaktif menurun dari 1480.189 MVAR menjadi 1276,940 MVAR (13,7312%).

4.2.4 Perbandingan Simulasi Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV pada Tiga Kondisi

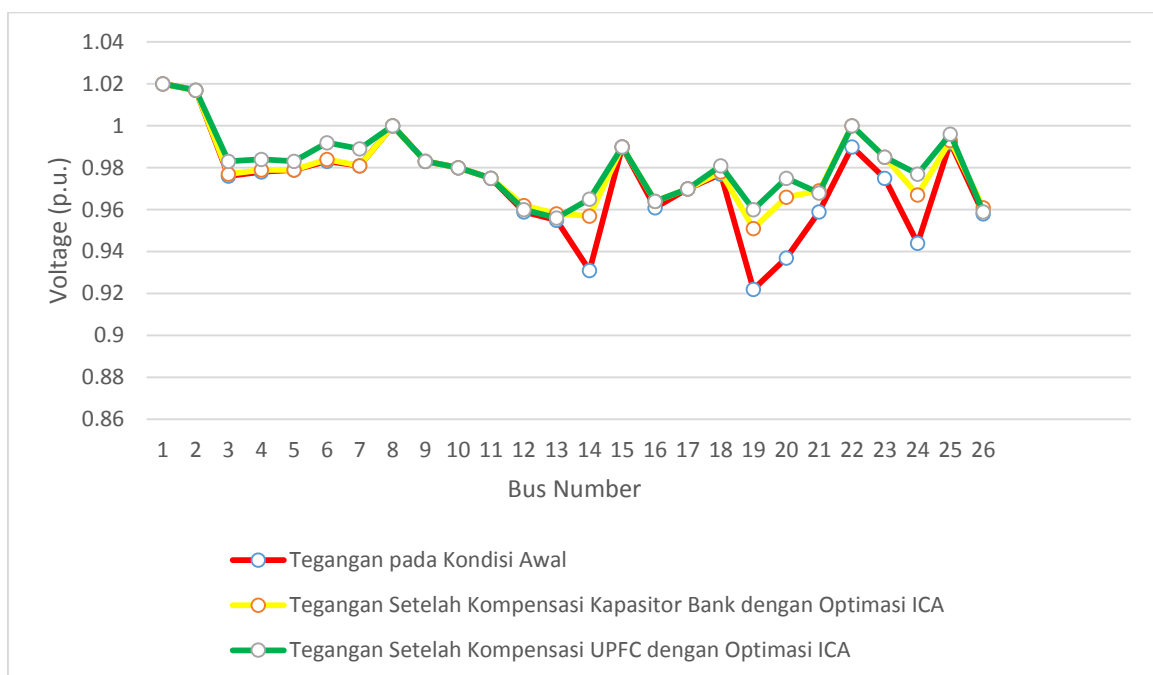
Setelah melakukan pengujian pada sistem tenaga listrik JAMALI 500 kV dengan 3 kondisi yang diterapkan yaitu sistem sebelum adanya penempatan kapasitor bank maupun UPFC, setelah penempatan kapasitor bank dengan optimasi ICA dan setelah penempatan UPFC dengan optimasi ICA. Dari hasil yang ada dapat dilihat adanya perbaikan nilai tegangan pada bus-bus yang berada di bawah batas yang diijinkan dan juga peningkatan kapabilitas saluran transmisi. Selain itu rugi daya aktif yang dihasilkan pada proses aliran daya dari masing-masing kondisi yang diterapkan berbeda. Pada Tabel 4.31 dan Gambar 4.8 dapat dilihat perbandingan profil tegangan sistem sebelum adanya penempatan kompensator, setelah penempatan kapasitor bank dengan optimasi ICA dan setelah penempatan UPFC dengan optimasi ICA.

Tabel 4.31 Perbandingan Profil Tegangan Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV pada Tiga Kondisi

No Bus	Magnititude Tegangan		
	Kondisi Awal	Kapsitor Bank dengan Optimasi ICA	UPFC dengan Optimasi ICA
1	1,020	1,020	1,020
2	1,017	1,017	1,017
3	0,976	0,977	0,983
4	0,978	0,979	0,984
5	0,979	0,979	0,983
6	0,983	0,984	0,992
7	0,981	0,981	0,989
8	1,000	1,000	1,000
9	0,983	0,983	0,983
10	0,980	0,980	0,980
11	0,975	0,975	0,975
12	0,959	0,962	0,96
13	0,955	0,958	0,956
14	0,931	0,957	0,965
15	0,990	0,990	0,990
16	0,961	0,964	0,964
17	0,970	0,970	0,970
18	0,977	0,978	0,981
19	0,922	0,951	0,960

No Bus	Magnitude Tegangan		
	Kondisi Awal	Kapsitor Bank dengan Optimasi ICA	UPFC dengan Optimasi ICA
20	0,937	0,966	0,975
21	0,959	0,969	0,968
22	0,990	1,000	1,000
23	0,975	0,985	0,985
24	0,944	0,967	0,977
25	0,992	0,993	0,996
26	0,958	0,961	0,959

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.8 Perbandingan Profil Tegangan Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV pada Tiga Kondisi

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa dalam simulasi sistem pada kondisi awal terdapat beberapa bus yang memiliki nilai tegangan di bawah batas fungsi objektif yang ditentukan. Akan tetapi setelah sistem mendapat kompensasi, maka terdapat perbaikan nilai tegangan pada bus-bus sistem tersebut. Dari hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan kapasitor bank maupun UPFC pada sistem dapat memperbaiki nilai tegangan, sehingga dapat memenuhi batas $1 \pm 5\%$ p.u. sesuai dengan batas level yang diijinkan. Dan penambahan UPFC dapat memperbaiki nilai tegangan lebih baik dibandingkan dengan penambahan kapasitor bank pada sistem.

Tabel 4.32 Perbandingan Rugi Daya Aktif Sistem Tenaga Listrik JAMALI 500 kV pada Tiga Kondisi

Simulasi	Kondisi Awal	Penempatan Kapasitor Bank dengan Optimasi ICA	Penempatan UPFC dengan Optimasi ICA
Rugi Daya Aktif (MW)	265,108	238,633	227,528
Rugi Daya Reaktif (MVAR)	1480,189	1416,931	1263,276

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.32 dapat disimpulkan bahwa dengan adanya kompensasi kapasitor bank yang dioptimasi dengan menggunakan ICA dapat mereduksi rugi daya aktif sebesar 26,412 MW (9,96%) dan mereduksi daya reaktif sebesar 63,438 MVAR(4,28%) sedangkan kompensasi UPFC yang dioptimasi dengan menggunakan ICA dapat mereduksi rugi daya aktif lebih baik, yaitu sebesar 36,923 MW (13,92%) dan mereduksi rugi daya reaktif sebesar 209,655 MVAR (14,16%).

4.3 Perbandingan Simulasi Sistem JAMALI 500 kV dengan Parameter ICA yang Bervariasi

Optimasi kapasitor bank dan UPFC dilakukan dengan *setting* parameter ICA yang bervariasi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter yang ada terhadap keluaran ICA (fitness). Parameter yang akan divariasi meliputi *decade*, jumlah *country* dan jumlah *imperialist*.

4.3.1 Optimasi pada Kapasitor Bank

Pengujian variasi parameter ICA yang dilakukan pada optimasi kapasitor bank antara lain:

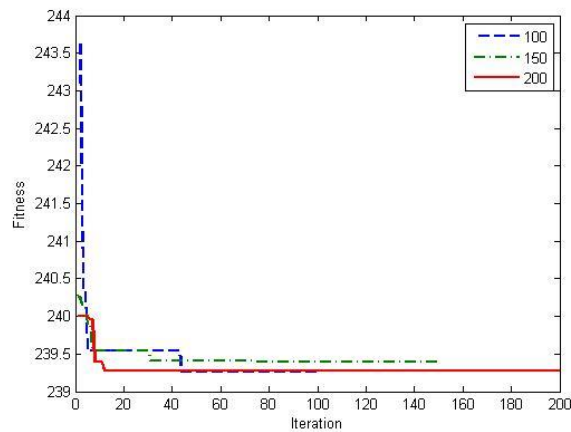
1. Variasi *Decade*

Hasil pengujian variasi *decade* ditunjukkan pada Tabel 4.33 dan Gambar 4.9

Tabel 4.33 Perbandingan Variasi *Decade* pada Optimasi Kapasitor Bank

<i>Decade</i>	Fitness	Konvergen (Iterasi ke-)	Waktu Eksekusi Program
100	239,2605	44	3' 07''
150	239.3946	75	4' 43''
200	239.2676	12	6' 25''

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.9 Grafik Variasi *Decade* pada Optimasi Kapasitor Bank

Berdasarkan Tabel 4.33 dan Grafik 4.9 *decade* 100 memiliki fitness yang lebih baik dibandingkan dengan *decade* 150 dan 200, dan semakin banyak jumlah *decade* menjadikan waktu eksekusi program lebih lama.

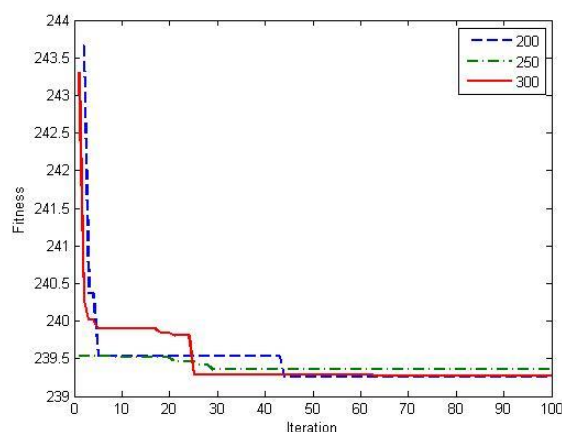
2. Variasi Jumlah *Country*

Hasil pengujian variasi jumlah *Country* ditunjukkan pada Tabel 4.34 dan Gambar 4.10

Tabel 4.34 Perbandingan Variasi *Country* pada Optimasi Kapasitor Bank

<i>Country</i>	Fitness	Konvergen (Iterasi ke-)	Waktu Eksekusi Program
200	239,2605	44	3' 07''
250	239.3554	29	3' 58''
300	239.2889	25	4' 48''

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.10 Grafik Variasi Jumlah *Country* pada Optimasi Kapasitor Bank

Berdasarkan Tabel 4.34 dan Grafik 4.10 *country* 200 memiliki fitness yang lebih baik dibandingkan dengan *country* 250 dan 300, dan semakin banyak jumlah *country* menjadikan waktu eksekusi program lebih lama.

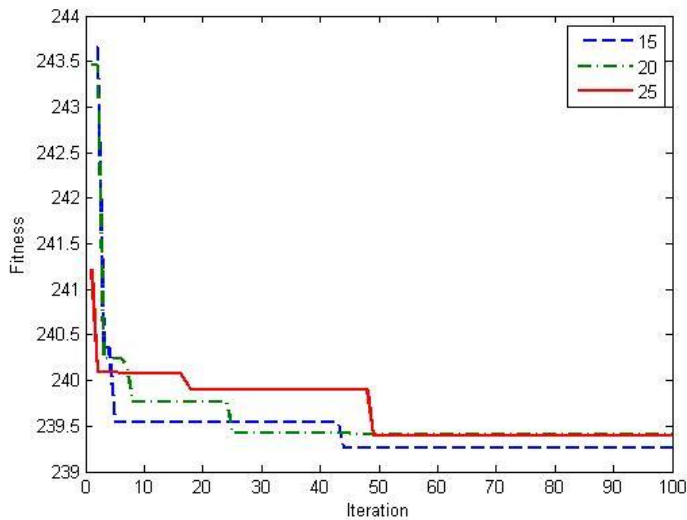
3. Variasi Jumlah *Imperialist*

Hasil pengujian variasi jumlah *imperialist* ditunjukkan pada Tabel 4.35 dan Gambar 4.11

Tabel 4.35 Perbandingan Variasi *Imperialist* pada Optimasi Kapasitor Bank

<i>Imperialist</i>	Fitness	Konvergen (Iterasi ke-)	Waktu Eksekusi Program
15	239,2605	44	3' 07"
20	239.4018	46	3' 03"
25	239.3875	49	3' 01"

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.11 Grafik Variasi Jumlah *Imperialist* pada Optimasi Kapasitor Bank

Berdasarkan Tabel 4.34 dan Grafik 4.10 *imperialist* 15 memiliki fitness yang lebih baik dibandingkan dengan *imperialist* 20 dan 25 dan semakin banyak jumlah *imperialist* menjadikan waktu eksekusi program lebih cepat.

4.3.2 Optimasi *Unified Power Flow Controller (UPFC)*

Pengujian variasi parameter ICA yang dilakukan pada optimasi UPFC antara lain:

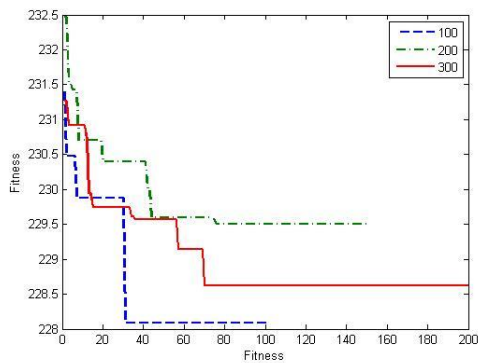
1. Variasi *Decade*

Hasil pengujian variasi *decade* ditunjukkan pada Tabel 4.33 dan Gambar 4.12

Tabel 4.36 Perbandingan Variasi *Decade* pada Optimasi Kapasitor Bank

<i>Decade</i>	Fitness	Konvergen (Iterasi ke-)	Waktu Eksekusi Program
100	228,0900	31	3' 14"
150	229.5038	76	4' 42"
200	228.6263	70	6' 20"

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.12 Grafik Variasi Decade pada Optimasi UPFC

Berdasarkan Tabel 4.33 dan Grafik 4.9 *decade* 100 memiliki fitness yang lebih baik dibandingkan dengan *decade* 150 dan 200, dan semakin banyak jumlah *decade* menjadikan waktu eksekusi program lebih lama.

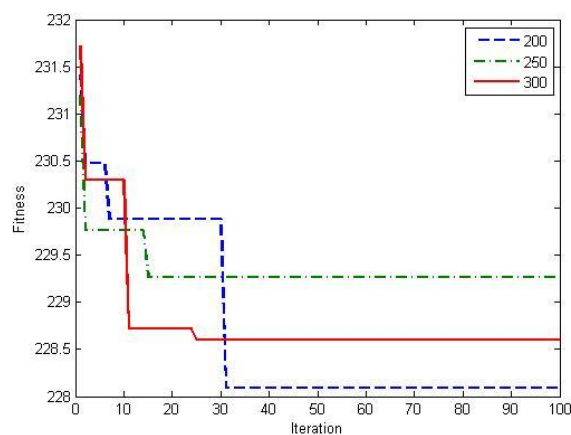
2. Variasi Jumlah *Country*

Hasil pengujian variasi jumlah *Country* ditunjukkan pada Tabel 4.34 dan Gambar 4.13

Tabel 4.37 Perbandingan Variasi *Country* pada Optimasi Kapasitor Bank

<i>Country</i>	Fitness	Konvergen (Iterasi ke-)	Waktu Eksekusi Program
200	228,0900	31	3' 14"
250	229.2670	15	3' 59"
300	228.5973	25	4' 46"

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.13 Grafik Variasi Jumlah *Country* pada Optimasi UPFC

Berdasarkan Tabel 4.34 dan Grafik 4.10 *country* 200 memiliki fitness yang lebih baik dibandingkan dengan *country* 250 dan 300, dan semakin banyak jumlah *country* menjadikan waktu eksekusi program lebih lama.

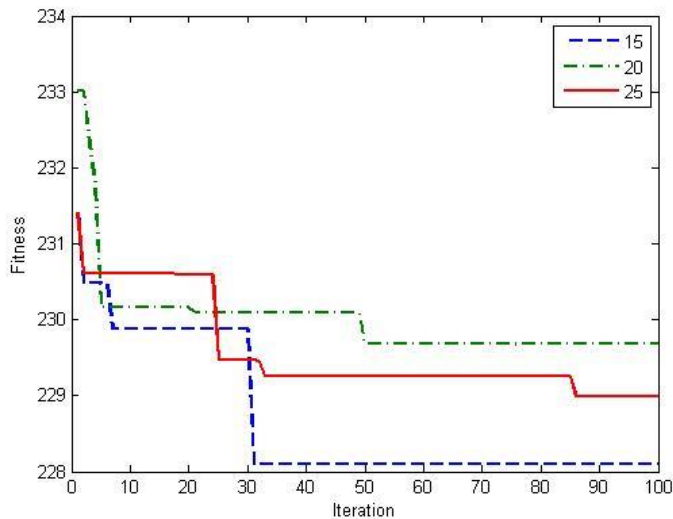
3. Variasi Jumlah *Imperialist*

Hasil pengujian variasi jumlah *Imperialist* ditunjukkan pada Tabel 4.35 dan Gambar 4.14

Tabel 4.38 Perbandingan Variasi *Imperialist* pada Optimasi Kapasitor Bank

<i>Imperialist</i>	Fitness	Konvergen (Iterasi ke-)	Waktu Eksekusi Program
15	228,0900	31	3' 14"
20	229.6794	50	3' 04"
25	228.9817	86	3' 00"

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.14 Grafik Variasi Jumlah Country pada Optimasi UPFC

Berdasarkan Tabel 4.34 dan Grafik 4.10 *imperialist* 15 memiliki fitness yang lebih baik dibandingkan dengan *imperialist* 20 dan 25, dan semakin banyak jumlah *imperialist* menjadikan waktu eksekusi program lebih cepat.

4.3.3 Kesimpulan Pengaruh Variasi Parameter terhadap Performansi Metode ICA

Berdasarkan simulai yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa variasi *decade*, jumlah *country* dan jumlah *imperialist* tidak memberikan pengaruh terhadap fitness maupun titik konvergensi, karena *country* diinisialisasi secara acak pada batas yang sama. Variasi tersebut hanya akan berpengaruh kepada waktu eksekusi program.