

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisis hasil simulasi dengan menggunakan data-data penyulang Rejoyoso 20 kV yang diperoleh dari PT PLN (Persero). Permasalahan yang akan dibahas adalah jatuh tegangan dan susut daya pada penyulang Rejoyoso sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor.

#### 4.1 Gambaran Umum Penyulang Rejoyoso

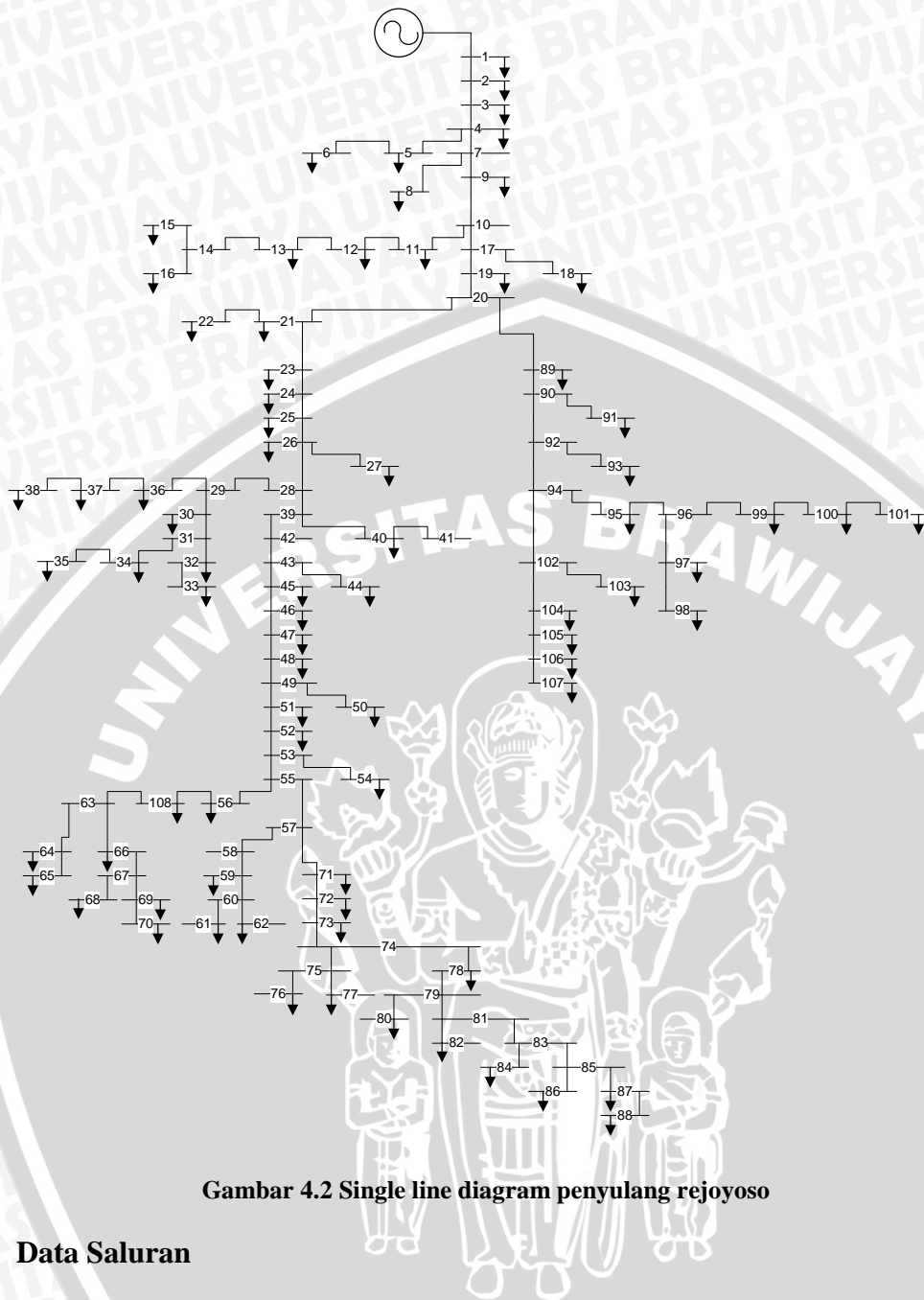
Penyulang Rejoyoso adalah salah satu penyulang PLN Area Malang Rayon Gondanglegi yang disuplai oleh Gardu Induk Sengguruh. Penyulang ini memiliki panjang SUTM 102,962 kms dan memiliki 75 gardu distribusi. Penyulang ini terletak di dua kecamatan yaitu di Kecamatan Pagak dan Kecamatan Bantur Kabupaten Malang. Peta penyulang Rejoyoso ditunjukkan pada Gambar 4.1. Sedangkan Single line diagram Penyulang Rejoyoso pada Gambar 4.2.

#### 4.2 Sistem Distribusi Daya

Konfigurasi yang digunakan pada penyulang Rejoyoso adalah konfigurasi radial. Seperti yang dijelaskan pada bab 2 bahwa konfigurasi radial merupakan konfigurasi yang sangat sederhana sehingga biaya investasi yang dikeluarkan lebih sedikit dibandingkan dengan konfigurasi lainnya. Jika ditinjau dari segi keandalannya, konfigurasi radial memiliki tingkat keandalan yang lebih rendah dibandingkan dengan konfigurasi lainnya. Apabila terjadi gangguan pada suatu gardu distribusi, maka semua konsumen yang tersambung pada gardu distribusi tersebut akan mengalami pemadaman. Begitu pula apabila GI mengalami gangguan, maka seluruh penyulang yang disuplai oleh GI tersebut akan mengalami pemadaman.

Konfigurasi radial juga memiliki kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi paling ujung kurang baik, hal ini disebabkan oleh jatuh tegangan terbesar ada diujung saluran yang disebabkan oleh panjangnya saluran. Pemasangan kapasitor dapat digunakan untuk memperbaiki level tegangan diujung saluran tersebut. Data-data yang diperlukan pada penelitian ini untuk mensimulasikan saluran distribusi diantaranya data saluran penyulang Rejoyoso, data transformator distribusi, dan data pembebanan transformator.





**Gambar 4.2 Single line diagram penyulang rejoyoso**

#### **4.2.1 Data Saluran**

Saluran distribusi penyulang Rejoyoso memiliki panjang total SUTM 102,962 kms. Data jenis kabel dan panjang saluran didapatkan dari PLN Rayon Gondanglegi. Data saluran penyulang ditunjukkan pada Tabel 4.1 menggunakan tegangan 20 kV sebagai tegangan dasar, sedangkan data tipe kabel dan impedansi ditunjukkan pada Tabel 4.2.



Tabel 4.1 Data saluran penyulang rejoyoso

Line	Dari	Ke	TIPE	Panjang (Kms)	Line	Dari	Ke	TIPE	Panjang (Kms)
Line 1	Bus 1	Bus 2	M107	1,4	Line 41	Bus 39	Bus 42	M107	0,41
Line 2	Bus 2	Bus 3	M107	1,7	Line 42	Bus 42	Bus 43	M107	0,6
Line 3	Bus 3	Bus 4	M107	0,8	Line 43	Bus 43	Bus 44	M102	0,503
Line 4	Bus 4	Bus 5	M104	0,951	Line 44	Bus 43	Bus 45	M107	0,56
Line 5	Bus 5	Bus 6	M104	1,338	Line 45	Bus 45	Bus 46	M107	1,698
Line 6	Bus 4	Bus 7	M107	2,1	Line 46	Bus 46	Bus 47	M107	1,168
Line 7	Bus 7	Bus 8	M107	1,001	Line 47	Bus 47	Bus 48	M107	0,417
Line 8	Bus 7	Bus 9	M107	1,32	Line 48	Bus 48	Bus 49	M107	0,3
Line 9	Bus 9	Bus 10	M107	0,7	Line 49	Bus 49	Bus 50	M107	0,709
Line 10	Bus 10	Bus 11	M107	1,01	Line 50	Bus 49	Bus 51	M107	0,2
Line 11	Bus 11	Bus 12	M107	0,9	Line 51	Bus 51	Bus 52	M107	0,839
Line 12	Bus 12	Bus 13	M107	0,95	Line 52	Bus 52	Bus 53	M104	0,45
Line 13	Bus 13	Bus 14	M107	1,09	Line 53	Bus 53	Bus 54	M107	1,314
Line 14	Bus 14	Bus 15	M107	0,82	Line 54	Bus 53	Bus 55	M104	0,56
Line 15	Bus 14	Bus 16	M104	1,458	Line 55	Bus 55	Bus 56	M107	1,405
Line 16	Bus 10	Bus 17	M107	0,7	Line 56	Bus 55	Bus 57	M104	0,42
Line 17	Bus 17	Bus 18	M107	0,581	Line 57	Bus 57	Bus 58	M104	1,2
Line 18	Bus 17	Bus 19	M107	0,281	Line 58	Bus 58	Bus 59	M104	4,072
Line 19	Bus 19	Bus 20	M107	1,003	Line 59	Bus 59	Bus 60	M104	1,015
Line 20	Bus 20	Bus 21	M104	0,43	Line 60	Bus 60	Bus 61	M107	1,686
Line 21	Bus 21	Bus 22	M104	0,42	Line 61	Bus 60	Bus 62	M104	1,699
Line 22	Bus 21	Bus 23	M107	0,24	Line61,5	Bus 58	Bus 108	M104	0,2
Line 23	Bus 23	Bus 24	M107	1,629	Line62	Bus 108	Bus 63	M104	0,7
Line 24	Bus 24	Bus 25	M107	2,103	Line 63	Bus 63	Bus 64	M104	1,14
Line 25	Bus 25	Bus 26	M107	0,415	Line 64	Bus 64	Bus 65	M104	0,669
Line 26	Bus 26	Bus 27	M104	0,708	Line 65	Bus 63	Bus 66	M104	1,504
Line 27	Bus 26	Bus 28	M107	0,42	Line 66	Bus 66	Bus 67	M104	1,6
Line 28	Bus 28	Bus 29	M104	0,925	Line 67	Bus 67	Bus 68	M104	0,976
Line 29	Bus 29	Bus 30	M104	0,925	Line 68	Bus 67	Bus 69	M104	1,2
Line 30	Bus 30	Bus 31	M107	0,75	Line 69	Bus 69	Bus 70	M102	2,197
Line 31	Bus 31	Bus 32	M107	0,73	Line 70	Bus 57	Bus 71	M107	1,194
Line 32	Bus 32	Bus 33	M107	1,444	Line 71	Bus 71	Bus 72	M107	1,632
Line 33	Bus 31	Bus 34	M104	1,284	Line 72	Bus 72	Bus 73	M104	1,482
Line 34	Bus 34	Bus 35	M104	0,75	Line 73	Bus 73	Bus 74	M104	0,5
Line 35	Bus 29	Bus 36	M107	1,37	Line 74	Bus 74	Bus 75	M104	0,8
Line 36	Bus 36	Bus 37	M107	1,503	Line 75	Bus 75	Bus 76	M104	0,4
Line 37	Bus 37	Bus 38	M104	1,251	Line 76	Bus 75	Bus 77	M104	0,662
Line 38	Bus 28	Bus 39	M107	0,42	Line 77	Bus 74	Bus 78	M104	0,8
Line 39	Bus 39	Bus 40	M104	1,256	Line 78	Bus 78	Bus 79	M104	0,545
Line 40	Bus 40	Bus 41	M104	0,521	Line 79	Bus 79	Bus 80	M104	0,875

Line	Dari	Ke	TIPE	Panjang (Kms)
Line 80	Bus 79	Bus 81	M104	0,981
Line 81	Bus 81	Bus 82	M104	1,482
Line 82	Bus 81	Bus 83	M104	0,661
Line 83	Bus 83	Bus 84	M104	0,667
Line 84	Bus 83	Bus 85	M104	0,451
Line 85	Bus 85	Bus 86	M104	0,765
Line 86	Bus 85	Bus 87	M104	0,454
Line 87	Bus 87	Bus 88	M104	1,441
Line 88	Bus 20	Bus 89	M107	0,632
Line 89	Bus 89	Bus 90	M107	0,7
Line 90	Bus 90	Bus 91	M102	0,319
Line 91	Bus 90	Bus 92	M107	0,6
Line 92	Bus 92	Bus 93	M104	0,206

Line	Dari	Ke	TIPE	Panjang
Line 93	Bus 92	Bus 94	M107	0,8
Line 94	Bus 94	Bus 95	M107	3,22
Line 95	Bus 95	Bus 96	M107	0,4
Line 96	Bus 96	Bus 97	M107	1,672
Line 97	Bus 97	Bus 98	M107	0,838
Line 98	Bus 96	Bus 99	M107	0,4
Line 99	Bus 99	Bus 100	M107	0,929
Line 100	Bus 100	Bus 101	M107	0,934
Line 101	Bus 94	Bus 102	M107	0,5
Line 102	Bus 102	Bus 103	M102	0,323
Line 103	Bus 102	Bus 104	M107	0,75
Line 104	Bus 104	Bus 105	M107	0,602
Line 105	Bus 105	Bus 106	M107	1,142
Line 106	Bus 106	Bus 107	M107	1,195

Sumber : PT. PLN (Persero) Distribusi Jatim APJ Malang

**Tabel 4. 2 Tipe-tipe kabel dan impedansi**

No	Kode saluran	Tipe kabel	Luas (mm <sup>2</sup> )	Impedansi urutan positif ( $\Omega/\text{km}$ )	Impedansi urutan nol ( $\Omega/\text{km}$ )
1	M102	A3C50	50	$0.6452 + j 0.3678$	$0.7932 + j1.6553$
2	M104	A3C70	70	$0.4608 + j0.3572$	$0.6088 + j1.6447$
3	M107	A3C70	150	$0.2162 + j0.3305$	$0.3631 + j1.6180$

Sumber : PT. PLN (Persero) Distribusi Jatim APJ Malang

#### 4.2.2 Data Transformator dan Pembebanan Transformator

Saluran distribusi penyulang Rejoyoso memiliki 75 transformator distribusi dengan berbagai jenis beban, seperti beban perumahan, beban komersil dan beban industri. Data pembebanan transformator pada beban puncak penyulang Rejoyoso ditunjukkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3 Data pembebanan transformator**

No	Bus	Kode Gardu	Daya Trafo (kVA)	Beban (kVA)
1	51	H0002	150	83
2	101	H0071	250	164
3	99	H0072	200	133
4	103	H0085	25	16
5	104	H0086	200	139
6	93	H0087	160	87
7	91	H0088	100	43
8	89	H0089	160	75
9	22	H0090	200	95
10	23	H0091	200	153
11	18	H0092	160	139

No	Bus	Kode Gardu	Daya Trafo (kVA)	Beban (kVA)
12	16	H0102	25	11
13	105	H0104	100	50
14	47	H0115	100	85
15	95	H0163	150	82
16	98	H0165	150	100
17	42	H0184	200	158
18	48	H0185	160	131
19	52	H0186	160	106
20	35	H0207	100	23
21	3	H0211	250	185
22	46	H0214	160	134



No	Bus	Kode Gardu	Daya Trafo (kVA)	Beban (kVA)
23	11	H0215	250	134
24	8	H0218	160	115
25	9	H0219	160	134
26	6	H0221	160	133
27	12	H0232	100	86
28	25	H0240	100	49
29	40	H0242	25	22
30	41	H0243	160	84
31	27	H0245	100	37
32	108	H0248	100	47
33	64	H0249	100	88
34	24	H0256	100	55
35	30	H0260	160	101
36	5	H0261	50	30
37	59	H0279	100	51
38	62	H0280	160	120
39	34	H0294	100	43
40	32	H0295	100	52
41	33	H0296	50	22
42	54	H0297	100	23
43	106	H0298	100	30
44	107	H0299	160	63
45	2	H0300	160	106
46	100	H0315	160	79
47	56	H0345	100	39
48	50	H0346	160	72

No	Bus	Kode Gardu	Daya Trafo (kVA)	Beban (kVA)
49	71	H0347	50	25
50	36	H0349	100	61
51	37	H0350	100	69
52	13	H0351	50	24
53	15	H0352	160	72
54	61	H0378	160	83
55	66	H0400	100	40
56	68	H0401	100	58
57	72	H0416	50	45
58	73	H0417	100	76
59	78	H0418	50	36
60	80	H0419	100	35
61	82	H0420	100	34
62	84	H0421	25	23
63	86	H0422	50	26
64	87	H0423	50	35
65	77	H0428	25	20
66	69	H0429	50	39
67	70	H0505	50	15
68	44	H0508	50	23
69	45	H0509	25	17
70	38	H0510	25	17
71	76	H0511	25	12
72	19	H0526	200	184
73	88	H0527	100	39
74	97	H0544	100	60
75	65	H0576	25	13

Sumber : PT. PLN (Persero) Distribusi Jatim APJ Malang

### 4.3 Skenario Simulasi Aliran Daya

Pada penelitian ini dilakukan simulasi daya dengan menggunakan etap 12.6.0 untuk mengetahui dan mengevaluasi sistem pada kondisi awal sebelum dilakukan perbaikan terhadap jatuh tegangan dan susut daya.

Dalam simulasi ini akan dilakukan 5 skenario, yaitu skenario 1 adalah kondisi awal sesuai dengan data yang di dapat dari PLN atau kondisi saat sebelum dipasang kapasitor, skenario 2 adalah kondisi saat pemasangan kapasitor pada bus kandidat pertama, skenario 3 adalah kondisi saat pemasangan kapasitor pada bus kandidat pertama dan bus kandidat kedua, skenario 4 adalah kondisi pemasangan

kapasitor pada bus kandidat pertama, kedua, dan ketiga, dan skenario ke 5 adalah kondisi pemasangan kapasitor pada bus kandidat pertama, kedua, ketiga, dan keempat dan seterusnya sampai tegangan tiap bus sudah mencapai batas yang ditentukan. Skenario tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4 Skenario pemasangan kapasitor**

Skenario	Kondisi
1	Awal
2	Pemasangan Kapsitor kandidat 1
3	Pemasangan Kapasitor kandidat 1 dan 2
4	Pemasangan Kapasitor kandidat 1,2, dan 3
5	Pemasangan kapasitor kandidat 1,2,3, dan 4
6	Pemasangan kapasitor kandidat 1,2,3,4, dan 5
7	Pemasangan kapasitor kandidat 1,2,3, 4, 5, dan 6
8	Pemasangan kapasitor kandidat 1,2,3 4,5,6, dan 7
9	Pemasangan kapasitor kandidat 1,2,3,4,5,6,7dan 8

#### 4.4 Simulasi Skenario 1

Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, pada skenario ini kondisi awal sebelum dipasang kapasitor. Hasil simulasi meliputi data pembangkitan pada sistem, nilai tegangan tiap bus dan aliran beban pada tiap bus, dan besar susut daya pada penyulang yang akan ditunjukkan pada Tabel 4.5, 4.6, dan 4.8.

**Tabel 4.5 Data pembangkitan sistem pada skenario 1**

Rating (MVA)	Rated kV	Daya nyata (MW)	Daya Reaktif (Mvar)
100	20	4,402	3,114

Dalam simulasi terdapat sebuah power grid (source) yang diasumsikan sebagai Gardu induk. Pada tabel 4.5 merupakan data pembangkitan pada Gardu induk Sengguruh yang diasumsikan sebagai pembangkit dengan daya dasar 100 MVA, tegangan 20 kV, dan daya pembangkitan sebesar 4,402 MW dan 3,114 Mvar.

**Tabel 4.6 Tegangan dan aliran beban tiap bus pada skenario 1**

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)	Daya Nyata (MW)	Daya Reaktif (Mvar)	PF
Bus 1	19,814646	0,9907323	4,402	3,114	0,823
Bus 2	19,676734	0,983837	4,399	3,032	0,825
Bus 3	19,512866	0,975643	4,287	2,939	0,827
Bus 4	19,438634	0,971932	4,105	2,795	0,827
Bus 5	19,434012	0,971701	0,148	0,074	0,893
Bus 6	19,428722	0,971436	0,122	0,058	0,904
Bus 7	19,250094	0,962505	3,946	2,704	0,827
Bus 8	19,247894	0,962395	0,097	0,065	0,831
Bus 9	19,134642	0,956732	3,822	2,597	0,829
Bus 10	19,07528	0,953764	3,693	2,495	0,829
Bus 11	19,068972	0,953449	0,274	0,181	0,835
Bus 12	19,065646	0,953282	0,162	0,107	0,834
Bus 13	19,063722	0,953186	0,090	0,058	0,839



Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)	Daya Nyata (MW)	Daya Reaktif (Mvar)	PF
Bus 14	19,06201	0,953101	0,069	0,045	0,839
Bus 15	19,060894	0,953045	0,060	0,039	0,838
Bus 16	19,061522	0,953076	0,009	0,006	0,84
Bus 17	19,020318	0,951016	3,410	2,302	0,83
Bus 18	19,018746	0,950937	0,117	0,079	0,827
Bus 19	18,999024	0,949951	3,286	2,212	0,83
Bus 20	18,92665	0,946333	3,129	2,102	0,831
Bus 21	18,891894	0,944595	2,182	1,468	0,83
Bus 22	18,89067	0,944534	0,079	0,052	0,838
Bus 23	18,880194	0,94401	2,099	1,414	0,83
Bus 24	18,805666	0,940283	1,970	1,326	0,831
Bus 25	18,71175	0,935588	1,918	1,287	0,832
Bus 26	18,693618	0,934681	1,871	1,250	0,832
Bus 27	18,692812	0,934641	0,031	0,020	0,841
Bus 28	18,675566	0,933778	1,838	1,228	0,832
Bus 29	18,664414	0,933221	0,324	0,213	0,836
Bus 30	18,657508	0,932875	0,201	0,131	0,837
Bus 31	18,655492	0,932775	0,117	0,075	0,839
Bus 32	18,65445	0,932723	0,062	0,040	0,838
Bus 33	18,65384	0,932692	0,018	0,012	0,839
Bus 34	18,652884	0,932644	0,055	0,035	0,841
Bus 35	18,652356	0,932618	0,019	0,012	0,844
Bus 36	18,660494	0,933025	0,123	0,081	0,834
Bus 37	18,660494	0,933025	0,072	0,048	0,833
Bus 38	18,659828	0,932991	0,014	0,009	0,833
Bus 39	18,660674	0,933034	1,514	1,014	0,831
Bus 40	18,656532	0,932827	0,088	0,058	0,834
Bus 41	18,655176	0,932759	0,070	0,046	0,836
Bus 42	18,646978	0,932349	1,424	0,954	0,831
Bus 43	18,628806	0,93144	1,292	0,864	0,832
Bus 44	18,62835	0,931418	0,019	0,012	0,839
Bus 45	18,612094	0,930605	1,272	0,850	0,832
Bus 46	18,562002	0,9281	1,257	0,839	0,832
Bus 47	18,530656	0,926533	1,143	0,760	0,833
Bus 48	18,52017	0,926009	1,071	0,710	0,834
Bus 49	18,512626	0,925631	1,070	0,709	0,834
Bus 50	18,51164	0,925582	0,060	0,039	0,838
Bus 51	18,507876	0,925394	1,010	0,670	0,834
Bus 52	18,489304	0,924465	0,941	0,624	0,834
Bus 53	18,474838	0,923742	0,852	0,564	0,834
Bus 54	18,474262	0,923713	0,019	0,012	0,844
Bus 55	18,457232	0,922862	0,833	0,552	0,834
Bus 56	18,456176	0,922809	0,032	0,021	0,84
Bus 57	18,444536	0,922227	0,800	0,530	0,833
Bus 58	18,42361	0,921181	0,461	0,306	0,833
Bus 59	17,991062	0,899553	0,211	0,140	0,833
Bus 60	17,984568	0,899228	0,168	0,112	0,832
Bus 61	18,78184	0,939092	0,069	0,045	0,836
Bus 62	17,878114	0,893906	0,100	0,067	0,829
Bus 63	17,916134	0,895807	0,211	0,140	0,833
Bus 64	17,912472	0,895624	0,084	0,057	0,829
Bus 65	17,9122	0,89561	0,011	0,007	0,837
Bus 66	17,908964	0,895448	0,126	0,083	0,836



Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)	Daya Nyata (MW)	Daya Reaktif (Mvar)	PF
Bus 67	17,903324	0,895166	0,093	0,061	0,834
Bus 68	17,901548	0,895077	0,048	0,032	0,835
Bus 69	17,901282	0,895064	0,045	0,030	0,834
Bus 70	17,899978	0,894999	0,012	0,008	0,843
Bus 71	18,43501	0,921751	0,338	0,224	0,834
Bus 72	18,422782	0,921139	0,317	0,210	0,834
Bus 73	18,407116	0,920356	0,280	0,185	0,835
Bus 74	18,403034	0,920152	0,216	0,142	0,836
Bus 75	18,402226	0,920111	0,027	0,018	0,833
Bus 76	18,402076	0,920104	0,010	0,006	0,838
Bus 77	18,401806	0,92009	0,017	0,011	0,829
Bus 78	17,897312	0,894866	0,189	0,124	0,836
Bus 79	17,894036	0,894702	0,159	0,104	0,837
Bus 80	17,893084	0,894654	0,029	0,019	0,841
Bus 81	17,889202	0,89446	0,130	0,086	0,836
Bus 82	17,887638	0,894382	0,028	0,018	0,842
Bus 83	17,886642	0,894332	0,102	0,067	0,835
Bus 84	17,886152	0,894308	0,019	0,013	0,826
Bus 85	17,88523	0,894262	0,083	0,054	0,837
Bus 86	17,884606	0,89423	0,022	0,014	0,837
Bus 87	17,884176	0,894209	0,061	0,040	0,836
Bus 88	17,882426	0,894121	0,032	0,021	0,84
Bus 89	18,913018	0,945651	0,939	0,621	0,834
Bus 90	18,89892	0,944946	0,876	0,579	0,834
Bus 91	18,898384	0,944919	0,036	0,023	0,84
Bus 92	18,88733	0,944367	0,840	0,556	0,834
Bus 93	18,886778	0,944339	0,073	0,048	0,836
Bus 94	18,873208	0,94366	0,767	0,507	0,834
Bus 95	18,834802	0,94174	0,517	0,343	0,834
Bus 96	18,830662	0,941533	0,448	0,297	0,834
Bus 97	18,825492	0,941275	0,134	0,089	0,834
Bus 98	18,82387	0,941194	0,084	0,055	0,834
Bus 99	18,82776	0,941388	0,314	0,208	0,833
Bus100	18,823408	0,94117	0,203	0,134	0,834
Bus101	18,820446	0,941022	0,137	0,091	0,832
Bus102	18,87035	0,943518	0,249	0,164	0,836
Bus103	18,870146	0,943507	0,013	0,009	0,834
Bus104	18,866292	0,943315	0,236	0,155	0,836
Bus105	18,864654	0,943233	0,119	0,077	0,84
Bus106	18,86264	0,943132	0,078	0,050	0,841
Bus107	18,86121	0,943061	0,053	0,034	0,84
Bus108	17,92172	0,896086	0,250	0,165	0,834

Pada Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa terdapat 23 bus atau 21,29% bus yang memiliki level tegangan di bawah standart yang ditetapkan oleh permen ESDM No. 3 Tahun 2007, yaitu toleransi tegangan -10% atau 18 kV (0,9 pu). Level tegangan terendah penyulang Rejoyoso ada pada bus 62 yang memiliki tegangan 17,878 (0,893 pu).

Tabel 4.7 Total Pembangkit dan rugi-rugi sistem pada skenario 1

Study ID	Skenario 1	
	MW	Mvar
Gardu Induk	4,402	3,114
Beban	3,447	2,116
Susut	0,452	0,427

Susut total penyulang Rejoyoso dapat dilihat pada Tabel 4.7 yaitu sebesar 452 kW dan 427 kVAR. Penempatan kapasitor yang tepat diperlukan untuk memperbaiki jatuh tegangan dan susut daya pada penyulang Rejoyoso.

#### 4.5 Faktor Sensitivitas Rugi-rugi Jaringan

Untuk mencari faktor sensitivitas rugi-rugi, menggunakan data hasil aliran daya pada tiap bus yang akan digunakan untuk menentukan lokasi penempatan kapasitor. Persamaan 2-30 dapat digunakan untuk mendapatkan nilai faktor sensitivitas rugi-rugi:

Data yang diperlukan untuk mencari faktor sensitivitas rugi-rugi antara lain:

1. Daya reaktif (Q)
2. Resistansi saluran (R)
3. Tegangan pada bus (V)

Data –data tersebut didapatkan dari hasil aliran beban yang terdapat pada Tabel 4.2 dan 4.6. Dibawah ini adalah beberapa contoh perhitungan pada bus 2 dan bus 10.

Bus 2

$$\begin{aligned} \text{FSR} &= \frac{(2 \times 3032) \times 0,2162 \times 10^{-3}}{(19,6767)^2} \\ &= 0,003386171 \end{aligned}$$

Bus 10

$$\begin{aligned} \text{FSR} &= \frac{(2 \times 2495) \times 0,2162 \times 10^{-3}}{(19,07528)^2} \\ &= 0,00296493 \end{aligned}$$

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, level tegangan pada setiap bus sudah diatur dalam permen ESDM no. 3 Tahun 2007 bahwa tegangan minimal

setiap bus pada jaringan 20 kV adalah 18kV atau 0,9 pu. Namun seiring berjalannya waktu jumlah beban akan terus bertambah, oleh karena itu untuk mengantisipasi jatuh tegangan akibat pertumbaha beban maka pada penelitian ini batas minimum tegangan yang dijadikan parameter adalah kondisi normal yaitu 20 kV atau 1 pu dengan syarat tidak ada tegangan yang melebihi tegangan 21 kV.

**Tabel 4.8 Faktor sensitivitas rugi-rugi bus**

No.	Bus	Tegangan (pu)	FSR
1.	Bus 21	0,9445947	0,003790683
2.	Bus 2	0,9838367	0,003386171
3.	Bus 3	0,9756433	0,003337668
4.	Bus 4	0,9719317	0,003198424
5.	Bus 7	0,9625047	0,003155198
6.	Bus 9	0,9567321	0,003067022
7.	Bus 10	0,953764	0,00296493
8.	Bus 17	0,9510159	0,002751411
9.	Bus 19	0,9499512	0,00264977
10.	Bus 20	0,9463325	0,002537295

Tabel 4.8 menunjukkan 10 bus dengan nilai faktor sensitivitas rugi-rugi terbesar, sedangkan untuk nilai FSR bus yang lainnya dapat dilihat pada lampiran 3. Dapat diketahui bahwa urutan penempatan kapasitor berdasarkan pehitungan faktor sensitivitas rugi-rugi adalah pada bus 21,2, 3, 4, 7, 9, dst. Penambahan kapasitor pada penyulang ini akan berhenti ketika tegangan pada seluruh bus sudah berada pada kondisi normal 20 kV.

#### 4.6 Simulasi Skenario 2

Pada skenario 2 ini dilakukan penempatan kapasitor pada bus 21. Sebelum kapasitor ditempat terlebih dahulu akan dicari berapa kapasitas kapasitor yang akan ditempatkan pada bus 21.

Dalam perhitungan kapasitas kapasitor dibutuhkan beberapa data antara lain daya nyata (P) bus,  $\cos \mu_{\text{awal}}$ , dan  $\cos \mu_{\text{akhir}}$ . Data daya nyata (P) dan  $\cos \mu_{\text{awal}}$  dapat diketahui dari tabel 4.6, sedangkan  $\cos \mu_{\text{akhir}}$  adalah  $\cos \mu$  yang diinginkan yaitu 0,95.

Bus 21

$$\text{Daya nyata (P)} = 2,182 \text{ MW} = 2182 \text{ kW}$$

$$\text{Cos } \phi_{\text{awal}} = 0,83$$



$$\cos \phi_{\text{akhir}} = 0,95$$

Maka,

$$\begin{aligned} Q_1 &= 2182 \tan ( \text{arc cos } 0.83 ) \\ &= 2182 \tan ( 33,901 ) \\ &= 2182 \times 0,6719 \\ &= 1446,085 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_2 &= 2182 \tan ( \text{arc cos } 0.95 ) \\ &= 2182 \tan ( 18,194 ) \\ &= 2182 \times 0,3286 \\ &= 717,005 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Sehingga kapasitor yang perlu dipasang pada bus 21 adalah sebesar :

$$\begin{aligned} Q_c &= Q_1 - Q_2 \\ &= 1446,085 \text{ kVAR} - 717,005 \text{ kVAR} \\ &= 729,08 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Jadi kapasitor yang akan ditempatkan pada bus 21 memiliki kapasitas 729,08 kVAR sesuai dengan perhitungan sebelumnya.

Hasil simulasi pada skenario 2 meliputi data pembangkitan pada sistem, nilai tegangan tiap bus, dan besar susut daya pada penyulang yang akan ditunjukkan pada tabel 4.9, 4.10, dan 4.11.

**Tabel 4.9 Data Pembangkit Sistem Pada Skenario 2**

Rating (MVA)	Rated kV	Daya Nyata (MW)	Daya Reaktif (Mvar)
100	20	4,393	2,416

Dalam simulasi terdapat sebuah power grid (*source*) yang diasumsikan sebagai Gardu induk. Pada Tabel 4.9 merupakan data pembangkitan pada Gardu induk Senggruh yang diasumsikan sebagai pembangkit dengan daya dasar 100 MVA, tegangan 20 kV, dan daya pembangkitan sebesar 4,393 MW dan 2,416 Mvar.

Tabel 4.10 Tegangan tiap bus pada skenario 2

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus 1	19,854312	0,9927156	Bus 42	18,807276	0,9403638
Bus 2	19,732894	0,9866447	Bus 43	18,789222	0,9394611
Bus 3	19,589126	0,9794563	Bus 44	18,788766	0,9394383
Bus 4	19,524378	0,9762189	Bus 45	18,772618	0,9386309
Bus 5	19,51977	0,9759885	Bus 46	18,72285	0,9361425
Bus 6	19,514498	0,9757249	Bus 47	18,691706	0,9345853
Bus 7	19,360808	0,9680404	Bus 48	18,681286	0,9340643
Bus 8	19,358618	0,9679309	Bus 49	18,673792	0,9336896
Bus 9	19,261108	0,9630554	Bus 50	18,672812	0,9336406
Bus 10	19,210112	0,9605056	Bus 51	18,669072	0,9334536
Bus 11	19,203838	0,9601919	Bus 52	18,650622	0,9325311
Bus 12	19,200528	0,9600264	Bus 53	18,636246	0,9318123
Bus 13	19,198612	0,9599306	Bus 54	18,635674	0,9317837
Bus 14	19,196908	0,9598454	Bus 55	18,618752	0,9309376
Bus 15	19,195798	0,9597899	Bus 56	18,617702	0,9308851
Bus 16	19,196424	0,9598212	Bus 57	18,606136	0,9303068
Bus 17	19,163508	0,9581754	Bus 58	18,58534	0,929267
Bus 18	19,161946	0,9580973	Bus 59	18,252998	0,9126499
Bus 19	19,145568	0,9572784	Bus 60	18,246548	0,9123274
Bus 20	19,085164	0,9542582	Bus 61	18,543836	0,9271918
Bus 21	19,050622	0,9525311	Bus 62	18,140136	0,9070068
Bus 22	19,049406	0,9524703	Bus 63	18,577912	0,9288956
Bus 23	19,038998	0,9519499	Bus 64	18,574276	0,9287138
Bus 24	18,964946	0,9482473	Bus 65	18,574006	0,9287003
Bus 25	18,87163	0,9435815	Bus 66	18,570788	0,9285394
Bus 26	18,853614	0,9426807	Bus 67	18,565186	0,9282593
Bus 27	18,852814	0,9426407	Bus 68	18,563418	0,9281709
Bus 28	18,83568	0,941784	Bus 69	18,563156	0,9281578
Bus 29	18,824596	0,9412298	Bus 70	18,16186	0,908093
Bus 30	18,81773	0,9408865	Bus 71	18,596672	0,9298336
Bus 31	18,815726	0,9407863	Bus 72	18,584524	0,9292262
Bus 32	18,814692	0,9407346	Bus 73	18,568956	0,9284478
Bus 33	18,814084	0,9407042	Bus 74	18,5649	0,928245
Bus 34	18,813132	0,9406566	Bus 75	18,564098	0,9282049
Bus 35	18,812608	0,9406304	Bus 76	18,563948	0,9281974
Bus 36	18,820698	0,9410349	Bus 77	18,56368	0,928184
Bus 37	18,820698	0,9410349	Bus 78	18,159214	0,9079607
Bus 38	18,820038	0,9410019	Bus 79	18,155958	0,9077979
Bus 39	18,820882	0,9410441	Bus 80	18,15501	0,9077505
Bus 40	18,816766	0,9408383	Bus 81	18,151154	0,9075577
Bus 41	18,815418	0,9407709	Bus 82	18,149598	0,9074799

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus 83	18,148612	0,9074306
Bus 84	18,148124	0,9074062
Bus 85	18,147206	0,9073603
Bus 86	18,146586	0,9073293
Bus 87	18,14616	0,907308
Bus 88	18,14442	0,907221
Bus 89	19,071612	0,9535806
Bus 90	19,0576	0,95288
Bus 91	19,057068	0,9528534
Bus 92	19,04608	0,952304
Bus 93	19,045532	0,9522766
Bus 94	19,032044	0,9516022
Bus 95	18,993872	0,9496936
Bus 96	18,989756	0,9494878

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus 97	18,984618	0,9492309
Bus 98	18,983004	0,9491502
Bus 99	18,986872	0,9493436
Bus 100	18,982546	0,9491273
Bus 101	18,9796	0,94898
Bus 102	19,029202	0,9514601
Bus 103	19,029	0,95145
Bus 104	19,025168	0,9512584
Bus 105	19,023542	0,9511771
Bus 106	19,021538	0,9510769
Bus 107	19,020116	0,9510058
Bus 108	18,283464	0,9141732

Pada Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa penyulang Rejoyoso seluruh bus sudah memiliki level tegangan berada diatas standar yang ditetapkan oleh permen ESDM No. 3 Tahun 2007, yaitu toleransi tegangan -10% atau 18 kV (0,9 pu). Namun sebagian besar bus masih memiliki level tegangan dibawah kondisi normal yang ditetapkan, yaitu 20 kV. Level tegangan terendah penyulang Rejoyoso ada pada bus 62 yang memiliki tegangan 18,14 kV (0,907 pu).

**Tabel 4.11 Total pembangkit dan rugi-rugi sistem pada skenario 2**

Study ID	Skenario 2	
	MW	Mvar
Gardu Induk	4,393	2,416
Beban	3,447	2,116
Losses	0,361	0,322

Susut total penyulang Rejoyoso pada skenario 2 dapat dilihat pada Tabel 4.11 yaitu sebesar 361 kW dan 322 kVAR. Untuk memperbaiki level tegangan dan susut daya akan dilakukan penempatan bus kandidat selanjutnya yaitu pada bus 2.

#### 4.7 Simulasi Skenario 3

Pada skenario 3 ini dilakukan penempatan kapasitor pada bus 2. Sebelum kapasitor ditempat, terlebih dahulu akan dicari berapa kapasitas kapasitor yang akan ditempatkan pada bus 2.

Dalam perhitungan kapasitas kapasitor dibutuhkan beberapa data antara lain daya nyata (P),  $\cos \mu$  awal, dan  $\cos \mu$  akhir. Data daya nyata (P) dan  $\cos \mu$  awal dapat



diketahui dari tabel 4.6, sedangkan  $\cos \mu_{\text{akhir}}$  adalah  $\cos \mu$  yang diinginkan yaitu 0,95.

Bus 2

$$\text{Daya nyata (P)} = 4,399 \text{ MW} = 4399 \text{ kW}$$

$$\text{Cos } \phi_{\text{awal}} = 0,825$$

$$\text{Cos } \phi_{\text{akhir}} = 0,95$$

Maka,

$$Q1 = 4399 \tan ( \text{arc cos } 0.825 )$$

$$= 4399 \tan ( 34,441 )$$

$$= 4399 \times 0,685$$

$$= 3013,315 \text{ kVAR}$$

$$Q2 = 4399 \tan ( \text{arc cos } 0.95 )$$

$$= 4399 \tan ( 18,194 )$$

$$= 4399 \times 0,3286$$

$$= 1445,511 \text{ kVAR}$$

Sehingga kapasitor yang perlu dipasang pada bus 2 adalah sebesar :

$$Qc = Q1 - Q2$$

$$= 3013,315 \text{ kVAR} - 1445,511 \text{ kVAR}$$

$$= 1567,804 \text{ kVAR}$$

Jadi kapasitor yang akan ditempatkan pada bus 2 memiliki kapasitas 1567,804 kVAR.

Hasil simulasi pada skenario 3 meliputi data pembangkitan pada sistem, nilai tegangan tiap bus, dan besar susut daya pada penyulang yang akan ditunjukkan pada tabel 4.12, 4.13, dan 4.14.

**Tabel 4.12 Data Pembangkit Sistem pada skenario 3**

Rating (MVA)	Rated kV	Daya Nyata (MW)	Daya Reaktif (Mvar)
100	20	4,396	0,843

Dalam simulasi terdapat sebuah power grid (source) yang diasumsikan sebagai Gardu induk. Pada Tabel 4.12 merupakan data pembangkitan pada Gardu induk Sengguruh yang diasumsikan sebagai pembangkit dengan daya dasar 100 MVA, tegangan 20 kV, dan daya pembangkitan sebesar 4,396 MW dan 0,843 Mvar.

**Tabel 4.13 Tegangan tiap bus pada skenario 3**

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus 1	19,939864	0,9969932	Bus 32	18,941114	0,9470557
Bus 2	19,853712	0,9926856	Bus 33	18,94051	0,9470255
Bus 3	19,710864	0,9855432	Bus 34	18,939562	0,9469781
Bus 4	19,646536	0,9823268	Bus 35	18,93904	0,946952
Bus 5	19,641948	0,9820974	Bus 36	18,947094	0,9473547
Bus 6	19,636698	0,9818349	Bus 37	18,947094	0,9473547
Bus 7	19,484034	0,9742017	Bus 38	18,946436	0,9473218
Bus 8	19,481854	0,9740927	Bus 39	18,94728	0,947364
Bus 9	19,384992	0,9692496	Bus 40	18,943184	0,9471592
Bus 10	19,334334	0,9667167	Bus 41	18,941842	0,9470921
Bus 11	19,328086	0,9664043	Bus 42	18,933744	0,9466872
Bus 12	19,324794	0,9662397	Bus 43	18,91578	0,945789
Bus 13	19,322886	0,9661443	Bus 44	18,915328	0,9457664
Bus 14	19,32119	0,9660595	Bus 45	18,899258	0,9449629
Bus 15	19,320084	0,9660042	Bus 46	18,849742	0,9424871
Bus 16	19,320706	0,9660353	Bus 47	18,818754	0,9409377
Bus 17	19,28805	0,9644025	Bus 48	18,808386	0,9404193
Bus 18	19,286494	0,9643247	Bus 49	18,80093	0,9400465
Bus 19	19,270234	0,9635117	Bus 50	18,799954	0,9399977
Bus 20	19,210256	0,9605128	Bus 51	18,796232	0,9398116
Bus 21	19,175878	0,9587939	Bus 52	18,777874	0,9388937
Bus 22	19,174668	0,9587334	Bus 53	18,76357	0,9381785
Bus 23	19,164312	0,9582156	Bus 54	18,762998	0,9381499
Bus 24	19,090628	0,9545314	Bus 55	18,74616	0,937308
Bus 25	18,997776	0,9498888	Bus 56	18,745116	0,9372558
Bus 26	18,97985	0,9489925	Bus 57	18,73361	0,9366805
Bus 27	18,979052	0,9489526	Bus 58	18,712916	0,9356458
Bus 28	18,962004	0,9481002	Bus 59	18,580732	0,9290366
Bus 29	18,950972	0,9475486	Bus 60	18,574312	0,9287156
Bus 30	18,944138	0,9472069	Bus 61	18,671614	0,9335807
Bus 31	18,942144	0,9471072	Bus 62	18,467932	0,9233966

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus 63	18,705524	0,9352762	Bus 86	18,474354	0,9237177
Bus 64	18,701904	0,9350952	Bus 87	18,473928	0,9236964
Bus 65	18,701636	0,9350818	Bus 88	18,472196	0,9236098
Bus 66	18,698432	0,9349216	Bus 89	19,196766	0,9598383
Bus 67	18,692858	0,9346429	Bus 90	19,18282	0,959141
Bus 68	18,6911	0,934555	Bus 91	19,18229	0,9591145
Bus 69	18,690838	0,9345419	Bus 92	19,171354	0,9585677
Bus 70	18,489548	0,9244774	Bus 93	19,170806	0,9585403
Bus 71	18,724192	0,9362096	Bus 94	19,157384	0,9578692
Bus 72	18,712104	0,9356052	Bus 95	19,11939	0,9559695
Bus 73	18,696614	0,9348307	Bus 96	19,115296	0,9557648
Bus 74	18,692578	0,9346289	Bus 97	19,11018	0,955509
Bus 75	18,691778	0,9345889	Bus 98	19,108576	0,9554288
Bus 76	18,69163	0,9345815	Bus 99	19,112422	0,9556211
Bus 77	18,691364	0,9345682	Bus100	19,108118	0,9554059
Bus 78	18,486918	0,9243459	Bus101	19,105186	0,9552593
Bus 79	18,483678	0,9241839	Bus102	19,154554	0,9577277
Bus 80	18,482736	0,9241368	Bus103	19,154352	0,9577176
Bus 81	18,478898	0,9239449	Bus104	19,150538	0,9575269
Bus 82	18,47735	0,9238675	Bus105	19,148918	0,9574459
Bus 83	18,476368	0,9238184	Bus106	19,146926	0,9573463
Bus 84	18,475884	0,9237942	Bus107	19,14551	0,9572755
Bus 85	18,47497	0,9237485	Bus108	18,511048	0,9255524

Pada tabel 4.13 dapat dilihat bahwa penyulang Rejoyoso memiliki level tegangan pada seluruh bus sudah berada diatas standar yang ditetapkan oleh permen ESDM No. 3 Tahun 2007, yaitu toleransi tegangan -10% atau 18 kV (0,9 pu). Namun sebagian besar bus masih memiliki level tegangan dibawah kondisi normal yang ditetapkan ,yaitu 20 kV. Level tegangan terendah penyulang Rejoyoso ada pada bus 62 yang memiliki tegangan 18,467 (0,923 pu).

**Tabel 4.14 Total pembangkit dan rugi-rugi sistem pada skenario 3**

Study ID	Skenario 3	
	MW	Mvar
Gardu Induk	4,396	0,843
Beban	3,447	2,116
Losses	0,284	0,268



Susut total penyulang Rejoyoso pada skenario 3 dapat dilihat pada tabel 4.14 yaitu sebesar 284 kW dan 268 kVAR. Untuk memperbaiki level tegangan dan susut daya akan dilakukan penempatan bus kandidat selanjutnya pada bus 3.

#### 4.8 Simulasi Skenario 4

Pada skenario 4 ini dilakukan penempatan kapasitor pada bus 3. Sebelum kapasitor ditempat, terlebih dahulu akan dicari berapa kapasitas kapasitor yang akan ditempatkan pada bus 3.

Dalam perhitungan kapasitas kapasitor dibutuhkan beberapa data antara lain daya nyata (P),  $\cos \mu_{\text{awal}}$ , dan  $\cos \mu_{\text{akhir}}$ . Data daya nyata (P) dan  $\cos \mu_{\text{awal}}$  dapat diketahui dari tabel 4.6, sedangkan  $\cos \mu_{\text{akhir}}$  adalah  $\cos \mu$  yang diinginkan yaitu 0,95.

Bus 3

$$\text{Daya nyata (P)} = 4,287 \text{ MW} = 4287 \text{ kW}$$

$$\text{Cos } \phi_{\text{awal}} = 0,827$$

$$\text{Cos } \phi_{\text{akhir}} = 0,95$$

Maka,

$$Q1 = 4287 \tan (\text{arc cos } 0.827)$$

$$= 4287 \tan (34,208)$$

$$= 4287 \times 0,6798$$

$$= 2914,302 \text{ kVAR}$$

$$Q2 = 4287 \tan (\text{arc cos } 0.95)$$

$$= 4287 \tan (18,194)$$

$$= 4287 \times 0,3286$$

$$= 1408,708 \text{ kVAR}$$

Sehingga kapasitor yang perlu dipasang pada bus 3 adalah sebesar :

$$Qc = Q1 - Q2$$

$$= 2914,302 \text{ kVAR} - 1408,708 \text{ kVAR}$$

$$= 1505,594 \text{ kVAR}$$

Jadi kapasitor yang akan ditempatkan pada bus 3 memiliki kapasitas 1505,594 kVAR.

Hasil simulasi pada skenario 4 meliputi data pembangkitan pada sistem, nilai tegangan tiap bus, dan besar susut daya pada penyulang yang akan ditunjukkan pada tabel 4.15, 4.16, dan 4.17.

**Tabel 4.15 Data pembangkitan sistem pada skenario 4**

Rating (MVA)	Rated kV	Daya Nyata (MW)	Daya Reaktif (Mvar)
100	20	4,403	-0,68

Dalam simulasi terdapat sebuah power grid (source) yang diasumsikan sebagai Gardu induk. Pada Tabel 4.15 merupakan data pembangkitan pada Gardu induk Sengguruh yang diasumsikan sebagai pembangkit dengan daya dasar 100 MVA, tegangan 20 kV, dan daya pembangkitan sebesar 4,403 MW dan -0,68 Mvar.

**Tabel 4.16 Tegangan tiap bus pada skenario 4**

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus 1	20,02958	1,001479	Bus 23	19,344342	0,967217
Bus 2	19,9804	0,99902	Bus 24	19,271174	0,963559
Bus 3	19,880704	0,994035	Bus 25	19,178972	0,958949
Bus 4	19,816934	0,990847	Bus 26	19,16117	0,958059
Bus 5	19,812374	0,990619	Bus 27	19,16038	0,958019
Bus 6	19,807154	0,990358	Bus 28	19,14345	0,957173
Bus 7	19,655856	0,982793	Bus 29	19,13249	0,956625
Bus 8	19,557688	0,977884	Bus 30	19,125702	0,956285
Bus 9	19,65369	0,982685	Bus 31	19,12372	0,956186
Bus 10	19,507482	0,975374	Bus 32	19,122698	0,956135
Bus 11	19,501274	0,975064	Bus 33	19,122098	0,956105
Bus 12	19,498	0,9749	Bus 34	19,121154	0,956058
Bus 13	19,496104	0,974805	Bus 35	19,120636	0,956032
Bus 14	19,494418	0,974721	Bus 36	19,12864	0,956432
Bus 15	19,493318	0,974666	Bus 37	19,12864	0,956432
Bus 16	19,493938	0,974697	Bus 38	19,127986	0,956399
Bus 17	19,46162	0,973081	Bus 39	19,128832	0,956442
Bus 18	19,460076	0,973004	Bus 40	19,124762	0,956238
Bus 19	19,443968	0,972198	Bus 41	19,12343	0,956172
Bus 20	19,384554	0,969228	Bus 42	19,115392	0,95577
Bus 21	19,355828	0,967791	Bus 43	19,097552	0,954878
Bus 22	19,354624	0,967731	Bus 44	19,097104	0,954855

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus 45	19,08115	0,954058	Bus 77	18,874716	0,943736
Bus 46	19,031984	0,951599	Bus 78	18,870304	0,943515
Bus 47	19,001214	0,950061	Bus 79	18,867084	0,943354
Bus 48	18,990922	0,949546	Bus 80	18,866148	0,943307
Bus 49	18,983516	0,949176	Bus 81	18,862336	0,943117
Bus 50	18,982546	0,949127	Bus 82	18,860798	0,94304
Bus 51	18,978852	0,948943	Bus 83	18,859824	0,942991
Bus 52	18,960624	0,948031	Bus 84	18,859342	0,942967
Bus 53	18,946418	0,947321	Bus 85	18,858436	0,942922
Bus 54	18,945852	0,947293	Bus 86	18,857824	0,942891
Bus 55	18,92913	0,946457	Bus 87	18,8574	0,94287
Bus 56	18,928092	0,946405	Bus 88	18,85568	0,942784
Bus 57	18,916664	0,945833	Bus 89	19,371152	0,968558
Bus 58	18,896116	0,944806	Bus 90	19,357294	0,967865
Bus 59	18,864154	0,943208	Bus 91	19,356768	0,967838
Bus 60	18,857778	0,942889	Bus 92	19,3459	0,967295
Bus 61	18,8551	0,942755	Bus 93	19,345358	0,967268
Bus 62	18,851446	0,942572	Bus 94	19,33202	0,966601
Bus 63	18,888776	0,944439	Bus 95	19,294274	0,964714
Bus 64	18,885182	0,944259	Bus 96	19,290204	0,96451
Bus 65	18,884916	0,944246	Bus 97	19,285122	0,964256
Bus 66	18,881732	0,944087	Bus 98	19,283528	0,964176
Bus 67	18,876196	0,94381	Bus 99	19,28735	0,964368
Bus 68	18,87445	0,943723	Bus 100	19,283074	0,964154
Bus 69	18,874192	0,94371	Bus 101	19,28016	0,964008
Bus 70	18,87291	0,943646	Bus 102	19,32921	0,966461
Bus 71	18,907316	0,945366	Bus 103	19,329008	0,96645
Bus 72	18,895316	0,944766	Bus 104	19,32522	0,966261
Bus 73	18,879932	0,943997	Bus 105	19,32361	0,966181
Bus 74	18,875924	0,943796	Bus 106	19,321628	0,966081
Bus 75	18,87513	0,943757	Bus 107	19,32022	0,966011
Bus 76	18,874982	0,943749	Bus 108	18,794262	0,939713

Pada Tabel 4.16 dapat dilihat bahwa seluruh bus penyulang Rejoyoso memiliki level tegangan pada sudah berada diatas standar yang ditetapkan oleh permen ESDM No. 3 Tahun 2007, yaitu toleransi tegangan -10% atau 18 kV (0,9 pu). Namun sebagian bus masih memiliki level tegangan di bawah batas kondisi normal yang ditetapkan dalam penelitian ini, yaitu 20 kV. Level tegangan terendah penyulang Rejoyoso ada pada bus 62 yang memiliki tegangan 18,851 (0,942 pu).



Tabel 4.17 Total Pembangkit dan rugi-rugi sistem pada skenario 4

Study ID	Skenario 4	
	MW	Mvar
Gardu Induk	4,403	-0,68
Beban	3,447	2,116
Losses	0,247	0,225

Susut total penyulang Rejoyoso dapat dilihat pada Tabel 4.17 yaitu sebesar 247 kW dan 225 kVAR. Untuk mengatasi jatuh tegangan dan susut daya akan dilakukan penempatan bus kandidat selanjutnya pada bus 4.

#### 4.9 Simulasi Skenario 5

Pada skenario 5 ini dilakukan penempatan kapasitor pada bus 4. Sebelum kapasitor ditempat, terlebih dahulu akan dicari berapa kapasitas kapasitor yang akan ditempatkan pada bus 4.

Dalam perhitungan kapasitas kapasitor dibutuhkan beberapa data antara lain daya nyata (P),  $\cos \mu_{awal}$ , dan  $\cos \mu_{akhir}$ . Data daya nyata (P) dan  $\cos \mu_{awal}$  dapat diketahui dari Tabel 4.6, sedangkan  $\cos \mu_{akhir}$  adalah  $\cos \mu$  yang diinginkan yaitu 0,95.

Bus 4

$$\text{Daya nyata (P)} = 4,105 \text{ MW} = 4105 \text{ kW}$$

$$\text{Cos } \phi_{awal} = 0,827$$

$$\text{Cos } \phi_{akhir} = 0,95$$

Maka,

$$Q1 = 4105 \tan ( \text{arc cos } 0.827 )$$

$$= 4105 \tan ( 34,208 )$$

$$= 4105 \times 0,6798$$

$$= 2790,579 \text{ kVAR}$$

$$Q2 = 4105 \tan ( \text{arc cos } 0.95 )$$

$$= 4105 \tan ( 18,194 )$$

$$= 4105 \times 0,3286$$

$$= 1348,903 \text{ kVAR}$$

Sehingga kapasitor yang perlu dipasang pada bus 4 adalah sebesar :

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$= 2790,579 \text{ kVAR} - 1348,903 \text{ kVAR}$$

$$= 1441,676 \text{ kVAR}$$

Jadi kapasitor yang akan ditempatkan pada bus 4 memiliki kapasitas 1441,676 kVAR.

Hasil simulasi pada skenario 5 meliputi data pembangkitan pada sistem, nilai tegangan tiap bus, dan besar susut daya pada penyulang yang akan ditunjukkan pada tabel 4.18, 4.19, dan 4.20.

**Tabel 4.18 Data Pembangkitan Sistem Pada Skenario 5**

Rating (MVA)	Rated kV	Daya Nyata (MW)	Daya Reaktif (Mvar)
100	20	4,418	-2,159

Dalam simulasi terdapat sebuah power grid (source) yang diasumsikan sebagai Gardu induk. Pada Tabel 4.18 merupakan data pembangkitan pada Gardu induk Sengguruh yang diasumsikan sebagai pembangkit dengan daya dasar 100 MVA, tegangan 20 kV, dan daya pembangkitan sebesar 4,418 MW dan -2,159 Mvar.

**Tabel 4. 19 Tegangan tiap bus pada skenario 5**

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus 1	20,1133	1,005665	Bus 20	19,568328	0,9784164
Bus 2	20,09856	1,004928	Bus 21	19,539884	0,9769942
Bus 3	20,04072	1,002036	Bus 22	19,53869	0,9769345
Bus 4	19,996576	0,9998288	Bus 23	19,52848	0,976424
Bus 5	19,992044	0,9996022	Bus 24	19,455826	0,9727913
Bus 6	19,986858	0,9993429	Bus 25	19,364272	0,9682136
Bus 7	19,837006	0,9918503	Bus 26	19,346596	0,9673298
Bus 8	19,834852	0,9917426	Bus 27	19,345808	0,9672904
Bus 9	19,739762	0,9869881	Bus 28	19,329	0,96645
Bus 10	19,690032	0,9845016	Bus 29	19,318114	0,9659057
Bus 11	19,683864	0,9841932	Bus 30	19,311368	0,9655684
Bus 12	19,680612	0,9840306	Bus 31	19,3094	0,96547
Bus 13	19,67873	0,9839365	Bus 32	19,308384	0,9654192
Bus 14	19,677054	0,9838527	Bus 33	19,307788	0,9653894
Bus 15	19,67596	0,983798	Bus 34	19,306852	0,9653426
Bus 16	19,676574	0,9838287	Bus 35	19,306336	0,9653168
Bus 17	19,64462	0,982231	Bus 36	19,314288	0,9657144
Bus 18	19,643086	0,9821543	Bus 37	19,314288	0,9657144
Bus 19	19,627144	0,9813572	Bus 38	19,31364	0,965682



Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus 39	19,314486	0,9657243
Bus 40	19,310442	0,9655221
Bus 41	19,309118	0,9654559
Bus 42	19,30114	0,965057
Bus 43	19,283428	0,9641714
Bus 44	19,282982	0,9641491
Bus 45	19,267142	0,9633571
Bus 46	19,218324	0,9609162
Bus 47	19,187774	0,9593887
Bus 48	19,177552	0,9588776
Bus 49	19,1702	0,95851
Bus 50	19,169236	0,9584618
Bus 51	19,16557	0,9582785
Bus 52	19,14747	0,9573735
Bus 53	19,133364	0,9566682
Bus 54	19,1328	0,95664
Bus 55	19,116194	0,9558097
Bus 56	19,115164	0,9557582
Bus 57	19,103814	0,9551907
Bus 58	19,08341	0,9541705
Bus 59	19,05167	0,9525835
Bus 60	19,045338	0,9522669
Bus 61	19,042678	0,9521339
Bus 62	19,039048	0,9519524
Bus 63	19,07612	0,953806
Bus 64	19,072552	0,9536276
Bus 65	19,072286	0,9536143
Bus 66	19,069126	0,9534563
Bus 67	19,063628	0,9531814
Bus 68	19,061894	0,9530947
Bus 69	19,061636	0,9530818
Bus 70	19,060362	0,9530181
Bus 71	19,094532	0,9547266
Bus 72	19,082618	0,9541309
Bus 73	19,06734	0,953367
Bus 74	19,06336	0,953168
Bus 75	19,062572	0,9531286
Bus 76	19,062426	0,9531213
Bus 77	19,062162	0,9531081
Bus 78	19,057778	0,9528889
Bus 79	19,05458	0,952729
Bus 80	19,053652	0,9526826
Bus 81	19,049868	0,9524934

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus 82	19,04834	0,952417
Bus 83	19,047372	0,9523686
Bus 84	19,046894	0,9523447
Bus 85	19,045994	0,9522997
Bus 86	19,045384	0,9522692
Bus 87	19,54125	0,9770625
Bus 88	19,540726	0,9770363
Bus 89	19,529932	0,9764966
Bus 90	19,529394	0,9764697
Bus 91	19,516144	0,9758072
Bus 92	19,478646	0,9739323
Bus 93	19,474604	0,9737302
Bus 94	19,469558	0,9734779
Bus 95	19,467974	0,9733987
Bus 96	19,471772	0,9735886
Bus 97	19,044964	0,9522482
Bus 98	19,043258	0,9521629
Bus 99	19,555016	0,9777508
Bus100	19,467522	0,9733761
Bus101	19,46463	0,9732315
Bus102	19,513352	0,9756676
Bus103	19,513152	0,9756576
Bus104	19,509388	0,9754694
Bus105	19,507786	0,9753893
Bus106	19,505818	0,9752909
Bus107	19,50442	0,975221
Bus108	19,081566	0,9540783



Pada Tabel 4.19 dapat dilihat bahwa seluruh bus penyulang Rejoyoso telah memiliki level tegangan yang sudah berada diatas standar yang ditetapkan oleh permen ESDM No. 3 Tahun 2007. Namun sebagian bus masih memiliki level tegangan dibawah kondisi normal yang ditetapkan, yaitu 20 kV. Level tegangan terendah penyulang Rejoyoso ada pada bus 62 yang memiliki tegangan 19,039 (0,951 pu). Susut total penyulang Rejoyoso dapat dilihat pada Tabel 4.20 yaitu sebesar 216 kW dan 205 kVAR.

**Tabel 4. 20 Total pembangkit dan rugi-rugi sistem pada skenario 5**

Study ID	Skenario 5	
	MW	Mvar
Gardu Induk	4,418	-2,159
Beban	3,447	2,116
Losses	0,216	0,205

#### 4.10 Simulasi Skenario 6

Pada skenario 6 ini dilakukan penempatan kapasitor pada bus 7. Sebelum kapasitor ditempat, terlebih dahulu akan dicari berapa kapasitas kapasitor yang akan ditempatkan pada bus 7.

Dalam perhitungan kapasitas kapasitor dibutuhkan beberapa data antara lain daya nyata (P),  $\cos \mu_{awal}$ , dan  $\cos \mu_{akhir}$ . Data daya nyata (P) dan  $\cos \mu_{awal}$  dapat diketahui dari Tabel 4.6, sedangkan  $\cos \mu_{akhir}$  adalah  $\cos \mu$  yang diinginkan yaitu 0,95.

Bus 7

$$\text{Daya nyata (P)} = 3,946 \text{ MW} = 3946 \text{ kW}$$

$$\text{COS } \phi_{awal} = 0,82$$

$$\text{COS } \phi_{akhir} = 0,95$$

Maka,

$$Q1 = 3946 \tan ( \text{arc cos } 0.827 )$$

$$= 3946 \tan ( 34,915 )$$

$$= 3946 \times 0,697$$

$$= 3946 \text{ kVAR}$$

$$Q2 = 3946 \tan ( \text{arc cos } 0.95 )$$

$$= 3946 \tan ( 18.194)$$

$$= 3946 \times 0.3286$$

$$= 1296 \text{ kVAR}$$

Sehingga kapasitor yang perlu dipasang pada bus 7 adalah sebesar :

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$= 2750 \text{ kVAR} - 1296 \text{ kVAR}$$

$$= 1454 \text{ kVAR}$$

Jadi kapasitor yang akan ditempatkan pada bus 7 memiliki kapasitas 1454 kVAR.

Hasil simulasi pada skenario 5 meliputi data pembangkitan pada sistem, nilai tegangan tiap bus, dan besar susut daya pada penyulang yang akan ditunjukkan pada tabel 4.21, 4.22, dan 4.23.

**Tabel 4.21 Data Pembangkitan Sistem Pada Skenario 6**

Rating (MVA)	Rated kV	MW	Mvar
100	20	4,442	-3,669

Dalam simulasi terdapat sebuah power grid (source) yang diasumsikan sebagai Gardu induk. Pada Tabel 4.21 merupakan data pembangkitan pada Gardu induk Sengguruh yang diasumsikan sebagai pembangkit dengan daya dasar 100 MVA, tegangan 20 kV, dan daya pembangkitan sebesar 4,442 MW dan -3,669 Mvar.

**Tabel 4. 22 Tegangan tiap bus pada skenario 6**

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus1	20,1988	1,00994	Bus18	19,88111	0,994055
Bus2	20,21912	1,010956	Bus19	19,86537	0,993269
Bus3	20,20398	1,010199	Bus20	19,80732	0,990366
Bus4	20,17986	1,008993	Bus21	19,77923	0,988962
Bus5	20,17536	1,008768	Bus22	19,77805	0,988902
Bus6	20,17022	1,008511	Bus23	19,76793	0,988397
Bus7	20,07266	1,003633	Bus24	19,69592	0,984796
Bus 8	20,07052	1,003526	Bus25	19,60518	0,980259
Bus9	19,97659	0,99883	Bus26	19,58766	0,979383
Bus10	19,92747	0,996373	Bus27	19,58688	0,979344
Bus11	19,92135	0,996068	Bus28	19,57022	0,978511
Bus12	19,91813	0,995906	Bus29	19,55943	0,977971
Bus13	19,91626	0,995813	Bus30	19,55274	0,977637
Bus14	19,9146	0,99573	Bus31	19,55079	0,977539
Bus15	19,91351	0,995676	Bus32	19,54978	0,977489
Bus16	19,91412	0,995706	Bus33	19,54919	0,97746
Bus17	19,88263	0,994131	Bus34	19,54826	0,977413



Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus35	19,54775	0,977387
Bus36	19,55564	0,977782
Bus37	19,55564	0,977782
Bus38	19,55499	0,97775
Bus39	19,55584	0,977792
Bus40	19,55183	0,977592
Bus41	19,55052	0,977526
Bus42	19,54261	0,977131
Bus43	19,52506	0,976253
Bus44	19,52462	0,976231
Bus45	19,50892	0,975446
Bus46	19,46055	0,973027
Bus47	19,43027	0,971513
Bus48	19,42014	0,971007
Bus49	19,41285	0,970643
Bus50	19,4119	0,970595
Bus51	19,40826	0,970413
Bus52	19,39033	0,969516
Bus53	19,37634	0,968817
Bus54	19,37578	0,968789
Bus55	19,35933	0,967966
Bus56	19,3583	0,967915
Bus57	19,34706	0,967353
Bus58	19,32683	0,966341
Bus59	19,29537	0,964768
Bus60	19,28909	0,964455
Bus61	19,28646	0,964323
Bus62	19,28286	0,964143
Bus63	19,3196	0,96598
Bus64	19,31607	0,965804
Bus65	19,31581	0,96579
Bus66	19,31267	0,965634
Bus67	19,30722	0,965361
Bus68	19,3055	0,965275
Bus69	19,30525	0,965262
Bus70	19,30398	0,965199
Bus71	19,33786	0,966893

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus72	19,32605	0,966303
Bus73	19,31091	0,965545
Bus74	19,30696	0,965348
Bus75	19,30618	0,965309
Bus76	19,30603	0,965302
Bus77	19,30577	0,965289
Bus78	19,30143	0,965071
Bus79	19,29826	0,964913
Bus80	19,29734	0,964867
Bus81	19,29359	0,964679
Bus82	19,29207	0,964604
Bus83	19,29111	0,964556
Bus84	19,29064	0,964532
Bus85	19,28974	0,964487
Bus86	19,28914	0,964457
Bus 87	19,28873	0,964436
Bus 88	19,28703	0,964352
Bus 89	19,79412	0,989706
Bus90	19,78047	0,989023
Bus91	19,77995	0,988997
Bus92	19,76924	0,988462
Bus93	19,76871	0,988435
Bus94	19,75557	0,987779
Bus95	19,71839	0,98592
Bus96	19,71438	0,985719
Bus97	19,70938	0,985469
Bus98	19,70781	0,985391
Bus99	19,71157	0,985579
Bus100	19,70736	0,985368
Bus101	19,70449	0,985225
Bus102	19,7528	0,98764
Bus103	19,7526	0,98763
Bus104	19,74887	0,987444
Bus105	19,74728	0,987364
Bus106	19,74533	0,987267
Bus107	19,74394	0,987197
Bus108	19,325	0,96625

Pada Tabel 4.22 dapat dilihat bahwa seluruh bus penyulang Rejoyoso telah memiliki level tegangan yang sudah berada diatas standar yang ditetapkan oleh permen ESDM No. 3 Tahun 2007. Namun sebagian bus masih memiliki level tegangan dibawah kondisi normal yang ditetapkan, yaitu 20 kV. Level tegangan terendah penyulang Rejoyoso ada pada bus 62 yang memiliki tegangan 19,282 (0,964 pu). Susut total penyulang Rejoyoso dapat dilihat pada Tabel 4.23 yaitu sebesar 201 kW dan 195 kVAR.



Tabel 4. 23 Total pembangkit dan rugi-rugi sistem pada skenario 6

Study ID	Skenario 5	
	MW	Mvar
Gardu Induk	4,442	-3,669
Beban	3,447	2,116
Losses	0,201	0,195

#### 4.11 Simulasi Skenario 7

Pada skenario 7 ini dilakukan penempatan kapasitor pada bus 9. Sebelum kapasitor ditempat, terlebih dahulu akan dicari berapa kapasitas kapasitor yang akan ditempatkan pada bus 9.

Dalam perhitungan kapasitas kapasitor dibutuhkan beberapa data antara lain daya nyata (P),  $\cos \mu_{awal}$ , dan  $\cos \mu_{akhir}$ . Data daya nyata (P) dan  $\cos \mu_{awal}$  dapat diketahui dari tabel 4.6, sedangkan  $\cos \mu_{akhir}$  adalah  $\cos \mu$  yang diinginkan yaitu 0,95.

Bus 9

$$\text{Daya nyata (P)} = 3,822 \text{ MW} = 3822 \text{ kW}$$

$$\text{Cos } \phi_{awal} = 0,82$$

$$\text{Cos } \phi_{akhir} = 0,95$$

Maka,

$$Q1 = 3822 \tan ( \text{arc cos } 0.82 )$$

$$= 3822 \tan ( 34,915 )$$

$$= 3822 \times 0,69$$

$$= 2637 \text{ kVAR}$$

$$Q2 = 3822 \tan ( \text{arc cos } 0.95 )$$

$$= 3822 \tan ( 18,194 )$$

$$= 3822 \times 0,3286$$

$$= 1382 \text{ kVAR}$$

Sehingga kapasitor yang perlu dipasang pada bus 9 adalah sebesar :

$$Qc = Q1 - Q2$$

$$= 2637 \text{ kVAR} - 1255 \text{ kVAR}$$

$$= 1382 \text{ kVAR}$$

Jadi kapasitor yang akan ditempatkan pada bus 9 memiliki kapasitas 1382 kVAR.

Hasil simulasi pada skenario 5 meliputi data pembangkitan pada sistem, nilai tegangan tiap bus, dan besar susut daya pada penyulang yang akan ditunjukkan pada tabel 4.24, 4.25, dan 4.26.

**Tabel 4.24 Data Pembangkitan Sistem Pada Skenario 7**

Rating (MVA)	Rated kV	Daya Nyata (MW)	Daya Reaktif (Mvar)
100	20	4,480	-5,133

Dalam simulasi terdapat sebuah power grid (source) yang diasumsikan sebagai Gardu induk. Pada Tabel 4.24 merupakan data pembangkitan pada Gardu induk Sengguruh yang diasumsikan sebagai pembangkit dengan daya dasar 100 MVA, tegangan 20 kV, dan daya pembangkitan sebesar 4,480 MW dan -5,133 Mvar.

**Tabel 4.25 Tegangan tiap bus pada skenario 7**

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus1	20,28164	1,014082	Bus30	19,81711	0,990856
Bus2	20,33574	1,016787	Bus31	19,81518	0,990759
Bus3	20,3618	1,01809	Bus32	19,81418	0,990709
Bus4	20,35706	1,017853	Bus33	19,81359	0,99068
Bus5	20,35258	1,017629	Bus34	19,81267	0,990634
Bus6	20,34746	1,017373	Bus35	19,81216	0,990608
Bus7	20,30054	1,015027	Bus36	19,81999	0,990999
Bus 8	20,29842	1,014921	Bus37	19,81999	0,990999
Bus9	20,23616	1,011808	Bus38	19,81935	0,990967
Bus10	20,18768	1,009384	Bus39	19,82019	0,99101
Bus11	20,1816	1,00908	Bus40	19,81622	0,990811
Bus12	20,17842	1,008921	Bus41	19,81492	0,990746
Bus13	20,17656	1,008828	Bus42	19,8071	0,990355
Bus14	20,17492	1,008746	Bus43	19,78971	0,989486
Bus15	20,17384	1,008692	Bus44	19,78927	0,989464
Bus16	20,17444	1,008722	Bus45	19,77373	0,988686
Bus17	20,14344	1,007172	Bus46	19,72581	0,986291
Bus18	20,14192	1,007096	Bus47	19,69582	0,984791
Bus19	20,12642	1,006321	Bus48	19,68579	0,98429
Bus20	20,06918	1,003459	Bus49	19,67857	0,983929
Bus21	20,04146	1,002073	Bus50	19,67763	0,983881
Bus22	20,0403	1,002015	Bus51	19,67403	0,983701
Bus23	20,03028	1,001514	Bus52	19,65626	0,982813
Bus24	19,95895	0,997947	Bus53	19,64241	0,982121
Bus25	19,86907	0,993453	Bus54	19,64186	0,982093
Bus26	19,85172	0,992586	Bus55	19,62555	0,981278
Bus27	19,85094	0,992547	Bus56	19,62454	0,981227
Bus28	19,83444	0,991722	Bus57	19,6134	0,98067
Bus29	19,82374	0,991187	Bus58	19,59336	0,979668



Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus59	19,56219	0,97811
Bus60	19,55598	0,977799
Bus61	19,55337	0,977668
Bus62	19,5498	0,97749
Bus63	19,5862	0,97931
Bus64	19,5827	0,979135
Bus65	19,58244	0,979122
Bus66	19,57934	0,978967
Bus67	19,57394	0,978697
Bus68	19,57223	0,978612
Bus69	19,57198	0,978599
Bus70	19,57073	0,978537
Bus71	19,60429	0,980214
Bus72	19,59259	0,97963
Bus73	19,57759	0,97888
Bus74	19,57368	0,978684
Bus75	19,57291	0,978646
Bus76	19,57277	0,978638
Bus77	19,57251	0,978625
Bus78	19,5682	0,97841
Bus79	19,56506	0,978253
Bus80	19,56415	0,978208
Bus81	19,56043	0,978022
Bus82	19,55893	0,977947
Bus83	19,55798	0,977899

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus84	19,55751	0,977876
Bus85	19,55663	0,977831
Bus86	19,55603	0,977802
Bus 87	19,55562	0,977781
Bus 88	19,55394	0,977697
Bus 89	20,05608	1,002804
Bus90	20,04256	1,002128
Bus91	20,04204	1,002102
Bus92	20,03144	1,001572
Bus93	20,0309	1,001545
Bus94	20,01788	1,000894
Bus95	19,98104	0,999052
Bus96	19,97707	0,998854
Bus97	19,97211	0,998606
Bus98	19,97056	0,998528
Bus99	19,97429	0,998714
Bus100	19,97011	0,998506
Bus101	19,96727	0,998364
Bus102	20,01514	1,000757
Bus103	20,01494	1,000747
Bus104	20,01124	1,000562
Bus105	20,00968	1,000484
Bus106	20,00774	1,000387
Bus107	20,00636	1,000318
Bus108	19,59155	0,979578

Pada Tabel 4.25 dapat dilihat bahwa seluruh bus penyulang Rejoyoso telah memiliki level tegangan yang sudah berada diatas standar yang ditetapkan oleh permen ESDM No. 3 Tahun 2007. Namun sebagian bus masih memiliki level tegangan dibawah kondisi normal yang ditetapkan, yaitu 20 kV. Level tegangan terendah penyulang Rejoyoso ada pada bus 62 yang memiliki tegangan 19,549 (0,977 pu). Susut total penyulang Rejoyoso dapat dilihat pada Tabel 4.26 yaitu sebesar 194 kW dan 188 kVAR.

**Tabel 4. 26 Total pembangkit dan rugi-rugi sistem pada skenario 7**

Study ID	Skenario 5	
	MW	Mvar
Gardu Induk	4,480	-5,133
Beban	3,447	2,116
Losses	0,194	0,188

#### 4.12 Simulasi Skenario 8

Pada skenario 8 ini dilakukan penempatan kapasitor pada bus 10. Sebelum kapasitor ditempat, terlebih dahulu akan dicari berapa kapasitas kapasitor yang akan ditempatkan pada bus 10.



Dalam perhitungan kapasitas kapasitor dibutuhkan beberapa data antara lain daya nyata (P),  $\cos \mu_{\text{awal}}$ , dan  $\cos \mu_{\text{akhir}}$ . Data daya nyata (P) dan  $\cos \mu_{\text{awal}}$  dapat diketahui dari tabel 4.6, sedangkan  $\cos \mu_{\text{akhir}}$  adalah  $\cos \mu$  yang diinginkan yaitu 0,95.

Bus 10

$$\text{Daya nyata (P)} = 3,693 \text{ MW} = 3693 \text{ kW}$$

$$\cos \phi_{\text{awal}} = 0,83$$

$$\cos \phi_{\text{akhir}} = 0,95$$

Maka,

$$Q_1 = 3693 \tan (\text{arc cos } 0.83 )$$

$$= 3693 \tan ( 33,901)$$

$$= 3693 \times 0,6719$$

$$= 2481 \text{ kVAR}$$

$$Q_2 = 3693 \tan (\text{arc cos } 0.95 )$$

$$= 3693 \tan ( 18.194)$$

$$= 3693 \times 0.3286$$

$$= 1213 \text{ kVAR}$$

Sehingga kapasitor yang perlu dipasang pada bus 10 adalah sebesar :

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$= 2481 \text{ kVAR} - 1213 \text{ kVAR}$$

$$= 1268 \text{ kVAR}$$

Jadi kapasitor yang akan ditempatkan pada bus 10 memiliki kapasitas 1268 kVAR.

Hasil simulasi pada skenario 8 meliputi data pembangkitan pada sistem, nilai tegangan tiap bus, dan besar susut daya pada penyulang yang akan ditunjukkan pada tabel 4.27, 4.28, dan 4.29.

**Tabel 4.27 Data Pembangkitan Sistem Pada Skenario 8**

Rating (MVA)	Rated kV	Daya Nyata (MW)	Daya Reaktif (Mvar)
100	20	4,533	-6,505

Dalam simulasi terdapat sebuah power grid (source) yang diasumsikan sebagai Gardu induk. Pada Tabel 4.27 merupakan data pembangkitan pada Gardu induk Sengguruh yang diasumsikan sebagai pembangkit dengan daya dasar 100 MVA, tegangan 20 kV, dan daya pembangkitan sebesar 4,533 MW dan -6,505 Mvar.

**Tabel 4. 28 Tegangan tiap bus pada skenario 8**

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus1	20,35928	1,017964	Bus44	20,052	1,0026
Bus2	20,4449	1,022245	Bus45	20,0366	1,00183
Bus3	20,50944	1,025472	Bus46	19,98913	0,999457
Bus4	20,5228	1,02614	Bus47	19,95942	0,997971
Bus5	20,51834	1,025917	Bus48	19,94948	0,997474
Bus6	20,51324	1,025662	Bus49	19,94233	0,997117
Bus7	20,51372	1,025686	Bus50	19,94139	0,99707
Bus 8	20,51162	1,025581	Bus51	19,93783	0,996891
Bus9	20,47904	1,023952	Bus52	19,92023	0,996011
Bus10	20,44614	1,022307	Bus53	19,9065	0,995325
Bus11	20,44014	1,022007	Bus54	19,90595	0,995298
Bus12	20,43696	1,021848	Bus55	19,88979	0,99449
Bus13	20,43512	1,021756	Bus56	19,88879	0,994439
Bus14	20,43348	1,021674	Bus57	19,87775	0,993887
Bus15	20,43242	1,021621	Bus58	19,85789	0,992895
Bus16	20,43302	1,021651	Bus59	19,82701	0,99135
Bus17	20,4025	1,020125	Bus60	19,82085	0,991042
Bus18	20,401	1,02005	Bus61	19,81826	0,990913
Bus19	20,3857	1,019285	Bus62	19,81473	0,990737
Bus20	20,32924	1,016462	Bus63	19,8508	0,99254
Bus21	20,3019	1,015095	Bus64	19,84733	0,992367
Bus22	20,30074	1,015037	Bus65	19,84707	0,992354
Bus23	20,2908	1,01454	Bus66	19,84399	0,9922
Bus24	20,22012	1,011006	Bus67	19,83864	0,991932
Bus25	20,13106	1,006553	Bus68	19,83695	0,991848
Bus26	20,11388	1,005694	Bus69	19,8367	0,991835
Bus27	20,1131	1,005655	Bus70	19,83546	0,991773
Bus28	20,09676	1,004838	Bus71	19,86872	0,993436
Bus29	20,08616	1,004308	Bus72	19,85714	0,992857
Bus30	20,07958	1,003979	Bus73	19,84227	0,992114
Bus31	20,07766	1,003883	Bus74	19,8384	0,99192
Bus32	20,07668	1,003834	Bus75	19,83763	0,991882
Bus33	20,0761	1,003805	Bus76	19,83749	0,991874
Bus34	20,07518	1,003759	Bus77	19,83723	0,991862
Bus35	20,07468	1,003734	Bus78	19,83296	0,991648
Bus36	20,08244	1,004122	Bus79	19,82985	0,991493
Bus37	20,08244	1,004122	Bus80	19,82895	0,991447
Bus38	20,0818	1,00409	Bus81	19,82526	0,991263
Bus39	20,08264	1,004132	Bus82	19,82377	0,991189
Bus40	20,0787	1,003935	Bus83	19,82283	0,991142
Bus41	20,07742	1,003871	Bus84	19,82237	0,991119
Bus42	20,06966	1,003483	Bus85	19,82149	0,991075
Bus43	20,05244	1,002622	Bus86	19,8209	0,991045



Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus 87	19,82049	0,991025
Bus 88	19,81883	0,990942
Bus 89	20,31626	1,015813
Bus 90	20,30284	1,015142
Bus91	20,30234	1,015117
Bus92	20,29182	1,014591
Bus93	20,2913	1,014565
Bus94	20,2784	1,01392
Bus95	20,24186	1,012093
Bus96	20,23794	1,011897
Bus97	20,23302	1,011651

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus98	20,23148	1,011574
Bus99	20,23516	1,011758
Bus100	20,23104	1,011552
Bus101	20,22822	1,011411
Bus102	20,27566	1,013783
Bus103	20,27548	1,013774
Bus104	20,2718	1,01359
Bus105	20,27024	1,013512
Bus106	20,26832	1,013416
Bus107	20,26696	1,013348
Bus108	19,8561	0,992805

Pada Tabel 4.28 dapat dilihat bahwa seluruh bus penyulang Rejoyoso telah memiliki level tegangan yang sudah berada diatas standar yang ditetapkan oleh permen ESDM No. 3 Tahun 2007. Namun sebagian bus masih memiliki level tegangan dibawah kondisi normal yang ditetapkan, yaitu 20 kV. Level tegangan terendah penyulang Rejoyoso ada pada bus 62 yang memiliki tegangan 19,549 (0,977 pu). Susut total penyulang Rejoyoso dapat dilihat pada Tabel 4.29 yaitu sebesar 188 kW dan 180 kVAR..

**Tabel 4. 29 Total pembangkit dan rugi-rugi sistem pada skenario 8**

Study ID	Skenario 5	
	MW	Mvar
Gardu Induk	4,533	-6,505
Beban	3,447	2,116
Losses	0,188	0,180

#### 4.13 Simulasi Skenario 9

Pada skenario 9 ini dilakukan penempatan kapasitor pada bus 17. Sebelum kapasitor ditempatkan, terlebih dahulu akan dicari berapa kapasitas kapasitor yang akan ditempatkan pada bus 17.

Dalam perhitungan kapasitas kapasitor dibutuhkan beberapa data antara lain daya nyata (P),  $\cos \mu_{awal}$ , dan  $\cos \mu_{akhir}$ . Data daya nyata (P) dan  $\cos \mu_{awal}$  dapat diketahui dari tabel 4.6, sedangkan  $\cos \mu_{akhir}$  adalah  $\cos \mu$  yang diinginkan yaitu 0,95.

Bus 17

$$\text{Daya nyata (P)} = 3,41 \text{ MW} = 3410 \text{ kW}$$

$$\text{COS } \phi_{awal} = 0,83$$

$$\text{COS } \phi_{akhir} = 0,95$$



Maka,

$$\begin{aligned} Q1 &= 3410 \tan ( \text{arc cos } 0.83 ) \\ &= 3410 \tan ( 33,901) \\ &= 3410 \times 0,672 \\ &= 2291 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q2 &= 3410 \tan ( \text{arc cos } 0.95 ) \\ &= 3410 \tan ( 18.194) \\ &= 3410 \times 0.3286 \\ &= 1296 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Sehingga kapasitor yang perlu dipasang pada bus 17 adalah sebesar :

$$\begin{aligned} Qc &= Q1 - Q2 \\ &= 2291 \text{ kVAR} - 1296 \text{ kVAR} \\ &= 995 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Jadi kapasitor yang akan ditempatkan pada bus 17 memiliki kapasitas 995 kVAR.

Hasil simulasi pada skenario 9 meliputi data pembangkitan pada sistem, nilai tegangan tiap bus, dan besar susut daya pada penyulang yang akan ditunjukkan pada Tabel 4.30, 4.31, dan 4.32.

**Tabel 4.30 Data Pembangkitan Sistem Pada Skenario 9**

Rating (MVA)	Rated kV	Daya Nyata (MW)	Daya Reaktif (Mvar)
100	20	4,587	-6,959

Dalam simulasi terdapat sebuah power grid (source) yang diasumsikan sebagai Gardu induk. Pada Tabel 4.30 merupakan data pembangkitan pada Gardu induk Sengguruh yang diasumsikan sebagai pembangkit dengan daya dasar 100 MVA, tegangan 20 kV, dan daya pembangkitan sebesar 4,587 MW dan -6,959 Mvar.

Tabel 4.31 Tegangan tiap bus pada skenario 9

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus1	20,68394	1,034197	Bus51	20,1605	1,008025
Bus2	20,53212	1,026606	Bus52	20,14302	1,007151
Bus3	20,62732	1,031366	Bus53	20,1294	1,00647
Bus4	20,65512	1,032756	Bus54	20,12886	1,006443
Bus5	20,65068	1,032534	Bus55	20,11282	1,005641
Bus6	20,64562	1,032281	Bus56	20,11182	1,005591
Bus7	20,67394	1,033197	Bus57	20,10086	1,005043
Bus 8	20,68186	1,034093	Bus58	20,08116	1,004058
Bus9	20,673	1,03365	Bus59	20,0505	1,002525
Bus10	20,6526	1,03263	Bus60	20,04438	1,002219
Bus11	20,64662	1,032331	Bus61	20,04182	1,002091
Bus12	20,64348	1,032174	Bus62	20,03832	1,001916
Bus13	20,64166	1,032083	Bus63	20,07412	1,003706
Bus14	20,64002	1,032001	Bus64	20,07068	1,003534
Bus15	20,63896	1,031948	Bus65	20,07042	1,003521
Bus16	20,63956	1,031978	Bus66	20,06736	1,003368
Bus17	20,62128	1,031064	Bus67	20,06204	1,003102
Bus18	20,6198	1,03099	Bus68	20,06036	1,003018
Bus19	20,60468	1,030234	Bus69	20,06012	1,003006
Bus20	20,54884	1,027442	Bus70	20,05888	1,002944
Bus21	20,52182	1,026091	Bus71	20,0919	1,004595
Bus22	20,52066	1,026033	Bus72	20,0804	1,00402
Bus23	20,5108	1,02554	Bus73	20,06566	1,003283
Bus24	20,44066	1,022033	Bus74	20,0618	1,00309
Bus25	20,35228	1,017614	Bus75	20,06104	1,003052
Bus26	20,3352	1,01676	Bus76	20,0609	1,003045
Bus27	20,33444	1,016722	Bus77	20,06066	1,003033
Bus28	20,31822	1,015911	Bus78	20,05642	1,002821
Bus29	20,30768	1,015384	Bus79	20,05332	1,002666
Bus30	20,30116	1,015058	Bus80	20,05242	1,002621
Bus31	20,29926	1,014963	Bus81	20,04876	1,002438
Bus32	20,29828	1,014914	Bus82	20,0473	1,002365
Bus33	20,2977	1,014885	Bus83	20,04636	1,002318
Bus34	20,29678	1,014839	Bus84	20,0459	1,002295
Bus35	20,29628	1,014814	Bus85	20,04502	1,002251
Bus36	20,304	1,0152	Bus86	20,04444	1,002222
Bus37	20,304	1,0152	Bus 87	20,04404	1,002202
Bus38	20,30336	1,015168	Bus 88	20,04238	1,002119
Bus39	20,3042	1,01521	Bus 89	20,53596	1,026798
Bus40	20,3003	1,015015	Bus90	20,52266	1,026133
Bus41	20,29902	1,014951	Bus91	20,52214	1,026107
Bus42	20,29132	1,014566	Bus92	20,51117	1,025585
Bus43	20,27424	1,013712	Bus93	20,51118	1,025559
Bus44	20,2738	1,01369	Bus94	20,49836	1,024918
Bus45	20,25852	1,012926	Bus95	20,4621	1,023105
Bus46	20,21142	1,010571	Bus96	20,4582	1,02291
Bus47	20,18192	1,009096	Bus97	20,45332	1,022666
Bus48	20,17206	1,008603	Bus98	20,45178	1,022589
Bus49	20,16496	1,008248	Bus99	20,45546	1,022773
Bus50	20,16402	1,008201	Bus100	20,45134	1,022567



Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus101	20,44856	1,022428
Bus102	20,49566	1,024783
Bus103	20,49548	1,024774
Bus104	20,49184	1,024592

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (pu)
Bus105	20,49028	1,024514
Bus106	20,48838	1,024419
Bus107	20,48702	1,024351
Bus108	20,07938	1,003969

Pada Tabel 4.19 dapat dilihat bahwa seluruh bus penyulang Rejoyoso telah memiliki level tegangan yang sudah berada diatas standar yang ditetapkan oleh permen ESDM No. 3 Tahun 2007 dan seluruh bus telah memiliki level tegangan minimum sesuai dengan standar kondisi normal yaitu 20 kV. Level tegangan terendah penyulang Rejoyoso ada pada bus 62 yang memiliki tegangan 20,038 (1,001 pu). Susut total penyulang Rejoyoso dapat dilihat pada Tabel 4.20 yaitu sebesar 183 kW dan 177 kVAR.

**Tabel 4.32 Total pembangkit dan rugi-rugi sistem pada skenario 9**

Study ID	Skenario 5	
	MW	Mvar
Gardu Induk	4,587	-6,959
Beban	3,447	2,116
Losses	0,183	-0,177

#### 4.14 Nilai Tegangan bus

Dari kondisi awal jaringan, yaitu skenario 1 sampai dengan skenario 9, bus 62 merupakan bus yang memiliki nilai tegangan terendah. Oleh karena itu sebagai pembanding kenaikan tegangan pada masing-masing skenario, akan diwakilkan oleh bus 62.

Pada Tabel 4.33 ditunjukkan nilai tegangan terendah pada penyulang Rejoyoso dari skenario 1 sampai dengan skenario 9.

**Tabel 4.33 Nilai tegangan bus terendah pada penyulang Rejoyoso**

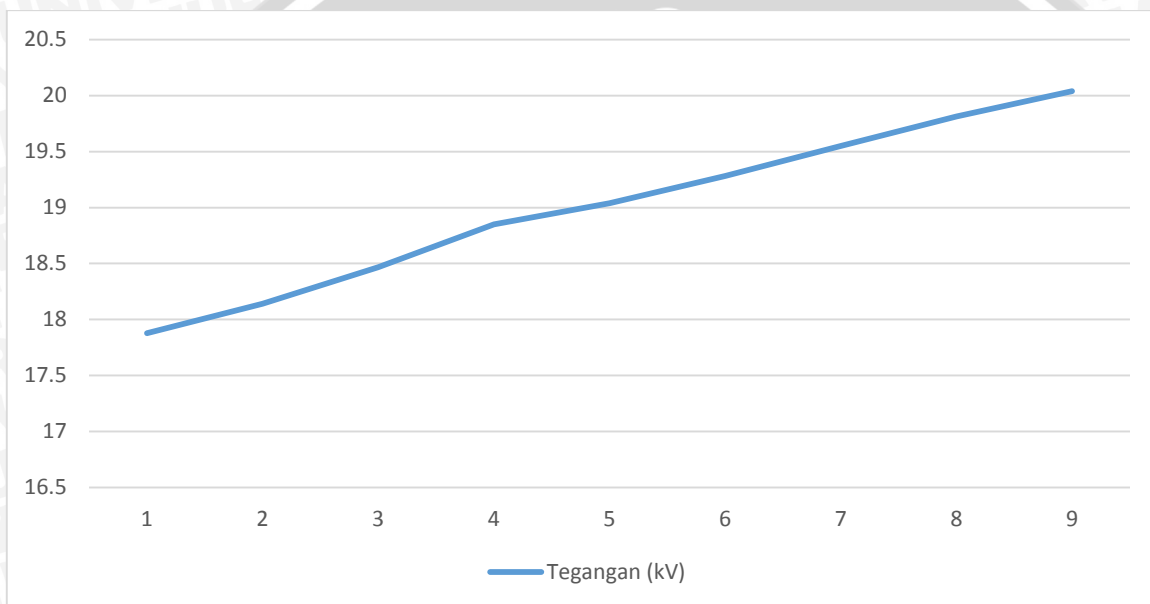
Skenario	Tegangan Bus Terendah (kV)	pu
1	17,878114	0,8939057
2	18,140136	0,9070068
3	18,467932	0,9233966
4	18,851446	0,9425723
5	19,039048	0,9519524
6	19,28286	0,964143
7	19,5498	0,97749
8	19,81473	0,990737
9	20,03832	1,001916

Tegangan bus terendah pada penyulang Rejoyoso tepatnya bus 62 dari skenario 1 sampai skenario 9 terus mengalami kenaikan seiring dengan ditambahkan pemasangan kapasitor. Pada kondisi awal atau pada skenario 1 memiliki tegangan 17,87 kV dimana besar tegangan ini masih dibawah sandart minimal permen ESDM no.3 Tahun 2007. Seiring



dilakukannya penambahan kapasitor, nilai tegangan bus 62 terus mengalami peningkatan, begitu pula pada bus lainnya. Sampai pada skenario 9, dimana pada Skenario 9 ini semua bus pada penyulang Rejoyoso telah memiliki nilai tegangan yang sesuai dengan tegangan normal yaitu 20 kV. Nilai tegangan bus terendah adalah 20,038 kV atau 1,001 pu dan tegangan bus tertinggi pada skenario 9 adalah pada bus 1 yaitu 20,683 kV atau 1,034 dimana nilai tegangan ini tidak melebihi standar maksimal permen ESDM No.3 Tahun 2007 yaitu batas maksimal tegangan 21 kV atau +5%. Untuk lebih jelasnya kenaikan nilai tegangan bus terendah (bus 62) dapat dilihat pada Gambar 4.4.

**Gambar 4.3 Grafik Kenaikan Tegangan Bus Terendah**



#### 4.15 Susut Daya Penyulang Rejoyoso

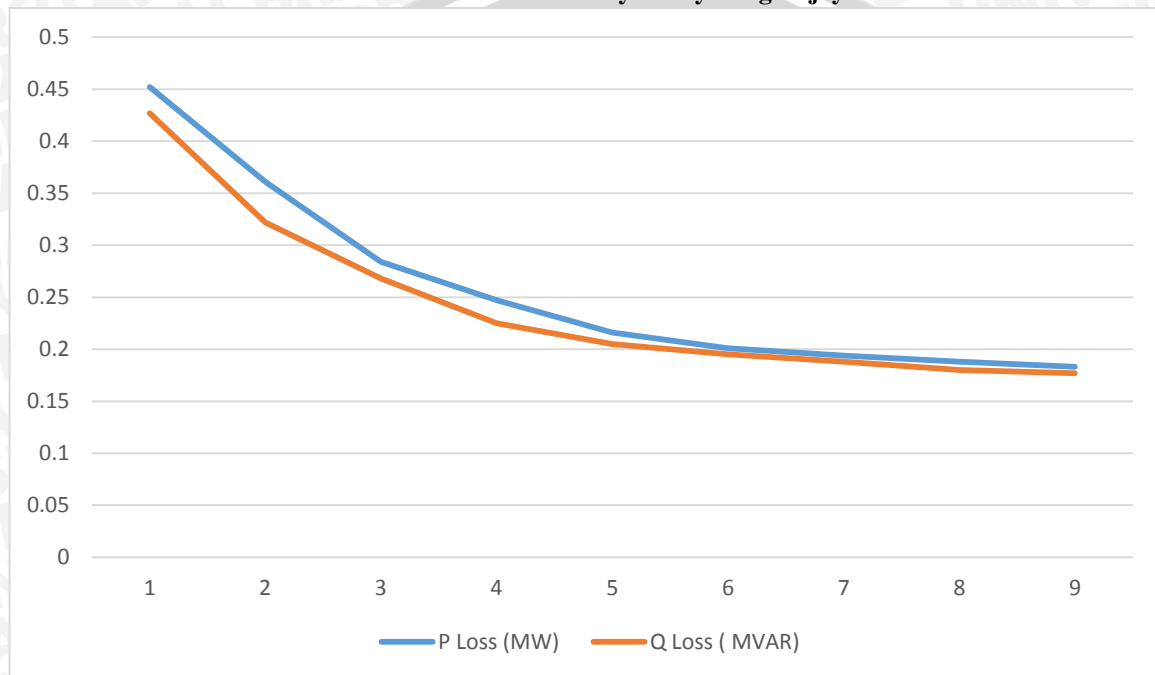
Dari Hasil simulasi dari skenario 1 sampai dengan skenario 9 dapat dilihat bahwa pemasangan kapasitor juga berpengaruh terhadap susut daya penyulang.

**Tabel 4. 34 Susut daya Penyulang Rejoyoso**

Skenario	P Loss (MW)	Q Loss (MVAR)	$\Delta P$ Loss (MW)	$\Delta Q$ Loss (MVAR)
1	0,452	0,427	0	0
2	0,361	0,322	0,091	0,105
3	0,284	0,268	0,077	0,054
4	0,247	0,225	0,037	0,043
5	0,216	0,205	0,031	0,02
6	0,201	0,195	0,015	0,01
7	0,194	0,188	0,007	0,007
8	0,188	0,180	0,006	0,008
9	0,183	0,177	0,005	0,003

Pada Tabel 4.34 dapat dilihat penurunan nilai susut daya pada penyulang Rejoyoso. Pada kondisi awal penyulang Rejoyoso memiliki susut daya nyata sebesar 0,452 MW dan susut daya reaktif sebesar 0,427. Besar susut daya ini terus menurun seiring dengan pemasangan kapasitor pada setiap skenario. Skenario 9 merupakan skenario yang memiliki besar susut daya nyata dan daya reaktif paling rendah dari pada skenario yang lainnya yaitu 0,183 MW dan 0,177 MVAR.

**Gambar 4.4 Grafik Susut Daya Penyulang Rejoyoso**



Gambar 4.4 merupakan grafik penurunan susut daya nyata dan daya reaktif skenario 1 sampai dengan skenario 9. Berdasarkan hasil simulasi dari skenario 1 sampai dengan 9, dapat disimpulkan bahwa skenario terbaik untuk penurunan jatuh tegangan dan susut daya adalah pada skenario 9. Dimana pada skenario ini semua bus sudah memiliki tegangan sesuai dengan kondisi normal 20 kV. Selain jatuh tegangan, besar susut daya pada skenario 9 merupakan nilai susut daya terendah dibandingkan dengan skenario yang lainnya.

