

Studi Lokasi Optimal Penempatan Tesc (*Thyristor Controlled Series Capacitor*) Berdasarkan Indeks Sensitivitas

Muh. Nazri Adlani Hasrun^{1*}, Iski Lakoro², Syarifuddin Nojeng³, Sugianto⁴, Muhammad Amin⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

Email: ¹03320210018@umi.ac.id; ²03320210021@umi.ac.id; ³syarifuddin.nojeng@umi.ac.id; ⁴sugianto@umi.ac.id; ⁵muh.amin@umi.ac.id

Received: 27 05 2025 | Revised: 27 05 2025 | Accepted: 01 06 2025 | Published: 30 09 2025

Abstrak

Kinerja saluran transmisi dalam menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban sangat penting untuk sistem tenaga listrik yang andal. Jauhnya jarak antara keduanya menyebabkan masalah dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, seperti rugi-rugi daya yang tinggi, profil tegangan yang lebih rendah, dan penurunan keandalan sistem. Pertumbuhan beban yang sangat pesat yang tidak mampu diimbangi dengan penambahan atau perbaikan sistem transmisi menyebabkan banyaknya masalah yang timbul dalam sistem transmisi seperti menurunnya profil tegangan, besarnya rugi-rugi transmisi dan menurunnya keandalan sistem. Perangkat Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC), yang meningkatkan kapasitas transmisi dan stabilitas sistem tenaga, adalah solusi untuk masalah ini. Metode indeks sensitivitas digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan lokasi TCSC yang paling cocok untuk ditempatkan dalam sistem tenaga listrik. Perangkat lunak MATLAB/PSAT digunakan untuk melakukan analisis pada sistem kelistrikan IEEE 30 Busbar untuk simulasi aliran daya sebelum dan sesudah pemasangan TCSC. Berdasarkan perhitungan indeks sensitivitas didapatkan saluran yang paling sensitif yaitu saluran dari Bus14 ke Bus15. Setelah pemasangan TCSC nilai tegangan paling tinggi dan nilai rugi-rugi daya reaktif yang paling rendah berada pada kompensasi 90%. Setelah pemasangan TCSC pada saluran Bus14 ke Bus15 efisiensi Kinerja sistem meningkat sebesar 1%.

Kata Kunci: tesc, indeks sensitivitas, matlab, psat

1. PENDAHULUAN

Pada zaman sekarang ini permintaan energi listrik bukan hanya datang dari masyarakat yang tinggal di perkotaan tetapi juga dari masyarakat yang tinggal di daerah-daerah terpencil. Kebutuhan energi listrik tiap tahun makin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan gaya hidup manusia. Energi dianggap efisien apabila energi yang dihasilkan terpakai secara maksimal oleh pelanggan atau tidak mengalami kehilangan energi pada saat penyaluran.

Saluran transmisi merupakan salah satu bagian utama dalam sistem tenaga listrik yang mempunyai fungsi yaitu menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit menuju pusat beban. Umumnya pusat pembangkit dan pusat beban terletak saling berjauhan sehingga membutuhkan sistem transmisi yang andal dan mampu bekerja secara optimal.

Dengan berjaruhnya pusat pembangkit dan pusat beban menyebabkan pengoperasian sistem tenaga listrik menjadi rumit. Pertumbuhan beban yang sangat pesat yang tidak mampu diimbangi dengan penambahan atau perbaikan sistem transmisi menyebabkan banyaknya masalah yang timbul dalam sistem transmisi seperti menurunnya profil tegangan, besarnya rugi-rugi transmisi dan menurunnya keandalan sistem. Selain itu dengan adanya penambahan pembangkit baru mengakibatkan kinerja saluran transmisi harus mendapat perhatian untuk menjaga kontinuitas penyediaan energi Listrik.

Solusi efektif untuk meningkatkan profil tegangan dan stabilitas tegangan sistem tenaga adalah dengan menempatkan pengontrol Sistem Transmisi AC Fleksibel (FACTS) yang tepat dalam sistem tenaga. Pengontrol FACTS menggunakan elemen kontrol berbasis thyristor berkecepatan tinggi yang andal dan memiliki kemampuan untuk meningkatkan kapasitas transmisi daya dan profil tegangan, meningkatkan stabilitas sistem tenaga, meminimalkan kerugian transmisi, dll [1].

Perangkat FACTS seperti TCSC (Thyristor Controlled Series Compensator), UPFC (Unified Power Flow Controller), SVC (Static VAR Compensator), STATCOM (Static Synchronous Compensator), dll. digunakan secara luas untuk membatasi aliran arus melalui sistem dengan biaya yang wajar. Untuk menerapkan ini, perangkat perlu ditempatkan pada posisi yang sesuai, yang dikenal sebagai posisi optimal di mana kerugian diminimalkan, efisiensi meningkat dan sistem menjadi cukup stabil [2].

Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) adalah salah satu pengendali FACTS yang paling serbaguna yang dapat secara efisien mengatasi semua masalah yang disebutkan. TCSC dikonfigurasi ketika kapasitor dipasang secara seri dengan saluran transmisi sementara Induktor yang dikendalikan Thyristor dimasukkan paralel dengan kapasitor [3].

Seperti perangkat FACTS lainnya, TCSC juga merupakan perangkat yang mahal dan karenanya penting untuk menempatkannya di lokasi yang optimal dan menemukan ukuran optimalnya, sehingga manfaat maksimal darinya dapat dicapai.

Dikarenakan mempertimbangkan aspek ekonomi dan keefektifan, perangkat TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor) harus di tempatkan di saluran yang paling sensitif maka penulis melakukan penelitian yang nantinya dapat menjadi gambaran tentang bagaimana cara menentukan lokasi optimal penempatan TCSC.

2. Metode

Pada penelitian ini digunakan beberapa metode untuk menentukan lokasi yang optimal penempatan TCSC yaitu metode Newton-Raphson dan Indeks Sensitifitas. Metode Newton-Rhapson adalah Metode yang secara luas digunakan untuk menyelesaikan persamaan aljabar nonlinier serempak. Metode newton ialah prosedur aproksimasi berturut-turut yang berasal dari estimasi awal yang tidak diketahui dan menggunakan deret Taylor. Indeks Sensitivitas adalah suatu teknik analisis yang digunakan untuk memahami bagaimana variasi atau perubahan dalam suatu variabel atau parameter tertentu akan mempengaruhi hasil atau output dari suatu model atau sistem. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh dan menentukan seberapa signifikan perubahan tersebut terhadap hasil akhir.

3. Hasil Dan Pembahasan

Tabel 1. Hasil Simulasi Tegangan, Sudut Tegangan, Daya aktif, Daya Reaktif Pembangkit Dan Beban Sebelum Pemasangan TCSC

Bus	V	phase	P gen	Q gen	P load	Q load
	[p.u.]	[rad]	[p.u.]	[p.u.]	[p.u.]	[p.u.]
Bus1	1.0000	0.0000	-0.8557	0.3293	0.0000	0.0000
Bus10	0.9486	0.0560	0.0000	0.0000	0.0600	0.0200
Bus11	1.0000	0.2957	0.8000	0.2261	0.0000	0.0000
Bus12	0.9731	0.0946	0.0000	0.0000	0.1100	0.0700
Bus13	1.0000	0.2099	0.8000	0.2376	0.0000	0.0000
Bus14	0.9559	0.0663	0.0000	0.0000	0.0600	0.0100
Bus15	0.9447	0.0609	0.0000	0.0000	0.0800	0.0200
Bus16	0.9644	0.0774	0.0000	0.0000	0.0300	0.0200
Bus17	0.9479	0.0582	0.0000	0.0000	0.0900	0.0500

Bus18	0.9249	0.0284	0.0000	0.0000	0.0300	0.0100
Bus19	0.9177	0.0125	0.0000	0.0000	0.0900	0.0300
Bus2	1.0000	0.0441	0.8000	-0.1555	0.2100	0.1200
Bus20	0.9192	0.0103	0.0000	0.0000	0.2200	0.0100
Bus21	0.9337	0.0418	0.0000	0.0000	0.1900	0.1100
Bus22	0.9359	0.0403	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Bus23	0.9291	0.0402	0.0000	0.0000	0.0300	0.0200
Bus24	0.9190	0.0196	0.0000	0.0000	0.1500	0.0600
Bus25	0.9279	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Bus26	0.9115	-0.0069	0.0000	0.0000	0.0300	0.0200
Bus27	0.9419	-0.0054	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Bus28	0.9838	0.0683	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Bus29	0.9179	-0.0082	0.0000	0.0000	0.0400	0.0100
Bus3	0.9919	0.0449	0.0000	0.0000	0.0200	0.0100
Bus30	0.9040	-0.0406	0.0000	0.0000	0.1200	0.0200
Bus4	0.9911	0.0547	0.0000	0.0000	0.0700	0.0100
Bus5	1.0000	0.0295	0.8000	0.5833	0.9400	0.1900
Bus6	0.9901	0.0645	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Bus7	0.9851	0.0418	0.0000	0.0000	0.2200	0.1000
Bus8	1.0000	0.0958	0.8000	0.4145	0.3000	0.3000
Bus9	0.9671	0.1211	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Total	28.7261	1.6166	3.1443	1.6354	3.0900	1.2100

Dari Tabel 1. dapat diketahui bahwa tegangan sistem berkisar antara 0.9092 pu – 1.000 pu padahal tegangan dalam sistem yang diperbolehkan adalah berkisar 0.95 pu – 1.05 pu. Bus yang tidak memenuhi batas tegangan diatas adalah Bus10, Bus15, Bus16, Bus17, Bus18, Bus19, Bus21, Bus22, Bus23, Bus24, Bus27, Bus29, dan Bus30. Untuk memperbaiki tegangan dalam sistem maka perlu ditempatkan TCSC yang dimana metode penempatan TCSC Berdasarkan indeks sensitivitas.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Indeks Sensitivitas rugi-rugi daya nyata, Indeks Sensitivitas rugi-rugi daya reaktif

Line	Tegangan Pengirim	Sudut Pengirim	tegangan Penerima	Sudut Penerima	R	X	Am	Bm
1	1.0000	0.0000	1.0000	0.0441	0.0192	0.0575	0.3183	-0.4234
2	0.9919	0.0449	1.0000	0.0000	0.0452	0.1852	0.0262	-0.0505
3	0.9901	0.0645	1.0000	0.0958	0.0120	0.0420	0.2961	-0.4759
4	0.9838	0.0683	1.0000	0.0958	0.0636	0.2000	0.0132	-0.0187
5	0.9486	0.0560	0.9671	0.1211	0.0000	0.1100	0.0000	-0.3492
6	1.0000	0.2957	0.9671	0.1211	0.0000	0.2080	0.0000	-0.7047
7	0.9479	0.0582	0.9486	0.0560	0.0324	0.0845	0.0004	-0.0004

8	0.9192	0.0103	0.9486	0.0560	0.0936	0.2090	0.0382	-0.0341
9	0.9337	0.0418	0.9486	0.0560	0.0348	0.0749	0.0451	-0.0380
10	0.9359	0.0403	0.9486	0.0560	0.0727	0.1499	0.0107	-0.0085
11	0.9731	0.0946	1.0000	0.2099	0.0000	0.1400	0.0000	-0.6967
12	0.9559	0.0663	0.9731	0.0946	0.1231	0.2559	0.0101	-0.0081
13	1.0000	0.0441	1.0000	0.0295	0.0472	0.1983	0.0023	-0.0046
14	0.9447	0.0609	0.9731	0.0946	0.0662	0.1304	0.0700	-0.0512
15	0.9644	0.0774	0.9731	0.0946	0.0945	0.1987	0.0056	-0.0046
16	0.9447	0.0609	0.9559	0.0663	0.2210	0.1997	0.0017	0.0002
17	0.9249	0.0284	0.9447	0.0609	0.1070	0.2185	0.0175	-0.0136
18	0.9291	0.0402	0.9447	0.0609	0.1000	0.2020	0.0097	-0.0074
19	0.9644	0.0774	0.9479	0.0582	0.0824	0.1932	0.0100	-0.0096
20	0.9177	0.0125	0.9249	0.0284	0.0639	0.1292	0.0102	-0.0078
21	0.9177	0.0125	0.9192	0.0103	0.0340	0.0680	0.0009	-0.0007
22	0.9359	0.0403	0.9337	0.0418	0.0116	0.0236	0.0076	-0.0059
23	0.9190	0.0196	0.9359	0.0403	0.1150	0.1790	0.0131	-0.0060
24	1.0000	0.0441	0.9901	0.0645	0.0581	0.1763	0.0088	-0.0119
25	0.9291	0.0402	0.9190	0.0196	0.1320	0.2700	0.0041	-0.0032
26	0.9279	0.0008	0.9190	0.0196	0.1885	0.3292	0.0023	-0.0013
27	0.9115	-0.0069	0.9279	0.0008	0.2544	0.3800	0.0014	-0.0006
28	0.9279	0.0008	0.9419	-0.0054	0.1093	0.2087	0.0034	-0.0023
29	0.9040	-0.0406	0.9419	-0.0054	0.3202	0.6027	0.0044	-0.0030
30	0.9179	-0.0082	0.9419	-0.0054	0.2198	0.4153	0.0022	-0.0015
31	0.9419	-0.0054	0.9838	0.0683	0.0000	0.3960	0.0000	-0.0433
32	0.9040	-0.0406	0.9179	-0.0082	0.2399	0.4533	0.0034	-0.0023
33	0.9486	0.0560	0.9901	0.0645	0.0000	0.5560	0.0000	-0.0058
34	0.9671	0.1211	0.9901	0.0645	0.0000	0.2080	0.0000	-0.0830
35	0.9911	0.0547	1.0000	0.0441	0.0570	0.1737	0.0034	-0.0046
36	0.9731	0.0946	0.9911	0.0547	0.0000	0.2580	0.0000	-0.0279
37	0.9919	0.0449	0.9911	0.0547	0.0132	0.0379	0.0365	-0.0461
38	0.9911	0.0547	0.9901	0.0645	0.0119	0.0141	0.2762	-0.0471
39	1.0000	0.0295	0.9851	0.0418	0.0460	0.1160	0.0163	-0.0173
40	0.9901	0.0645	0.9851	0.0418	0.0267	0.0820	0.0419	-0.0576
41	0.9838	0.0683	0.9901	0.0645	0.0169	0.0599	0.0072	-0.0118

Berdasarkan Perhitungan pada tabel 2. Nilai Bm yang paling Positif adalah saluran 16 dari Bus14 ke Bus15 yaitu 0.0002. sehingga saluran tersebut menjadi tempat diletakkannya TCSC. Nilai Am diabaikan karena tidak ada yang bernilai negatif.

Tabel 3. Perbandingan Rugi-Rugi Daya Reaktif Setelah Pemasangan TCSC.

From Bus	To Bus	0%	30%	50%	70%	90%
Bus1	Bus2	0.0282	0.0282	0.0282	0.0282	0.0282
Bus3	Bus1	0.0087	0.0088	0.0088	0.0087	0.0087
Bus6	Bus8	0.0107	0.0107	0.0107	0.0107	0.0107
Bus28	Bus8	0.0036	0.0036	0.0036	0.0036	0.0036
Bus10	Bus9	0.0375	0.0374	0.0373	0.0373	0.0373
Bus11	Bus9	0.1442	0.1441	0.1441	0.1441	0.1441
Bus17	Bus10	-0.0009	-0.0009	-0.0009	-0.0009	-0.0009
Bus20	Bus10	0.0099	0.0098	0.0097	0.0097	0.0096
Bus21	Bus10	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
Bus22	Bus10	0.0012	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011
Bus12	Bus13	0.0966	0.0967	0.0967	0.0967	0.0967
Bus14	Bus12	0.0024	0.0033	0.0035	0.0037	0.0040
Bus2	Bus5	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Bus15	Bus12	0.0101	0.0093	0.0091	0.0089	0.0087
Bus16	Bus12	0.0020	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019
Bus15	Bus14	0.0008	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001
Bus18	Bus15	0.0039	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040
Bus23	Bus15	0.0015	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016
Bus16	Bus17	0.0018	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017
Bus19	Bus18	0.0008	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009
Bus19	Bus20	-0.0008	-0.0008	-0.0008	-0.0008	-0.0008
Bus22	Bus21	-0.0008	-0.0008	-0.0008	-0.0008	-0.0008
Bus24	Bus22	0.0018	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017
Bus2	Bus6	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016
Bus23	Bus24	0.0005	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
Bus25	Bus24	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Bus26	Bus25	-0.0003	-0.0003	-0.0003	-0.0003	-0.0003
Bus25	Bus27	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Bus30	Bus27	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024
Bus29	Bus27	-0.0004	-0.0004	-0.0004	-0.0004	-0.0004
Bus30	Bus29	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
Bus4	Bus2	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009
Bus3	Bus4	0.0012	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012
Bus4	Bus6	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013
Bus5	Bus7	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016
Bus6	Bus7	0.0048	0.0048	0.0048	0.0048	0.0048

Bus28	Bus6	-0.0006	-0.0006	-0.0006	-0.0006	-0.0006
Bus12	Bus4	0.0081	0.0081	0.0081	0.0080	0.0080
Bus9	Bus6	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171
Bus10	Bus6	0.0032	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031
Bus27	Bus28	0.0170	0.0168	0.0168	0.0168	0.0168
TOTAL		0.4269	0.4261	0.4259	0.4257	0.4255

Dari tabel 3. dapat dilihat bahwa rugi-rugi daya reaktif semakin menurun tiap kenaikan kompensasi. kompensasi 0% yaitu 0.4269 pu, kompensasi 30% yaitu 0.4261 pu, kompensasi 50% yaitu 0.4259 pu, kompensasi 70% yaitu 0.4257pu, dan kompensasi 90% yaitu 0.04255 pu.

Tabel 4. Kinerja Sistem Sebelum dan setelah Pemasangan TCSC

Line	P Flow Sebelum	P Loss Sebelum	P Send Sebelum	P Flow Setelah	P Loss Setelah	P Send Setelah	Efisiensi Sebelum	Efisiensi Setelah
1	0.6665	0.0097	0.6762	0.6671	0.0097	0.6768	98.56	98.56
2	0.2014	0.0024	0.2038	0.2015	0.0024	0.2039	98.81	98.81
3	0.3529	0.0013	0.3542	0.3531	0.0013	0.3544	99.63	99.63
4	0.1471	0.0014	0.1485	0.1469	0.0014	0.1483	99.06	99.07
5	0.5422	0.0000	0.5422	0.5413	0.0000	0.5413	100.00	100.00
6	0.8000	0.0000	0.8000	0.8000	0.0000	0.8000	100.00	100.00
7	0.0176	0.0000	0.0176	0.0156	0.0000	0.0156	99.91	99.90
8	0.2099	0.0046	0.2145	0.2077	0.0045	0.2122	97.84	97.88
9	0.1969	0.0017	0.1985	0.1965	0.0016	0.1982	99.17	99.17
10	0.1073	0.0010	0.1082	0.1063	0.0009	0.1073	99.10	99.12
11	0.8000	0.0000	0.8000	0.8000	0.0000	0.8000	100.00	100.00
12	0.1085	0.0015	0.1100	0.1285	0.0023	0.1308	98.62	98.27
13	0.1025	0.0037	0.1062	0.1023	0.0037	0.1059	96.54	96.55
14	0.2753	0.0060	0.2813	0.2589	0.0052	0.2641	97.88	98.04
15	0.1390	0.0002	0.1393	0.1369	0.0002	0.1371	99.83	99.83
16	0.0470	0.0005	0.0475	0.0663	0.0000	0.0663	98.88	100.00
17	0.1380	0.0024	0.1403	0.1401	0.0025	0.1425	98.30	98.28
18	0.0979	0.0011	0.0990	0.0999	0.0012	0.1011	98.85	98.82
19	0.1088	0.0011	0.1099	0.1067	0.0011	0.1078	98.96	98.98
20	0.1056	0.0008	0.1064	0.1076	0.0008	0.1084	99.26	99.25
21	0.0148	0.0000	0.0148	0.0168	0.0000	0.0168	99.77	99.81
22	0.0052	0.0000	0.0052	0.0049	0.0000	0.0049	99.97	99.97

23	0.1115	0.0016	0.1131	0.1103	0.0016	0.1118	98.57	98.60
24	0.0849	0.0009	0.0857	0.0852	0.0009	0.0861	99.01	99.01
25	0.0667	0.0007	0.0674	0.0687	0.0007	0.0694	99.00	98.97
26	0.0260	0.0005	0.0265	0.0267	0.0005	0.0272	98.12	98.19
27	0.0304	0.0004	0.0308	0.0304	0.0004	0.0308	98.74	98.75
28	0.0054	0.0004	0.0058	0.0046	0.0004	0.0050	92.29	91.36
29	0.0639	0.0017	0.0657	0.0639	0.0017	0.0657	97.37	97.38
30	0.1013	0.0026	0.1039	0.1013	0.0026	0.1039	97.54	97.54
31	0.0588	0.0010	0.0597	0.0588	0.0010	0.0597	98.35	98.35
32	0.0952	0.0002	0.0954	0.0952	0.0002	0.0954	99.80	99.80
33	0.2219	0.0006	0.2225	0.2220	0.0006	0.2226	99.75	99.75
34	0.2205	0.0006	0.2211	0.2221	0.0006	0.2227	99.75	99.75
35	0.0423	0.0011	0.0434	0.0425	0.0011	0.0436	97.48	97.50
36	0.2645	0.0022	0.2666	0.2647	0.0022	0.2668	99.18	99.18
37	0.0254	0.0004	0.0258	0.0247	0.0004	0.0252	98.29	98.27
38	0.1671	0.0000	0.1671	0.1657	0.0000	0.1657	100.00	100.00
39	0.2578	0.0000	0.2578	0.2587	0.0000	0.2587	100.00	100.00
40	0.0142	0.0000	0.0142	0.0137	0.0000	0.0137	100.00	100.00
41	0.1706	0.0000	0.1706	0.1699	0.0000	0.1699	100.00	100.00

Dari Tabel 4. dapat diketahui bahwa sistem kelistrikan IEEE 30 busbar mengalami peningkatan efisiensi kinerja sebanyak 1%.

4. Kesimpulan Dan Saran

Berdasarkan perhitungan indeks sensitivitas didapatkan saluran yang paling sensitif yaitu saluran dari Bus14 ke Bus15 dengan nilai Bm yaitu 0.002 pu. Setelah pemasangan TCSC dengan berbagai kompensasi yaitu 0%, 30%, 50%, 70%, dan 90% didapatkan nilai tegangan berturut-turut yaitu 28.7261 pu, 28.7323 pu, 28.7328 pu, 28.7333 pu, dan 28.7338 pu dengan nilai tegangan paling tinggi berada pada kompensasi 90%.

Setelah Pemasangan TCSC dengan berbagai kompensasi yaitu 0%, 30%, 50%, 70%, dan 90% didapatkan nilai rugi-rugi daya reaktif berturut turut sebesar 0.4269 pu, 0.4261 pu, 0.4259 pu, 0.4257 pu, dan 0.4255 pu dengan nilai rugi-rugi daya reaktif yang paling rendah berada pada kompensasi 90%. Setelah pemasangan TCSC pada saluran Bus14 ke Bus15 efisiensi Kinerja sistem meningkat sebesar 1%.

Penelitian ini menggunakan indeks sensitivitas dalam menentukan lokasi optimal penempatan TCSC. Namun, untuk penelitian lanjutan, disarankan menggunakan kombinasi metode lain, seperti indeks stabilitas dan logika fuzzy. Penggunaan metode kombinasi dapat menghasilkan analisis yang lebih akurat. Penelitian ini fokus pada TCSC, tetapi sistem tenaga juga dapat menggunakan perangkat FACTS lain, seperti SVC (Static Var Compensator) atau STATCOM. Penelitian lanjutan dapat mengintegrasikan beberapa perangkat FACTS untuk mengoptimalkan stabilitas dan efisiensi sistem secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Srivastava, S. Dixit, and G. Agnihotri, "Optimal location and size of TCSC for voltage stability enhancement using PSO-TVAC," *2014 Power Energy Syst. Conf. Towar. Sustain. Energy, PESTSE 2014*, 2014, doi: 10.1109/PESTSE.2014.6805310.
- [2] S. Banerjee, R. Roshan, K. Bhattacharya, and M. A. Alam, "Reduction of Power losses Improvement of power transfer with SVC TCSC using Sensitivity Index," *2018 4th Int. Conf. Conver. Technol. I2CT 2018*, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/I2CT42659.2018.9058125.
- [3] N. A. Bakar and M. K. M. Desa, "Optimal placement of TCSC in transmission network using sensitivity based method for multi-objective optimization," *2017 IEEE Conf. Energy Conversion, CENCON 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 201–206, 2017, doi: 10.1109/CENCON.2017.8262484.