

ALOKASI PEMASANGAN PERANGKAT FACTS TERHADAP RUGI-RUGI DAYA PADA JARINGAN TRANSMISI SALURAN KHATULISTIWA

Muhammad Rafli¹, Zainal Abidin², Rudy Gianto³
d1021201089@student.untan.ac.id¹, zainal.abidin@teknik.untan.ac.id²
Universitas Tanjungpura

ABSTRAK

Pertumbuhan beban yang terus menerus dan pengembangan kelistrikan yang semakin kompleks mengakibatkan sistem transmisi dipaksa untuk beroperasi mendekati batas 15 kestabilannya Pada RUPTL 2016-2025. Berdasarkan Sistem khatulistiwa untuk penggunaan Listrik di Kalimantan Barat pada tiap tahun nya selalu mengalami peningkatan sehingga menyebabkan kapasitas transfer daya (Power Transfer Capability) pada saluran mendekati pada batas limitnya. FACTS device merupakan peralatan elektronika daya yang dapat mengatur aliran daya pada saluran transmisi. Pada tugas akhir ini diusulkan pengguna TCSC dalam meningkatkan Power transfer capability pada saluran. TCSC merupakan salah satu FACTS device jenis series compensator yang dapat meningkatkan power transfer capability pada saluran transmisi dengan mengatur reaktansi saluran. Untuk dapat mendapatkan penempatan TCSC yang dapat meningkat digunakan metode sensitivity methods. Maka Hasil yang diperoleh dari simulasi adalah penempatan TCSC optimal dilakukan pada Saluran 5 atau saluran dari bus 10 ke bus 5 . hasil peningkatan aliran daya sebesar 2,34% dan terjadi penurunan rugi rugi sebesar 37,514 MVAR atau penurunannya sebesar 66,67%. Adapun untuk kenaikan Power Transfer Capability sebesar 327,334 MW dan nilai persentasenya meningkat menjadi 25%.

Kata Kunci: Saluran Sistem Khatulistiwa, Facts Device, Tcsc (Thyristor Controlled Series Compensator), Sensitivity Methods.

PENDAHULUAN

Listrik merupakan suatu kebutuhan pokok yang harus dipenuhi untuk menjamin keberlangsungan hidup masa kini. Pemenuhan kebutuhan listrik terus meningkat seiring bertambahnya pertumbuhan beban dari tahun ke tahun. Pertumbuhan beban yang terus menerus dan pengembangan kelistrikan yang semakin kompleks mengakibatkan sistem transmisi dipaksa untuk beroperasi mendekati batas 15 kestabilannya Pada RUPTL 2016-2025[1]. Hal tersebut menjadi suatu tantangan bagi operasi sistem tenaga listrik karena peningkatan jumlah beban tidak seimbang dengan perluasan sistem pembangkit tenaga listrik. Pembangunan saluran transmisi untuk menunjang biaya yang sangat besar,serta waktu yang lama. Sehingga pertumbuhan beban akan menimbulkan beberapa permasalahan seperti drop tegangan pada ujung saluran.

FACTS merupakan peralatan elektronika daya yang berfungsi untuk mengendalikan jaringan transmisi secara fleksibel, dapat mengendalikan daya aktif dan reaktif secara terpisah pada jaringan transmisi, sehingga memungkinkan dapat memperbaiki aliran daya dan profil tegangan secara bersamaan. Dengan begitu dapat meningkatkan pasokan energi listrik ke konsumen. Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) merupakan salah satu peralatan FACTS yang dipasang seri (series FACTS devices) yang dapat meningkatkan kapasitas transfer daya pada saluran transmisi dengan mengatur reaktansi pada saluran[4-5].

Sensitivity methods merupakan metode yang dapat digunakan untuk menentukan penempatan optimal TCSC pada saluran transmisi. Oleh karena itu, sensitivity methods dipilih sebagai metode dalam menentukan penempatan TCSC[7].

METODE PENELITIAN

Didalam penelitian ini mempunyai metodologi penelitian untuk mempermudah proses pengerjaan oleh penulis. Lokasi Penelitian Penelitian ini dilakukan di PT. PLN Unit Pelaksana Penyaluran dan Pengaturan Beban (UP2B) Kalimantan barat dan direncanakan penelitian ini menggunakan data pada tahun 2023.

Pada penelitian ini aplikasi matlab akan digunakan untuk membantu pengujian hasil analisa dan perhitungan pada Saluran Khatulistiwa serta penentuan titik TCSC yang akan dipasang sepanjang keseluruhan saluran Memasukan data yang sudah ada pada penulis yang masih dalam bentuk M-file lalu dijalankan kedalam aplikasi matlab kemudian hasil yang didapatkan dibandingkan dengan data di lapangan apakah lebih optimal setelah pemasangan TCSC Langkah selanjutnya adalah membuat visualisasi nya menggunakan grafik dengan data yang sudah didapatkan pada M-file pada matlab kemudian didapatlah perbandingannya.

Adapun untuk Aliran daya yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *Newton Raphson* dengan rumus aliran dan dan rugi-rugi seperti berikut:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)}$$

Keterangan:

$\delta_i^{(k+1)}$ = Sudut tegangan pada bus ke-i setelah (k+1)

$\delta_i^{(k)}$ = Sudut tegangan pada bus ke-I pada ke-k

$\Delta\delta_i^{(k)}$ = Perubahan sudut tegangan pada bus ke-I pada ke -k

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta|V_i^{(k)}|$$

Keterangan:

$|V_i^{(k+1)}|$ = Tegangan pada bus ke-i setelah (k+1)

$|V_i^{(k)}|$ = Tegangan pada bus ke-I pada ke-k

$\Delta|V_i^{(k)}|$ = Perubahan tegangan pada bus ke-I pada ke -k

Sehingga didapatkan tegangan dan sudut baru.

FACTS device dengan menggunakan persamaan yang akan dijelaskan dibawah dan persamaan *Power Transfer capability* sebagai berikut:

$$P_{ij} = \frac{V_i V_j}{X_{ij}} \sin \theta_{ij}$$

$$Q_{ij} = \frac{1}{x_{ij}} (V_i^2 - V_i V_j \cos \theta_{ij})$$

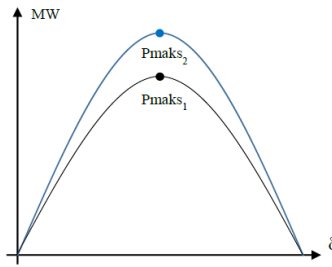
Keterangan :

V_i dan V_j = Tegangan pada bus i dan j

X_{ij} = Reaktansi saluran pada bus I dan j

θ_{ij} = sudut antara V_i dan V_j (dalam bentuk phasor)

Kemudian maka akan dilanjutkan untuk persamaan serta menampilkan Gambar 1 *Power transfer Capability*



Gambar 1. Pmaks pada saluran

$$P_{maks} = \frac{V_i V_j}{X_{ij}}$$

Keterangan :

P_{maks} = daya maksimum yang dapat ditransfer pada saluran

V_i = tegangan pada bus i

V_j = tegangan pada bus j

X_{ij} = reaktansi pada saluran yang menghubungkan bus i dan j

P_{maks1} merupakan daya maksimum yang dapat ditransfer pada saluran sebelum dipasang TCSC. P_{maks2} merupakan daya yang dapat ditransfer pada saluran setelah dipasang TCSC. Setelah dipasang TCSC, reaktansi pada saluran berkurang, sehingga dapat meningkatkan P_{maks} pada saluran.

Pada *Sensitivity Methods* terdapat 2 Persamaan yakni A_{ij} dan D_{ij} sebagai berikut :

$$a_{ij} = [V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \delta_{ij}] \frac{r_{ij}^2 - X_{ij}^2}{(r_{ij}^2 + X_{ij}^2)^2}$$

$$d_{ij} = [V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \delta_{ij}] \frac{(-2r_{ij} * X_{ij})}{(r_{ij}^2 + X_{ij}^2)^2}$$

Keterangan :

V_i dan V_j = Tegangan pada bus i dan j

X_{ij} = Reaktansi saluran pada bus I dan j

r_{ij} = Reksistansi saluran pada bus I dan j

δ_{ij} = sudut antara i dan j

Dengan adanya data – data sebagai parameter perencanaan akan didapat hasil berupa nilai optimal pada saluran yang sudah terpasang TCSC, visualisasi digambarkan melalaui grafik dengan menyesuaikan data yang sudah didapat pada penelitian, dari hasil yang sudah didapat maka akan didapatlah. Analisa hasil dari penelitian ini pada Saluran Khatulistiwa menggunakan FACTS device series TCSC dengan metode *Sensitivity methods*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data saluran transmisi Sistem Khatulistiwa, impedansi saluran transmisi Sistem Khatulistiwa dalam satuan per unit diuraikan secara detail pada perhitungan di bawah ini

TABLE I. REKAPITULASI IMPEDANSI SALURAN TRANSMISI SISTEM KHATULISTIWA

No	Bus		Impedansi	
	Dari	Ke	R (pu)	X (pu)
1	1	2	0,00184	0,01752
2	2	3	0,00000	0,08539

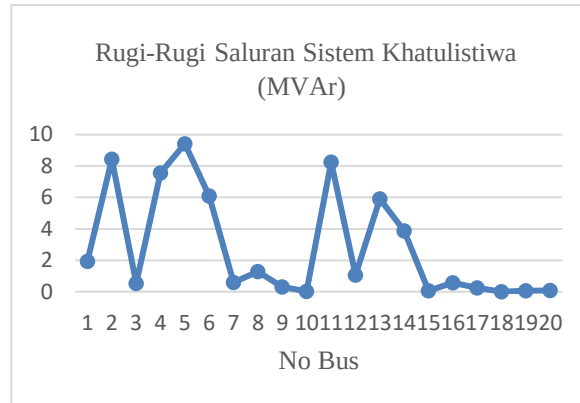
3	3	4	0,01657	0,10828
4	4	5	0,03960	0,25883
5	10	5	0,03019	0,19731
6	5	6	0,00949	0,06200
7	6	7	0,01008	0,02922
8	7	8	0,00549	0,01591
9	4	9	0,00024	0,00123
10	4	10	0,01013	0,06623
11	3	11	0,01322	0,06805
12	6	12	0,01464	0,04242
13	7	13	0,03137	0,09091
14	11	13	0,01425	0,04129
15	13	14	0,01072	0,05519
16	4	15	0,01798	0,05209
17	7	16	0,02025	0,05867
18	12	16	0,00485	0,01404
19	14	17	0,00350	0,02710
20	17	18	0,00580	0,04510

Dengan adanya data impedansi maka akan dilakukan nya perhitungan aliran daya sistem khatulistiwa menggunakan aplikasi matlab dan didapatkan hasil seperti pada tabel 2

TABLE II. HASIL ALIRAN DAYA SALURAN SITEM TRANSMISI KHATULISTIWA SEBELUM PENEMPATAN TCSC

No	Bus		Aliran Daya		Rugi-Rugi
	Dari	Ke	MW	MVAR	MVAR
1	1	2	58,607	-38,238	0,825
2	2	3	58,52	10,938	2,877
3	3	4	-38,2	14,361	1,741
4	4	5	45,215	0,792	5,194
5	10	5	60,562	1,257	7,097
6	5	6	78,996	-15,742	4,051
7	6	7	55,935	-52,724	1,726
8	7	8	89,633	2,554	1,254
9	4	9	-159,939	-11,108	0,31
10	4	10	-3,637	-0,228	0,009
11	3	11	87,52	-8,001	5,076
12	6	12	54,441	-8,888	1,291
13	7	13	-55,197	20,854	3,103
14	11	13	72,434	-15,376	2,205
15	13	14	6,306	-1,33	0,022
16	4	15	31,895	9,264	0,564
17	7	16	13,103	17,166	0,268
18	12	16	4,296	-10,779	0,019
19	14	17	4,002	1,683	0,005
20	17	18	-3,999	-0,802	0,007

Dari data ini maka akan digambarkan dalam bentuk grafik mengenai rugi-rugi yang sebelum penempatan TCSC.



Gambar 2. Grafik Rugi-Rugi Saluran Sistem Khatulistiwa

Penempatan TCSC dengan *Sensitivity Methods* dapat dilihat dalam tabel 3 nilai sensitivitas berdasarkan metode Aij dan Dij sebagai berikut:

Dari data diatas maka didapatkan nilai hasil pada Aij dan Uij sehingga saluran paling min berada dari bus 4 ke bus 9 dengan nilai yaitu -33484,51 pu dan saluran yang max atau mendekati positif berada dari bus 2 ke bus 3 dengan nilai yaitu -0,043 pu maka dengan nilai hasil ini akan dilanjutkan ke tahap peringkatan untuk saluran yang akan di tempatkan TCSC.

Berdasarkan Hasil pengujian matlab memperlihatkan hasil sensitivity data Aij dan Dij pada saluran maksimum Sistem Khatulistiwa sehingga Berdasarkan rangking sensitivitas saluran sesuai Tabel 3. Penempatan TCSC menggunakan kompensasi 70%. Hal tersebut berdasarkan referensi [1]. Tabel 4.4 dibawah ini menunjukkan penurunan aliran daya total pada saluran transmisi Sistem Khatulistiwa tahun 2023 sesuai dengan rangking sensitivitas pada metode Aij, dan Dij setelah penempatan TCSC dengan sizing 70%.

TABLE III. NILAI SENSITIVITAS BERDASARKAN METODE AJI DAN DIJ SIZING 70% PADA SALURAN SISTEM KHATULISTIWA

Metode	Saluran	Bus		Rating TCSC	Penurunan Aliran Daya (MV) 70%
		Dari	Ke		
Aij/Dij	2	2	3	-0,7	0,230
	4	4	5	-0,7	-0,580
	10	4	10	-0,7	-0,577

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa daya yang paling besar terjadi saat tcsc di tempatkan pada saluran 5 atau saluran dari bus 10 ke 5 yaitu GI.PLTU Bengkayang - GI. Senggiring sebesar 0,345 MW. Tanda minus menandakan adanya penurunan aliran daya.

Berikut merupakan detail peningkatan Aliran daya dan penurunan rugi-rugi total sistem khatulistiwa setelah pemasangan TCSC pada saluran 10-5 dengan kompensasi 70% kapasitif.

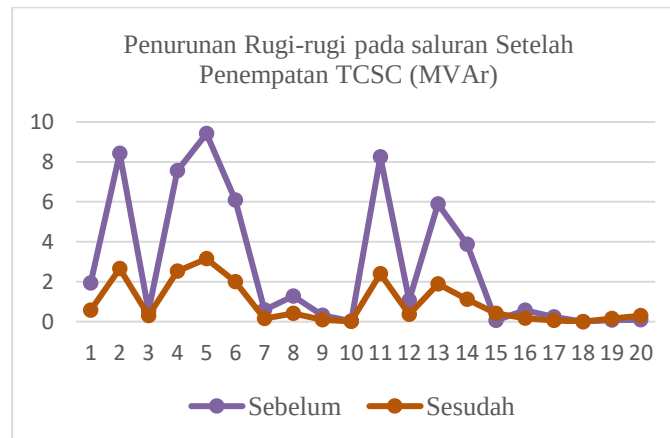
TABLE IV. PENURUNAN RUGI-RUGI PADA SALURAN SETELAH PENEMPATAN TCSC PADA SALURAN 10-5 DENGAN SIZING 70%

No	Bus		Rugi-Rugi (MVAR)	
	Dari	Ke	Sebelum	Sesudah
1	1	2	1,941	0,576
2	2	3	8,437	2,654
3	3	4	0,534	0,307
4	4	5	7,560	2,523
5	10	5	9,416	3,147

6	5	6	6,082	2,006
7	6	7	0,593	0,159
8	7	8	1,28	0,416
9	4	9	0,309	0,094
10	4	10	0,021	0,015
11	3	11	8,258	2,407
12	6	12	1,068	0,356
13	7	13	5,898	1,884
14	11	13	3,870	1,119
15	13	14	0,052	0,416
16	4	15	0,564	0,168
17	7	16	0,235	0,054
18	12	16	0,002	0,001
19	14	17	0,070	0,161
20	17	18	0,084	0,297
Total			56,274	18,760

Dari Tabel 5 di atas dapat dilihat Peningkatan aliran daya masing-masing bus sehingga didapatkan peningkatan aliran daya total pada sistem sebesar 14,317 MW atau 2,34% . namun secara total terjadi penurunan Rugi-rugi sebesar 37.514 Mvar atau 66,67% dari aliran daya total.

Berdasarkan Tabel 5 diatas memperlihatkan hasil peningkatan aliran daya dan penurunan Rugi-Rugi pada saluran maksimum Sistem Khatulistiwa sehingga dapat ditampilkan dalam bentuk grafik di bawah ini:



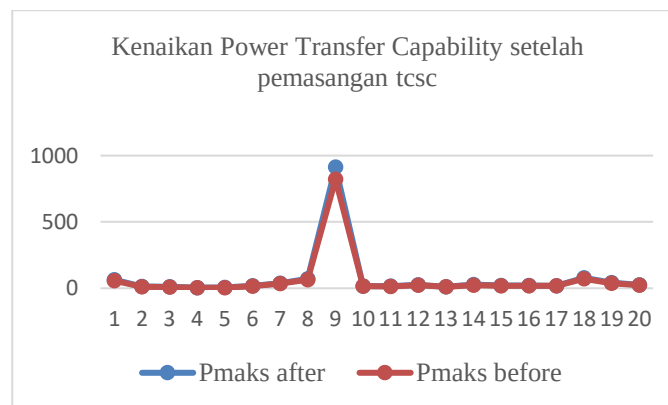
Gambar 3. Grafik Penurunan Rugi-Rugi Saluran Setelah Penempatan TCSC

Peningkatan *Power Transfer Capability* yaitu P_{maks} sesudah dan sebelum pemasangan TCSC Kondisi Sebelum Terpasang Kompensasi TCSC Sistem Khatulistiwa memiliki daya transfer maksimum sebesar 1297,690 MW. Pada kondisi ini, sistem bekerja tanpa adanya kompensasi TCSC, sehingga daya maksimum yang dapat ditransfer masih terbatas oleh reaktansi alami saluran. Kondisi setelah Terpasang Kompensasi TCSC Setelah pemasangan TCSC, daya transfer maksimum pada Sistem Khatulistiwa meningkat menjadi 1441,878 MW. Pemasangan TCSC berfungsi mengurangi reaktansi efektif saluran, sehingga memungkinkan lebih banyak daya yang dapat ditransfer tanpa membebani saluran atau menyebabkan ketidakstabilan. Selisih Peningkatan Kapabilitas Daya Dengan adanya kompensasi TCSC, terjadi peningkatan kapabilitas daya sebesar 144,878 MW.

TABLE V. KENAIKAN *POWER TRANSFER CAPABILITY* SETELAH PEMASANGAN TCSC

No	Bus		<i>Power Transfer Capability</i>	
	Dari	Ke	Sebelum	Sesudah
1	1	2	58,219	64,68798
2	2	3	11,711	13,01219
3	3	4	9,235	10,26146
4	4	5	3,864	4,29282
5	10	5	5,119	5,68761
6	5	6	16,129	17,92115
7	6	7	34,565	38,40596
8	7	8	63,482	70,53565
9	4	9	821,138	912,3758
10	4	10	15,250	16,94432
11	3	11	14,695	16,32786
12	6	12	23,574	26,1931
13	7	13	11,110	12,34432
14	11	13	24,219	26,90993
15	13	14	18,300	20,3338
16	4	15	19,198	21,3306
17	7	16	17,215	19,1277
18	12	16	71,225	79,13897
19	14	17	37,269	41,41041
20	17	18	22,173	24,63661

Berdasarkan Tabel 6 diatas memperlihatkan hasil peningkatan *Power Transfer Capability* pada saluran maksimum Sistem Khatulistiwa sehingga dapat ditampilkan dalam bentuk grafik di bawah ini:

Gambar 4. Kenaikan *Power Transfer Capability* setelah pemasangan TCSC

Selisih ini menunjukkan bahwa pemasangan TCSC berhasil meningkatkan kapasitas daya transfer sistem sebesar 11,17% dari kondisi awal. Peningkatan ini menunjukkan bahwa TCSC adalah solusi efektif untuk meningkatkan efisiensi transfer daya pada jaringan transmisi, khususnya pada Sistem Khatulistiwa. Hal ini memungkinkan jaringan untuk menyalurkan daya yang lebih tinggi, menjaga stabilitas sistem, dan mengurangi risiko kelebihan beban pada jaringan.

TABLE VI. REKAPITULASI PEMBANGKITAN DAYA DAN RUGI-RUGI SALURAN SISTEM KHATULISTIWA

Kondisi	Pembangkitan		Rugi-Rugi	
	MW	MVAr	MW	MVAr
Sebelum Terpasang Kompensasi TCSC	370,249	-57,560	10,174	56,274
Setelah Terpasang Kompensasi TCSC	369,274	-20,046	8,266	18,760

Perbandingan Pembangkitan Daya dan Rugi-Rugi Pada Sistem Khatulistiwa Total beban aktif dan reaktif pada Sistem Khatulistiwa sebesar 359,100 MW dan 56,680 MVAr, sedangkan total injeksi reaktif dari pemasangan reaktor dan kapasitor shunt sebesar 135 MVAr. Pada Sistem Khatulistiwa sebelum Terpasang TCSC menghasilkan total pembangkitan daya aktif dan reaktif sebesar 370,249 MW dan -57,560 MVAr, sedangkan rugi-rugi daya aktif dan reaktif sebesar 10,174 MW dan 56,274 MVAr. Setelah Terpasang TCSC pada Sistem Khatulistiwa menghasilkan total pembangkitan daya aktif dan reaktif sebesar 369,274 MW dan -20,046 MVAr, sedangkan rugi-rugi daya aktif dan reaktif sebesar 8,266 MW dan 18,760 MVAr. Setelah Terpasang TCSC pada Sistem Khatulistiwa rugi-rugi daya aktif berkurang sebesar 37,514 MVAr. Setelah Pemasangan Kompensasi TCSC pada Sistem Khatulistiwa rugi-rugi daya aktif berkurang sebesar 2,883 MW.

TABLE VII. PENINGKATAN KAPABILITAS DAYA TRANSFER TRANSMISI SISTEM KHATULISTIWA

Kondisi	Daya Transfer Transmisi	Peningkatan Kapabilitas Daya (Pmaks)
Sebelum Terpasang Kompensasi TCSC	Sistem Khatulistiwa Daya Transfer	1309,336
Setelah Terpasang Kompensasi TCSC	Sistem Khatulistiwa Daya Transfer	1636,670
Selisih Peningkatan Kapabilitas Daya (MW)		327,334

Kondisi Sebelum Terpasang Kompensasi TCSC Sistem Khatulistiwa memiliki daya transfer maksimum sebesar 1309,336 MW. Pada kondisi ini, sistem bekerja tanpa adanya kompensasi TCSC, sehingga daya maksimum yang dapat ditransfer masih terbatas oleh reaktansi alami saluran. Kondisi setelah Terpasang Kompensasi TCSC Setelah pemasangan TCSC, daya transfer maksimum pada Sistem Khatulistiwa meningkat menjadi 1636,670 MW. Pemasangan TCSC berfungsi mengurangi reaktansi efektif saluran, sehingga memungkinkan lebih banyak daya yang dapat ditransfer tanpa membebani saluran atau menyebabkan ketidakstabilan. Selisih Peningkatan Kapabilitas Daya Dengan adanya kompensasi TCSC, terjadi peningkatan kapabilitas daya sebesar 327,334 MW.

Selisih ini menunjukkan bahwa pemasangan TCSC berhasil meningkatkan kapasitas daya transfer sistem sebesar 25% dari kondisi awal. Peningkatan ini menunjukkan bahwa

TCSC adalah solusi efektif untuk meningkatkan efisiensi transfer daya pada jaringan transmisi, khususnya pada Sistem Khatulistiwa. Hal ini memungkinkan jaringan untuk menyalurkan daya yang lebih tinggi, menjaga stabilitas sistem, dan mengurangi risiko kelebihan beban pada jaringan.

Pemasangan perangkat TCSC (*Thyristor Controlled Series Capacitor*) mempengaruhi nilai reaktansi saluran dengan mengurangi hambatan yang dialami oleh aliran daya pada saluran transmisi. Reaktansi yang lebih rendah berarti rugi-rugi daya pada saluran dapat berkurang, dan kapasitas aliran daya meningkat. Dengan mengurangi reaktansi, TCSC meningkatkan stabilitas sistem dan memungkinkan lebih banyak daya untuk ditransfer melalui saluran tanpa meningkatkan risiko ketidakstabilan atau kelebihan beban. Perubahan Reaktansi (X_{Lama} ke X_{Baru}) Reaktansi awal X_{Lama} dibandingkan dengan reaktansi baru X_{Baru} setelah pemasangan Kompensasi TCSC. *Tabel IX* menunjukkan penurunan nilai reaktansi pada sebagian besar saluran yang dilengkapi TCSC.

Penurunan reaktansi ini langsung berkontribusi pada pengurangan hambatan arus, yang berarti rugi-rugi daya berkurang dan lebih banyak daya dapat mengalir melalui saluran. Perbandingan Daya Maksimum (P_{maks_before} dan P_{maks_after}) Data daya maksimum (P_{maks}) yang dapat ditransfer sebelum dan sesudah pemasangan TCSC menunjukkan peningkatan kapasitas transfer daya.

Selisih antara P_{maks_after} dan P_{maks_before} menunjukkan besarnya peningkatan kemampuan saluran untuk mengalirkan daya. *Tabel IX* juga menunjukkan data tegangan pada masing-masing bus yang terkait dengan saluran sebelum dan sesudah pemasangan TCSC.

Jika tegangan pada bus tetap stabil atau mengalami peningkatan, ini menunjukkan bahwa TCSC juga berperan dalam menjaga kestabilan tegangan pada seluruh jaringan. Rugi-rugi daya pada saluran dihitung sebelum dan sesudah pemasangan TCSC. Penurunan nilai rugi-rugi daya mengindikasikan bahwa TCSC berhasil meningkatkan efisiensi aliran daya di sepanjang saluran.

Arus yang mengalir di saluran transmisi juga dicatat sebelum dan sesudah pemasangan TCSC. Arus ini diharapkan lebih stabil dan efisien setelah pemasangan TCSC, yang mengurangi resistansi dan memungkinkan penyaluran daya yang lebih baik.

KESIMPULAN

Penempatan optimal TCSC pada saluran transmisi Sistem Khatulistiwa Tahun 2024 untuk meningkatkan Power Transfer Capability yaitu pada saluran 5 atau saluran 10 -5 dengan Sizing optimal sebesar -0,345 Berdasarkan data beban tanggal 4 Januari 2024. Total beban aktif dan reaktif pada Sistem Khatulistiwa sebesar 359,100 MW dan 58,680 MVar. Menggunakan kompesasi -0.7 pada FACTS Device TCSC untuk mengurangi rugi-rugi daya yang terjadi pada transmisi saluran Sistem Khatulistiwa. Kondisi Sebelum Terpasang Kompensasi TCSC Sistem Khatulistiwa memiliki daya transfer maksimum sebesar 1297,690 MW. Setelah pemasangan TCSC, daya transfer maksimum pada Sistem Khatulistiwa meningkat menjadi 1441,878 MW. Selisih ini menunjukkan bahwa pemasangan TCSC berhasil meningkatkan kapasitas daya transfer sistem sebesar 11,17% dari kondisi awal Peningkatan aliran daya masing-masing bus sehingga didapatkan peningkatan aliran daya total 2,34% . namun secara total terjadi penurunan Rugi-rugi sebesar 37.514 Mvar atau 66,67% dari aliran daya total.

DAFTAR PUSTAKA

- Pooja P. Kulkarni dan Dr. N. D. Ghawghawe, "Optimal Placement and Parameter setting of TCSC in Power Transmission System to increase the Power Transfer Capability", Internasional Conference on Energy Systems and Applications (ICESA), 978-1-4673-6817-9/15, 2015.
- Reddy S.S., Kumari M.S. and Sydudu, M., "Congestion management in deregulated power system by optimal choice and allocation of FACTS controllers using multi-objective Genetic Algorithm", Transmission and Distribution Conference and Exposition, IEEE PES pp. 1-7, 2010.
- Frisky Alfarizy, Adi Soeprijanto, Heri Suryoatmojo, "Penempatan Optimal Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) dan Static Var Compensator (SVC) Menggunakan Quantum Behaved Particle Swarm Optimization (QPSO) untuk Pembebanan Maksimal", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2012.
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2016 s.d 2025", Jakarta
- Ghahremani E., Kamwa I., "Optimal Placement of Multiple-Type FACTS Devices to Maximize Power System Loadability Using a Generic Graphical User Interface", Power Systems, IEEE Transactions, Vol. 28, Issue: 2 pp. 764-778, 2013.
- Rashed G.I., Yuanzhang Sun, Shaheen H.I., "Optimal TCSC placement in a power system by means of Differential Evolution Algorithm considering loss minimization", 6th IEEE International Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA) pp. 2209-2215, 2011.
- Filip Relic (2020) "Pengaruh Implementasi Perangkat FACTS terhadap Kinerja Jaringan Distribusi dengan Sumber Energi Terbarukan yang Terintegrasi"
- Rifaldi Hazbullah, "Simulasi dan Analisa Penempatan STATIC SYNCHRONOUS COMPESATOR(STATCOM) Sebagai Pengatur Stabilitas Tegangan Pada Saluran Transmisi 150 KV", Teknik Elektro Universitas Siliwangi, 2020.
- Mustafa N Dawood (2019) "Alokasi Perangkat FACTS yang Optimal untuk Meningkatkan Faktor Kehilangan Daya pada Sistem IEEE 9 Bus"
- Hadi Saadat, "Power System Analysis," Mc.Graw-Hill International Edition, 1999.
- Shenghu li and Ting wang, sensitivity-based coordination to controllable ranges of UPFCs to avoid active power loop flows School of Electrical Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China, 2020
- Muhmmad Nadeem and Kashif Imran, Optimal Placement, Sizing and Coordination of FACTS Device in Transmision Network Using Whale Optimization Algorithm, US Pakistan Center for Advance Studies in Energi, 2020
- Chuan Qin and Yuqing Jin, Comparative Study of Global Sensitivity Analysis and Local Sensitivity Analysis in Power Sytem Parameter Indentification, College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China, 2023