

# PENGARUH PEMASANGAN *STATIC VAR COMPENSATOR* PADA SISTEM TRANSMISI TENAGA LISTRIK ( Studi Kasus: Sistem Transmisi Tenaga Listrik 150 kV Sumbagut )

**Syiska Yana<sup>\*</sup>, Zulkarnaen Pane, Sandro Levi Panggabean**

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

<sup>\*</sup>Corresponding author, e-mail : syiska\_yana@yahoo.com

**Abstrak**—Studi ini membahas tentang pengaruh pemasangan *Static VAR Compensator* (SVC) pada sistem transmisi tenaga listrik 150 kV Sumbagut. Metode yang digunakan dalam studi ini adalah simulasi menggunakan komputer dan perhitungan untuk mendapatkan parameter-parameter SVC yang akan disimulasikan. Simulasi dilakukan untuk melihat profil tegangan pada sistem sebelum dan sesudah dipasang SVC. Dari hasil simulasi sebelum pemasangan SVC diperoleh data Bus yang memiliki tegangan kritis atau dibawah standar. Bus yang mengalami tegangan yang dibawah standar atau kritis adalah Bus Aek Kanopan, Kuala Tanjung, Kisaran dan Rantau Parapat. Besar tegangan masing-masing Bus berturut-turut 89,92%; 89,92%; 89,97%; dan 89,96%. Setelah pemasangan SVC nilai tegangan pada Bus berubah menjadi 91,7%; 91,74%; 91,7%; dan 91,73%. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa pemasangan SVC berdampak pada perbaikan profil tegangan sistem transmisi.

*Kata Kunci : Static Var Compensator, Tegangan, Transmisi*

**Abstract**—This paper discussed about the influence of *Static VAR Compensator* (SVC) in transmission system 150 kV, Sumbagut region. Transmission system and SVC parameters in this study is simulated by using computer. Purpose of simulation was to show voltage profile of the system before and after installed SVC. Based on simulation for the condition before installed SVC, there were four Buses; Aek Kanopan, Kuala Tanjung, Kisaran and Rantau Prapat which have critical voltages sequentially 89,92%; 89,92%; 89,97%; and 89,96%. After installed SVC, voltage profile of the busses increased sequentially 91,7%; 91,74%; 91,7%; dan 91,73%. Based on simulation result, SVC improved voltage profiles in transmission system.

*Keywords : Static Var Compensator, Voltage, Transmission*

*Copyright © 2016 JNTE. All rights reserved*

## 1. PENDAHULUAN

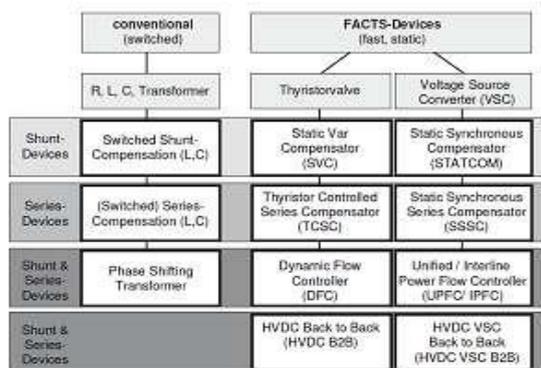
Sistem transmisi tenaga listrik merupakan bagian penting dalam penyaluran tenaga listrik dari pembangkit sampai ke saluran distribusi. Oleh sebab itu keandalan sebuah sistem transmisi sangat perlu ditingkatkan. Salah satu permasalahan pada sistem transmisi adalah stabilitas tegangan. Masalah stabilitas tegangan ini akan berdampak pada kualitas daya pada sistem tenaga listrik.

Stabilitas tegangan pada saluran transmisi dapat dikendalikan dengan berbagai cara antara lain adalah pemasangan *reactor*, *Phase Shifting Transformer* (PST), dan peralatan *Flexible AC Transmission Systems* (FACTS) [1-2]. Ketiga peralatan tersebut bekerja dengan cara menginjeksikan ataupun menyerap daya reaktif dari sistem. Pemasangan *reactor* pada saluran

transmisi merupakan solusi yang sudah lama diterapkan, hal ini dikarenakan *reactor* merupakan solusi yang paling ekonomis. Solusi lain yang juga sudah lama diaplikasikan adalah pemasangan PST yang biasa dipasang di saluran transmisi yang bekerja dengan cara mengatur tegangan di sisi penerima dan pengirim [1]. Pemanfaatan *reactor* dan PST memiliki kelemahan yaitu sistem kendali yang masih manual yang tidak cukup cepat dalam merespon perubahan yang terjadi sehingga akan menimbulkan dampak yang kurang menguntungkan untuk sistem yang dinamis. Solusi yang dapat dimanfaatkan untuk mengatasi kekurangan dari *reactor* dan PST yaitu dengan pemasangan peralatan FACTS.

Peralatan FACTS merupakan peralatan yang terdiri dari komponen elektronika daya dan komponen statis yang berfungsi untuk

mengendalikan parameter pada sistem transmisi AC untuk meningkatkan kualitas daya pada sistem tenaga listrik [3-9]. Perkembangan penelitian dan teknologi telah menghasilkan berbagai macam peralatan FACTS yang dapat dimanfaatkan untuk mengatasi permasalahan pada sistem transmisi AC. Berbagai macam peralatan FACTS dan kompensator konvensional dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Peralatan FACTS dan kompensator konvensional [3]

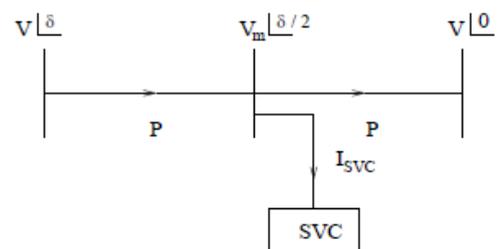
Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat berbagai macam peralatan FACTS yang terbagi atas dua kelompok yaitu kelompok *thyristor valve* dan *voltage source converter*. Pada tulisan ini yang akan dibahas adalah pengaruh pemasangan salah satu jenis peralatan FACTS yaitu *Static Var Compensator (SVC)* pada sistem transmisi tenaga listrik 150 kV, Sumatera bagian utara (Sumbagut).

**2. STATIC VAR COMPENSATOR**

SVC merupakan salah satu peralatan FACTS yang berfungsi untuk mengatur aliran daya pada sistem dengan cara mengubah tegangan pada sistem dengan menginjeksikan atau menyerap daya reaktif pada sistem [4-5]. SVC bekerja berdasarkan magnitudo tegangan pada sistem. Jika tegangan sistem rendah maka SVC akan menginjeksikan daya reaktif (kapasitif) dan sebaliknya jika tegangan sistem tinggi maka SVC akan menyerap daya reaktif (induktif). Berikut ini beberapa keuntungan penggunaan SVC antara lain; menjaga stabilitas tegangan sistem, mengurangi rugi-rugi transmisi, dan meningkatkan kapasitas transmisi penyaluran

daya listrik [3].

Penggunaan SVC terutama ditujukan untuk memberikan respon yang cepat terhadap perubahan beban sehingga dapat meningkatkan faktor daya dan menjaga kestabilan tegangan di sisi sumber kapanpun dibutuhkan. Oleh sebab itu lokasi pemasangan SVC sangat penting diperhatikan agar dapat bekerja secara efektif. Idealnya SVC dipasang di titik tengah saluran transmisi, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi pemasangan SVC pada saluran transmisi [1]

Berdasarkan Gambar 2 dapat dibuat kurva karakteristik kontrol SVC. Kurva karakteristik kontrol SVC ditunjukkan pada Gambar 3. Garis ADB pada merupakan batas kontrol SVC, sedangkan garis OA merupakan batas kapasitor dan BC batas induktor. Arus SVC ( $I_{SVC}$ ) bernilai positif jika suseptansi SVC bersifat induktif, yang diperlihatkan pada persamaan (1).

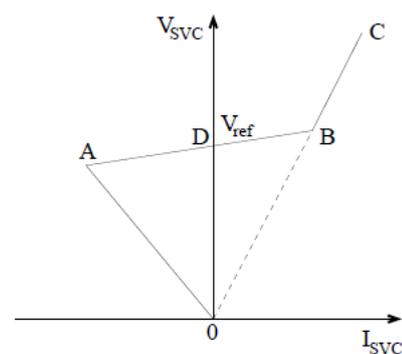
$$I_{SVC} = -B_{SVC}V_{SVC} \tag{1}$$

Dimana:

$I_{SVC}$  = arus SVC

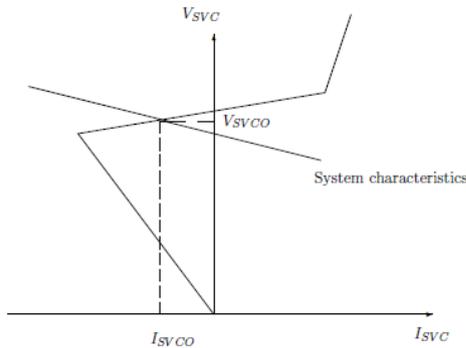
$B_{SVC}$  = suseptansi SVC

$V_{SVC}$  = tegangan SVC



Gambar 3. Kurva karakteristik kontrol SVC [3]

Nilai *steady state* tegangan bus SVC dihitung dari perpotongan karakteristik sistem dan karakteristik kontrol pada Gambar 4. Karakteristik sistem merupakan garis lurus dengan sudut negatif yang besarnya dapat dihitung menggunakan persamaan (2).



Gambar 4. Kurva karakteristik perhitungan titik operasi SVC [3]

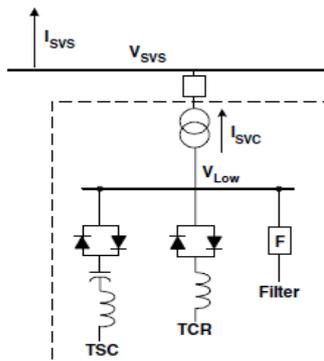
$$V_{SVC} = V_{TH} - X_{TH} I_{SVC} \quad [2]$$

Dimana:

$V_{TH}$ = tegangan thevenin bus SVC

$X_{TH}$ = reaktansi thevenin bus SVC

SVC terbagi atas dua tipe yaitu *Thyristor Switched Capacitor* (TSC-TCR) dan *Fixed Capacitor Thyristor Controlled Reactor* (FC-TCR)[6]. SVC tipe TSC-TCR yang ditunjukkan pada Gambar 5. TSC-TCR memiliki kelebihan yaitu lebih fleksibel dibandingkan tipe FC-TCR. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa TSC-TCR dipasang pada sisi sekunder transformator penurun tegangan. Pada rangkaian tersebut, tegangan diambil dari sisi tegangan tinggi bus SVC.



Gambar 5. Rangkaian dasar SVC tipe TSC-TCR [6]

### 3. METODOLOGI

Pada studi ini, metodologi yang digunakan untuk melihat pengaruh pemasangan SVC pada sistem transmisi tenaga listrik 150 kV Sumbagut adalah dengan simulasi komputer. Simulasi dilakukan dua tahap, yang pertama dilakukan simulasi untuk melihat aliran daya dan profil tegangan sistem sebelum pemasangan SVC, dan yang kedua simulasi setelah pemasangan SVC.

Simulasi menggunakan data-data transmisi yang diperoleh dari PT. PLN (Persero), berupa single line diagram dan data-data pembangkit, saluran dan beban. Gambar rangkaian simulasi dapat dilihat pada Gambar 7. Sistem transmisi tenaga listrik 150 kV Sumbagut terdiri dari 45 Bus. Parameter SVC dihitung menggunakan persamaan berikut berikut [9]:

$$P = 2 \left( V_i \frac{V_m}{X_{ij}} \right) \sin \delta_{im} \quad (3)$$

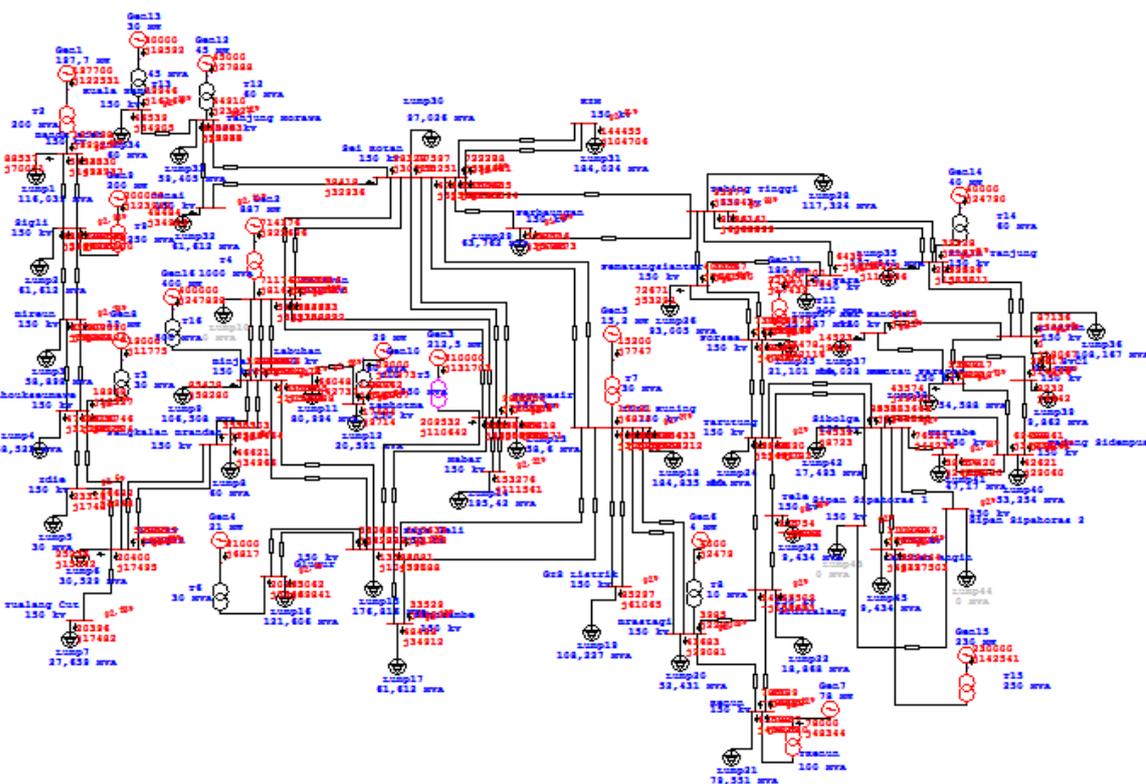
Nilai susceptansi SVC,  $B_{SVC}$ :

$$B_{SVC} = \left( \frac{1}{X_C} \right) - B_L(\alpha) \quad (4)$$

Dan:

$$B_L(\alpha) = \frac{[2\pi - 2\alpha + \sin(2\alpha)]}{\pi X_L} \quad (5)$$

Dimana  $\alpha$  adalah sudut penyalan thyristor.



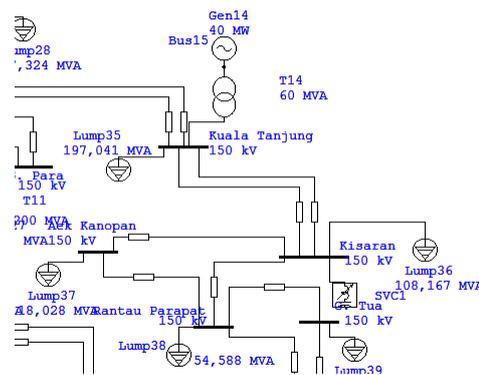
Gambar 7. Simulasi sistem transmisi tenaga listrik 150 kV Sumbagut

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Simulasi dilakukan untuk melihat profil tegangan pada sistem dengan dua kondisi yaitu sebelum menggunakan SVC dan setelah menggunakan SVC. Hasil simulasi untuk kondisi sebelum menggunakan SVC dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari data pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa Bus yang memiliki tegangan dengan nilai kritis adalah Bus Aek Kanopan, Kisaran, KualaTanjung, dan Rantau Parapat, dengan besar persentase tegangan 89,92%; 89,92%; 89,97%; dan 89,96%. Empat Bus tersebut merupakan Bus yang akan dipilih untuk pemasangan SVC. Berdasarkan Gambar 7 juga dapat dilihat bahwa posisi Bus Aek Kanopan, Kisaran, Kuala Tanjung, dan Rantau Parapat juga berdekatan. Rangkaian sederhana untuk ke empat Bus dapat dilihat pada Gambar 8.

Berdasarkan Gambar 8 ditentukan lokasi pemasangan SVC yaitu Bus Kisaran. Hasil simulasi setelah pemasangan SVC dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 8. Posisi Bus Aek Kanopan, Kisaran, KualaTanjung, dan Rantau Parapat

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa tegangan pada ke empat Bus meningkat menjadi 91,7%; 91,74%; 91,7%; dan 91,73%. Pemasangan SVC pada Bus Kisaran tidak hanya memperbaiki tegangan pada ke empat Bus tapi juga memperbaiki tegangan diseluruh Bus. Hasil ini membuktikan bahwa SVC memberikan pengaruh terhadap perbaikan tegangan sistem.

Tabel 1. Sebelum menggunakan SVC

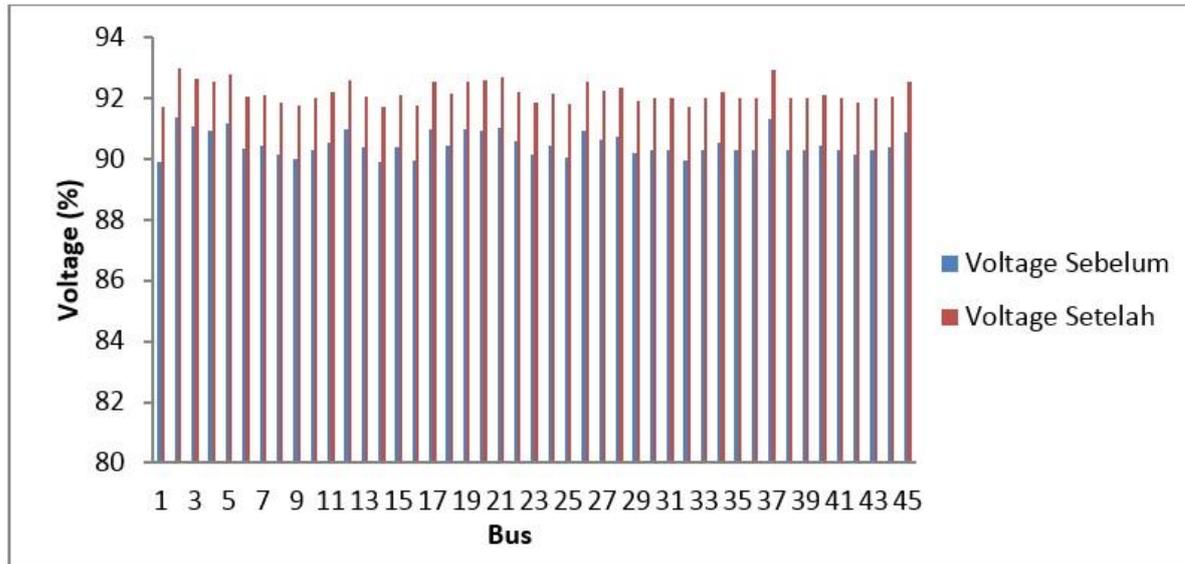
Bus ID	Nominal kV	Voltage	P (MW)	Q (Mvar)
Aek Kanopan	150	89,92	23,678	10,975
Banda Aceh	150	91,39	197,123	96,569
Belawan	150	91,06	739,297	865,858
Binjai	150	90,95	471,948	336,549
Bireun	150	91,16	260,015	93,45
Brastagi	150	90,33	41,417	60,596
Denai	150	90,44	48,179	34,689
G. Para	150	90,14	33,706	17,325
G. Tua	150	90,01	38,762	20,923
GIS Listrik	150	90,31	84,754	60,676
Glugur	150	90,54	94,468	69,405
Idie	150	90,97	70,36	17,497
KIM	150	90,38	143,544	104,045
Kisaran	150	89,92	86,553	57,702
Kuala Namu	150	90,4	46,246	34,684
Kuala Tanjung	150	89,97	198,288	154,683
Labuhan	150	90,96	65,653	42,481
Labuhan Angin	150	90,44	229,359	113,7
Lamhotma	150	90,98	28,956	15,99
Langsa	150	90,94	164,703	32,836
Lhoukseumawe	150	91,04	235,338	66,307
Mabar	150	90,58	152,324	110,869
Martabe	150	90,14	75,843	45,077
Namorambe	150	90,46	81,353	59,546
Padang Sidempuan	150	90,07	150,484	86,944
Pangkalan Brandan	150	90,92	119,281	50,18
Paya Geli	150	90,63	404,569	313,008
Payapasar	150	90,73	453,465	379,941
Pematangsiantar	150	90,18	146,392	67,243
Perbaungan	150	90,29	101,658	90,763
Porsea	150	90,29	179,507	89,361
Rantau Parapat	150	89,96	99,905	53,063
Renun	150	90,31	77,812	51,615
Sei Rotan	150	90,53	635,208	566,855
Sibolga	150	90,27	221,452	120,255
Sidikalang	150	90,29	17,605	28,25
Sigli	150	91,33	308,601	129,065
Sipan Sipahoras 1	150	90,27	0	0
Sipan Sipahoras 2	150	90,27	0	0
Tanjung Morawa	150	90,45	72,735	54,393
Tarutung	150	90,28	34,503	23,591
Tebing Tinggi	150	90,15	251,88	204,464
Tele	150	90,28	8,932	7,81
Titi Kuning	150	90,39	256,14	223,162
Tualang Cut	150	90,9	20,27	17,374

Dari hasil simulasi juga dapat dilihat bahwa tidak hanya tegangan sistem yang diperbaiki tapi juga mengurangi jumlah losses sistem. Losses sistem berkurang dari 12,221 MW menjadi

10,544 MW atau berkurang sebanyak 14%. Perbandingan nilai tegangan sistem sebelum dan setelah pemasangan SVC dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 2. Setelah menggunakan SVC

Bus ID	Nominal kV	Voltage	P (MW)	Q (Mvar)
Aek Kanopan	150	91,7	23,666	9,803
Banda Aceh	150	92,99	197,198	99,925
Belawan	150	92,63	749,556	816,353
Binjai	150	92,56	470,44	335,065
Bireun	150	92,78	259,327	99,19
Brastagi	150	92,03	41,683	53,414
Denai	150	92,11	48,484	34,909
G. Para	150	91,87	33,559	17,439
G. Tua	150	91,78	38,849	19,808
GIS Listrik	150	92	85,297	61,065
Glugur	150	92,2	95,062	69,841
Idie	150	92,6	69,997	19,434
KIM	150	92,06	144,455	104,706
Kisaran	150	91,7	87,136	58,1
Kuala Namu	150	92,08	46,539	34,905
Kuala Tanjung	150	91,74	200,122	141,378
Labuhan	150	92,55	66,048	42,737
Labuhan Angin	150	92,15	229,444	117,503
Lamhotma	150	92,56	28,962	16,257
Langsa	150	92,57	163,326	33,037
Lhoukseumawe	150	92,67	234,392	72,145
Mabar	150	92,22	153,276	111,561
Martabe	150	91,88	76,174	44,101
Namorambe	150	92,13	82,017	58,911
Padang Sidempuan	150	91,83	150,971	83,733
Pangkalan Brandan	150	92,54	117,627	44,929
Paya Geli	150	92,27	407,681	311,614
Payapasar	150	92,36	457,653	371,31
Pematangsiantar	150	91,91	146,244	70,483
Perbaungan	150	91,99	102,936	85,438
Porsea	150	92,01	179,572	92,295
Rantau Parapat	150	91,73	100,061	49,672
Renun	150	92,02	77,837	50,003
Sei Rotan	150	92,18	642,613	546,977
Sibolga	150	92	221,491	117,139
Sidikalang	150	92	16,958	21,734
Sigli	150	92,93	308,203	134,866
Sipan Sipahoras 1	150	92	0	0
Sipan Sipahoras 2	150	92	0	0
Tanjung Morawa	150	92,12	73,227	54,71
Tarutung	150	92	33,824	16,654
Tebing Tinggi	150	91,88	254,298	190,052
Tele	150	91,99	8,689	5,629
Titi Kuning	150	92,07	259,176	217,035
Tualang Cut	150	92,53	20,396	17,482



Gambar 9. Perbandingan tegangan sebelum dan sesudah pemasangan SVC.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa pemasangan SVC pada sistem transmisi dapat meningkatkan tegangan sistem pada Bus Aek Kanopan, Kisaran, KualaTanjung, dan Rantau Parapat, dengan besar persentase tegangan 89,92%; 89,92%; 89,97%; dan 89,96% menjadi 91,7%; 91,74%; 91,7%; dan 91,73%. Tegangan sistem tidak hanya meningkat pada ke empat Bus tersebut saja akan tetapi juga memperbaiki tegangan pada seluruh Bus.

Pemasangan SVC pada sistem transmisi tidak hanya memperbaiki tegangan sistem namun juga mengurangi losses sistem sebesar 14%, yaitu dari 12,221 MW menjadi 10,544 MW. Sehingga dapat disimpulkan pemasangan SVC terbukti berpengaruh dalam memperbaiki profil tegangan dan losses sistem.

Studi lebih lanjut dari studi ini adalah melakukan optimasi untuk menentukan lokasi pemasangan SVC yang lebih optimum dengan menggunakan metode optimasi berbasis algoritma genetika ataupun metode lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Padiyar, K.R., *FACTS Controller in Transmission and Distribution*, New Age International (P) Limited Publisher (2007).
- [2] Sastry Verdam, R., Mulukutla S. Sarma, *Power Quality: VAR Compensation in Power Systems*, CRC Press (2009).
- [3] Hirdesh Chaturvedi, Paramjeet Kaur, *Power Quality Enhancement using Different "FACTS" Devices*, International Journal of Engineering Research and Development Vol. 10, pp. 51-57 (2014).
- [4] Mohan Matur, R., Rajiv K Varma, *Thyristor-Based Facts Controllers for Electrical Transmission Systems*, John Wiley & Sons, Inc. (2002).
- [5] Ramlal Das, D. K. Tanti, *Transient Stability of 11-Bus System Using SVC and Improvement of Voltage Profile In Transmission Line Using Series Compensator*, American Journal of Electrical Power and Energy Systems, pp. 76-85, (2014)
- [6] John J. Paserba, *How FACTS Controllers Benefit AC Transmission Systems*, Mitsubishi Electric Power Products
- [7] S.RaviKumar, B.Ramoji Rao, D.Ramesh, *The Study of Voltage Profile and Power Quality with SVC in Transmission System at Different Loads*, International Journal of Engineering Research and Applications, Vol.3, pp. 543-549 (2013).
- [8] Guneet Kour, G. S. Brar, Jaswanti Dhiman, *Improvement by Voltage Profile by Static Var Compensators in Distribution Substation*, International

Journal of Instrumentation Science pp:  
21-24, (2012)

- [9] Tarlochan Kaur, Sandeep Kakran, *Transient Stability Improvement of Long Transmission Line System by Using SVC*, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 1, pp. 218-227, (2012).

#### ***Biodata Penulis***

**Syiska Yana**, merupakan staff pengajar di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara sejak Tahun 2011 sampai sekarang. Bidang ketertarikan penulis yaitu kualitas daya, smart grid, power elektronik dan energi terbarukan. Penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan penelitian dan pengabdian masyarakat yang berhubungan dengan bidang ketertarikan penulis.