

# STUDI PENGARUH PEMASANGAN STATIC VAR COMPENSATOR TERHADAP PROFIL TEGANGAN PADA PENYULANG NEUHEN

Alkindi<sup>#1</sup>, Mahdi Syukri<sup>#2</sup>, Syahrizal<sup>#3</sup>

<sup>#</sup> *Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala*

*Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh, 23111, Aceh, Indonesia*

<sup>1</sup>alkindi.ibn.az@gmail.com

<sup>2</sup>mahdisyukri@yahoo.co.id

<sup>3</sup>syahrizal.ee@unsyiah.ac.id

**Abstrak**— Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik sampai ke konsumen. Pertumbuhan beban pada sistem distribusi semakin meningkat terus-menerus. Hal ini mengakibatkan bangkitnya daya reaktif induktif (positif) pada jaringan yang diikuti dengan peningkatan permintaan suplai daya reaktif kapasitif (negatif) sehingga mengakibatkan tegangan tidak konstan, dan juga mengakibatkan faktor daya berkurang sehingga terjadi rugi-rugi daya pada jaringan. Pengaturan tegangan erat kaitannya dengan pengaturan daya reaktif dalam sistem. Tegangan memiliki nilai yang berbeda-beda dalam setiap bagian sistem. Oleh karenanya pengaturan tegangan tidak dapat dilakukan pada satu bagian saja melainkan harus merata pada bagian-bagian dalam sistem yang mengalami penurunan. Kompensasi daya reaktif adalah dengan pemasangan *static VAR compensator* (SVC) dengan pemasangan SVC pada bus yang memiliki tegangan terendah. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa pemasangan SVC meningkatkan tegangan sebesar 5% dan daya aktif sebesar 4,97%.

**Kata Kunci**— Sistem distribusi, SVC, aliran daya, profil tegangan, rugi daya

## I. PENDAHULUAN

Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi serta rugi-rugi daya yang kecil. Batas toleransi yang diperbolehkan untuk suatu nilai tegangan  $\pm 5\%$ -10% dari nilai nominalnya. Nilai tegangan yang konstan akan mengoptimalkan unjuk kerja dari peralatan listrik yang digunakan oleh konsumen. Sedangkan rugi-rugi daya yang kecil akan menjaga pasokan daya listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen, serta dapat mengurangi kerugian finansial yang terjadi selama proses transmisi dan distribusi.

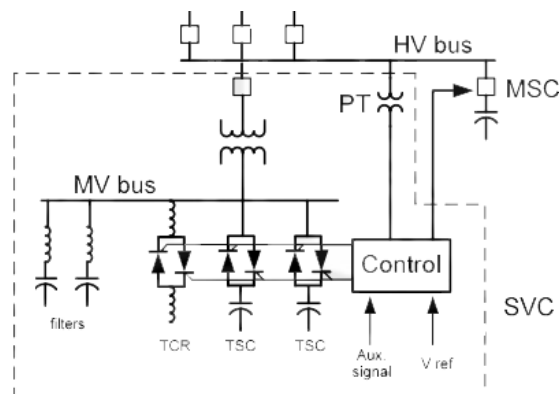
Dalam penyediaan tenaga listrik, tegangan yang konstan merupakan salah satu syarat utama yang harus dipenuhi. Pengaturan tegangan erat kaitannya dengan pengaturan daya reaktif dalam sistem. Penyulang Neuhen memiliki panjang saluran 70 km, penyulang Neuhen merupakan salah satu penyulang terpanjang di area Banda Aceh. Semakin panjang

saluran semakin besar impedansi saluran sehingga terjadi penurunan tegangan di ujung saluran. tegangan pada ujung terima adalah 18,95 kv.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Static Var Compensator

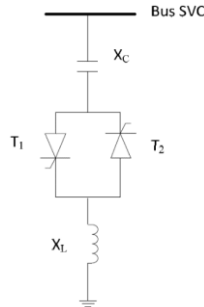
SVC (Static Var Compensator) adalah komponen FACTS (Flexible Alternating Current Transmission Systems) dengan hubungan paralel, yang fungsi utamanya untuk menyuntikkan atau menyerap daya reaktif statis yang terkendali dan dihubungkan paralel yang mempunyai keluaran (output) yang bervariasi untuk mempertahankan atau mengontrol variabel tertentu pada sistem tenaga listrik, terutama tegangan pada bus. Seperti ditunjukkan pada gambar 1 yang menjelaskan rangkaian SVC.



Gambar 1 Rangkaian static var

Prinsip kerja Static VAR Compensator (SVC) yaitu dengan cara mengatur sudut penyalan thyristor, sehingga dapat mengatur keluaran daya reaktif dari SVC. Nilai tegangan sistem merupakan input bagi pengendali, yang kemudian akan mengatur sudut penyalan thyristor.

Umumnya Jenis SVC yang digunakan dalam jaringan distribusi adalah Thyristor Switched Capacitor (TSC) karena beban jaringan distribusi pada umumnya bersifat induktif. Oleh karena itu dibutuhkan kapasitor untuk mengkompensasikan daya reaktif induktif pada jaringan. Berikut adalah merupakan gambar dari skema SVC tipe TSC.

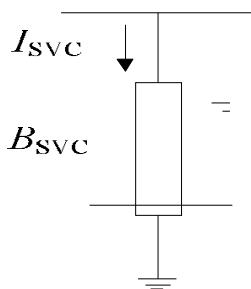


Gambar 2 Skema SVC

Pada skema SVC tipe TSC gambar 2 terdapat reaktor. Di sini reaktor tidak berfungsi sebagai kompensator, melainkan sebagai pembatas arus. Kapasitor pada SVC mengakibatkan arus sesaat (di/dt) yang sangat besar dalam bentuk *step function*. Arus yang sangat besar ini dapat merusak Thyristor. Untuk menekan arus yang sangat besar tersebut, reaktor dipasang pada SVC sebagai pembatas arus sehingga arusnya menjadi normal.

**B. Kompensasi Daya Reaktif pada SVC**

Daya reaktif kapasitif dan daya reaktif induktif akan bekerja saling meniadakan. Saat sistem bersifat induktif, saat yang sama sistem kekurangan daya reaktif kapasitif. Maka daya reaktif kapasitif diinjeksi ke sistem untuk mengimbangi beban induktif. Berikut adalah model SVC.



Gambar 3 Model SVC

Dari gambar 3 di atas arus yang ditarik oleh SVC dapat ditulis dengan persamaan :

$$I_{svc} = jB_{svc} V_k \tag{1}$$

dimana :

$B_{svc}$  = Suseptansi SVC

$V_k$  = Tegangan terminal pada bus K

Sedangkan daya reaktif yang diinjeksikan ke bus K adalah:

$$Q_K = -V_K^2 B_{svc} \tag{2}$$

Berdasarkan faktor daya, besar  $Q_{svc}$  (daya kapasitif yang disuplay oleh SVC) dapat dihitung sebagai berikut:

- kVar sebelum SVC:

$$Q_1 = P \tan \theta_1 \tag{3}$$

- kVar yang diinginkan berdasarkan PF=0.999

$$Q_2 = P \tan \theta_2 \tag{4}$$

Berdasarkan persamaan (3) dan persamaan (4) maka dapat disempurnakan nilai  $Q_{svc}$  dengan persamaan (5) dibawah berikut:

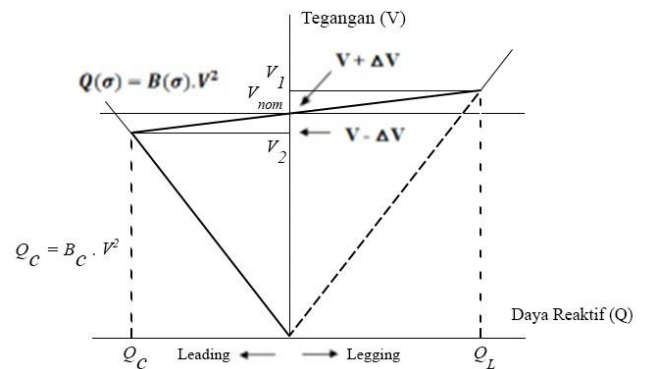
$$Q_{svc} = \theta_1 - \theta_2 \tag{5}$$

dimana

$Q_1$  = kVar sebelum SVC

$Q_2$  = kVar yang diinginkan berdasarkan PF=0.999

Kurva daya reaktif yang dihasilkan SVC terhadap tegangan bus yang dipasang SVC ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 4 Kurva daya reaktif terhadap tegangan pada SVC

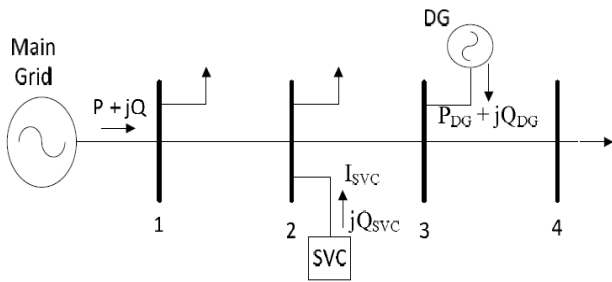
Area kerja SVC ada 3 :

- Area kerja pertama terdapat di antara V1 dan V2. Di area ini, SVC bersifat kapasitif atau induktif. Daya reaktif yang dihasilkan berubah-ubah sesuai kebutuhan sistem.
- Area kerja kedua, bila tegangan bus melebihi V1. Di area ini SVC memiliki karakteristik induktif. Daya reaktif yang dihasilkan berubah-ubah sesuai kebutuhan sistem
- Area kerja ketiga bila tegangan kurang dari V2. Di area ini SVC hanya berfungsi sebagai fixed capacitor saja.

**C. Pengaruh SVC pada Persamaan Aliran Daya**

SVC yang telah dipasang pada jaringan distribusi akan menginjeksi atau mengabsorpsi daya reaktif ke tau dari sistem. Dengan demikian, pemasangan SVC memberikan pengaruh terhadap aliran daya jaringan distribusi tersebut, yaitu dengan penambahan ke sistem atau pengurangan dari

sistem daya reaktif sebesar  $Q_k$ . Gambar 5 merupakan contoh kasus pemasangan SVC pada jaringan distribusi sistem 4 bus.



Gambar 5 Diagram satu garis jaringan distribusi 4 bus dengan SVC

Untuk mendapatkan nilai daya dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$P_i - jQ_i = V_i^* (\sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k + B_{SVC} V_i) \quad (6)$$

Sementara, untuk nilai tegangan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (7).

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}} [-\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k] \quad (7)$$

### III. METODE PENELITIAN

Dalam melakukan sebuah penelitian diperlukan adanya metode yang sistematis sehingga penelitian dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Penulis menggunakan metode seperti gambar 6.

Prosedur penelitian dilakukan dalam beberapa tahap diantaranya, studi literatur, mengumpulkan data saluran penyulang neuhun di PLN, melakukan pemodelan di ETAP, kemudian melakukan perbandingan antar simulasi memakai SVC dengan tanpa pakai SVC.

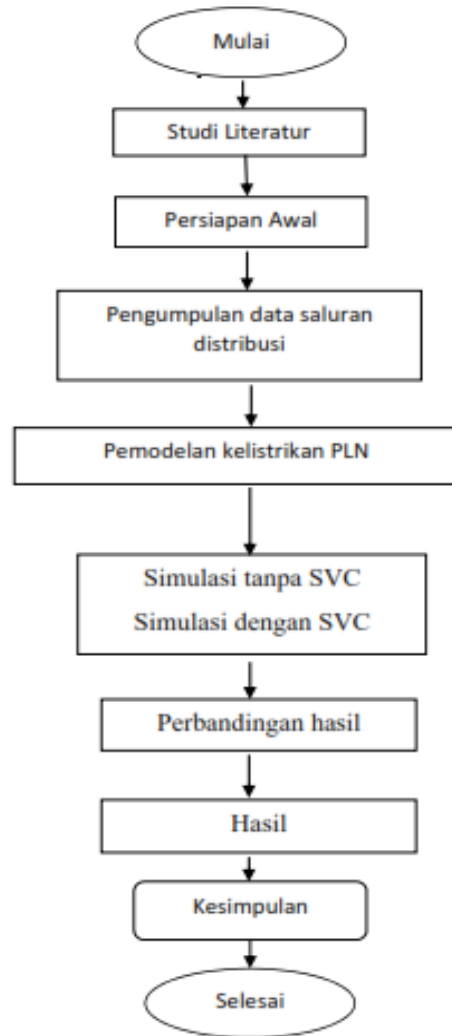
Penulis memodelkan suatu pemodelan kelistrikan *one line* diagram penyulang Neuhen melalui simulasi dengan merancang menggunakan sistem software ETAP 12.6.0. Data-data yang diperoleh dimasukkan pada saat pemodelan simulasi *one line* diagram. Data-data tersebut meliputi data penyulang, beban, trafo, bus, dan konduktor (tipe, impedansi, dan panjang saluran konduktor). Kemudian dilakukan sebuah simulasi studi aliran daya pada simulasi ini. Dengan melakukan simulasi akan diperoleh nilai aliran daya pada penyulang Neuhen.

Tabel 1 menunjukkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

TABLE I  
ALAT DAN BAHAN

No	Nama Bahan	Jumlah
1	PC	1
2	Software ETAP 12.6	1
3	Data saluran penyulang Neuhen	1

Adapun metode yang digunakan untuk mengolah data dalam penelitian ini terlihat pada gambar 7. Pada tahapan ini simulasi aliran daya yang dilakukan menggunakan metode Newton Rapshon. Metode ini merupakan salah satu metode aliran daya yang terdapat pada simulasi ETAP. Metode Newton Rapshon merupakan metode yang cocok untuk menyelesaikan aliran daya jaringan radial. Analisa yang dilakukan adalah membandingkan simulasi tegangan dan rugi-rugi daya pada saat sebelum dan setelah pemasangan SVC.



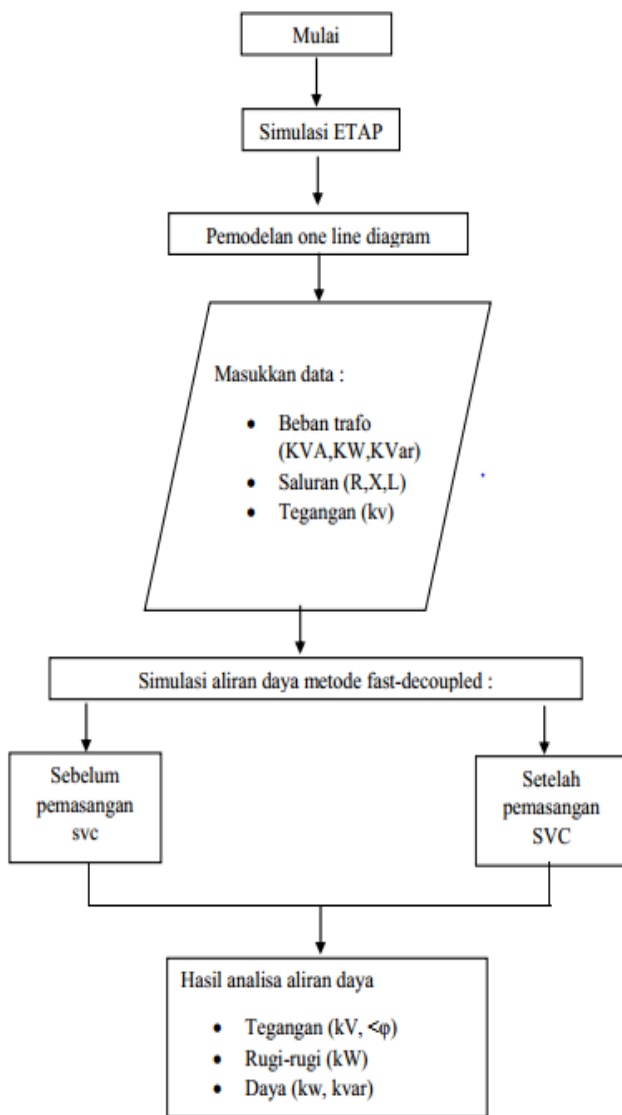
Gambar 6 Diagram alir penelitian

Pemodelan simulasi ini memiliki 2 kondisi yang berbeda yaitu simulasi aliran daya dasar tanpa pemasangan SVC dan simulasi dengan pemasangan SVC. Simulasi aliran daya yang digunakan keempat kondisi itu menggunakan metode *fast-decoupled*. Berikut adalah metode yang digunakan untuk perbaikan profil tegangan:

- Simulasi tanpa pemasangan SVC pada penyulang Neuhen. Beban yang diasumsikan pada simulasi ini berbeban seimbang. Penelitian penyulang Neuhen dilakukan dikarenakan jarak penyulang yang panjang

dari pusat pembangkit. Maka dari itu kondisi aliran beban yang dimiliki penyulang memiliki penurunan tegangan.kondisi yang dilihat pada simulasi ini yaitu profil tegangan, dan rugi-rugi daya pada saluran penyulang Neuhen

- Simulasi aliran daya dengan pemasangan SVC di penyulang Neuhen. Pemasangan SVC di lakukan pada bus yang memiliki tegangan paling rendah. Besar daya reaktif yang disuntikkan oleh SVC ditentukan dengan menggunakan persamaan 3.



Gambar 7 Flowchart analisa aliran daya metode Newton Raphsol

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Hasil Simulasi Dengan Menggunakan ETAP Sebelum Pemasangan SVC

Penyulang Neuhen merupakan saluran yang terpanjang di Aceh Besar yang memiliki panjang saluran sekitar 70 KM. panjang tersebut dimulai dari GH Krueng Cut hingga Desa

Leungah, Aceh Besar. Jumlah trafo yang dimiliki pada penyulang tersebut berjumlah 37 trafo. Total beban daya yang dimiliki pada penyulang tersebut 647 kVA. Gambar 8 merupakan pemodelan dari *one line* diagram data PLN yang digambarkan pada *software* ETAP. Gambar 8 hanya memiliki 18 bus. Ujung bus 18 merupakan penggabungan dari beban dari KRY 22 sampai dengan KRY 037. Penggabungan ini agar memudahkan penelitian untuk memantau dan menganalisa. Aliran daya dari gambar 8 dapat dilihat pada table 2.

TABEL II  
ALIRAN DAYA SEBELUM PEMASANGAN SVC

No	ID Bus	Aliran daya		
		P (kW)	Q (kVar)	V (kV)
1	Bus 001	577	226	19.749
2	Bus 002	551	227	19.756
3	Bus 003	539	221	19.729
4	Bus 004	4.00	-0.1	19.728
5	Bus 005	-482	-199	19.685
6	Bus 006	-10	-5.00	19.697
7	Bus 007	519	215	19.697
8	Bus 008	-15	-8	19.657
9	Bus 009	471	193	19.659
10	Bus 010	2	-3	19.659
11	Bus 011	444	188	19.618
12	Bus 012	428	183	19.609
13	Bus 013	418	178	18.990
14	Bus 014	411	228	18.983
15	Bus 015	13	7	18.983
16	Bus 016	306	170	18.978
17	Bus 017	99	55	18.977
18	Bus 022	188	104	18.975

##### B. Hasil Simulasi Dengan Menggunakan ETAP sesudah Pemasangan SVC

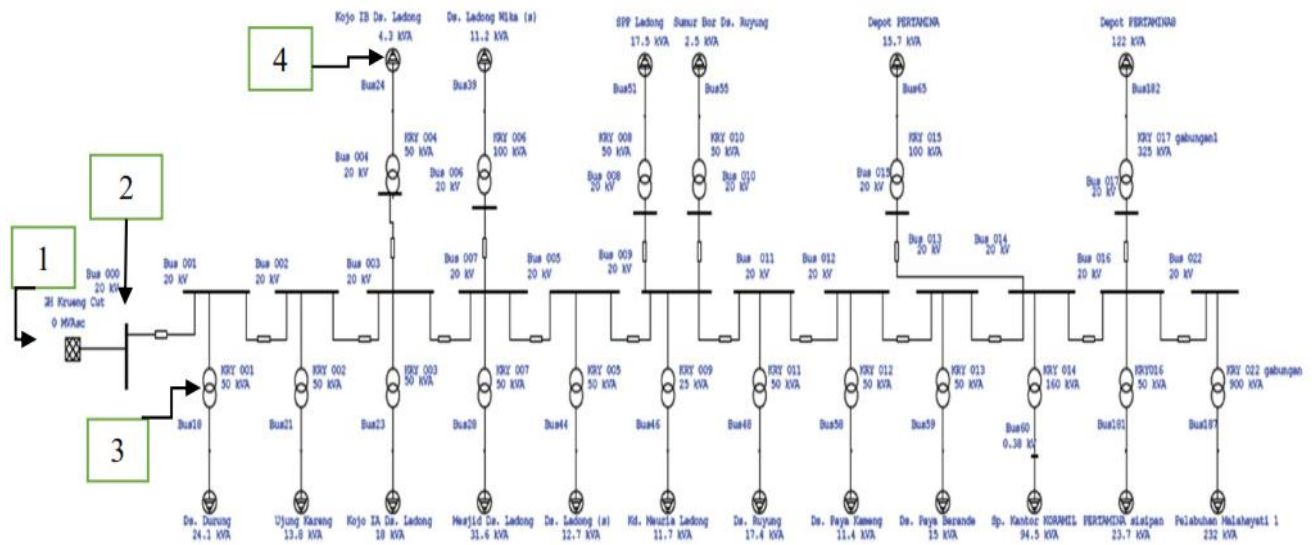
Gambar 9 merupakan hasil pemodelan *one line* diagram penyulang Neuhen setelah penambahan SVC dengan rating  $Q_c = 200$  kVar yang disimulasikan dengan *software* ETAP. Penempatan SVC dilakukan pada bus 22 dikarenakan bus 22 memiliki nilai jatuh tegangan terbesar yaitu 18.975 kV. Adapun hasil simulasi yang dikeluarkan pada simulasi ETAP terdapat pada tabel 3.

##### C. Perbandingan Hasil Simulasi

Hasil yang didapat dari pada table 3 merupakan nilai jatuh tegangan dari setiap bus. Tabel 4 menunjukkan keadaan tegangan pada jaringan distribusi pada penyulang Neuhen. Terdapat 2 keadaan pada hasil data tersebut yaitu profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan SVC pada bus 22. Terjadi perbaikan tegangan yang signifikan mulai dari bus pertama hingga bus terakhir.

Nilai profil tegangan sebelum penambahan SVC pada bus 22 adalah 18,975 kV, sedangkan keadaan tegangan setelah pemasangan SVC bernilai 19,987 kV. Terjadi

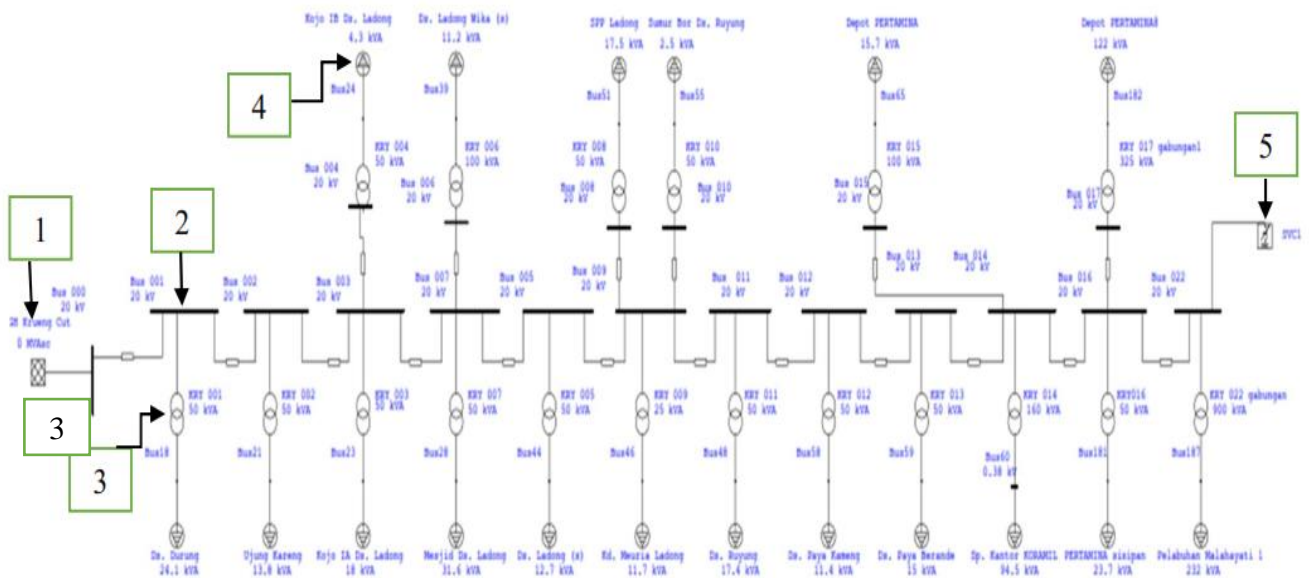
perbaikan tegangan sebesar 1,012 kV atau 5,33%. Gambar 10 adalah grafik perbandingan profil tegangan.



Keterangan :

1. Grid Krueng Cut 20KV
2. Bus
3. Trafo
4. Beban

Gambar 8 Single line sebelum pemasangan SVC



Keterangan :

1. Grid Krueng Cut 20KV
2. Bus
3. Trafo
4. Beban
5. SVC (Static Var Compensator)

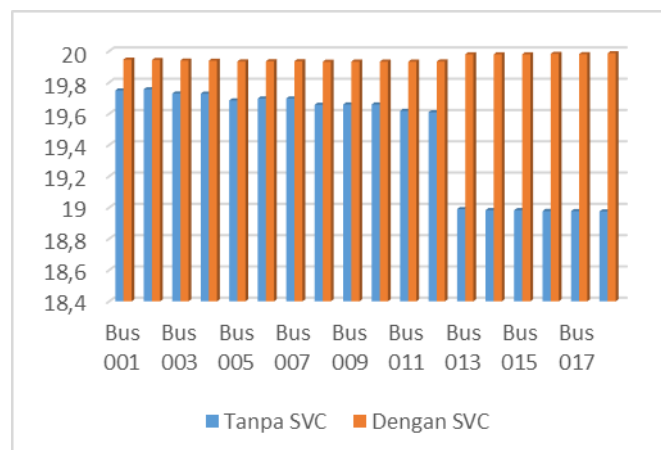
Gambar 9 Single line sesudah pemasangan SVC

TABLE III  
ALIRAN DAYA SESUDAH PEMASANGAN SVC

No	ID Bus	Aliran daya		
		P (kW)	Q (kVar)	V (kV)
1	Bus 001	643	-612	19.946
2	Bus 002	610	-615	19.944
3	Bus 003	598	-622	19.940
4	Bus 004	4	-1	19.939
5	Bus 005	-538	646	19.934
6	Bus 006	-10	-5	19.935
7	Bus 007	577	-628	19.935
8	Bus 008	-15	-8	19.932
9	Bus 009	527	-652	19.933
10	Bus 010	2	-3	19.933
11	Bus 011	466	-711	19.933
12	Bus 012	481	-664	19.934
13	Bus 013	470	-669	19.980
14	Bus 014	424	-641	19.980
15	Bus 015	14	9	19.980
16	Bus 016	329	-694	19.983
17	Bus 017	106	59	19.981
18	Bus 022	202	-764	19.987

TABLE IV  
DATA HASIL PERBANDINGAN

No	ID Bus	Aliran Daya			
		Sebelum		Sesudah	
		V (kV)	P (kW)	V (kV)	P (kW)
1	Bus 001	19.749	577	19.946	643
2	Bus 002	19.756	551	19.944	610
3	Bus 003	19.729	539	19.940	598
4	Bus 004	19.728	4.00	19.939	4
5	Bus 005	19.685	-482	19.934	-538
6	Bus 006	19.697	-10	19.935	-10
7	Bus 007	19.697	519	19.935	577
8	Bus 008	19.657	-15	19.932	-15
9	Bus 009	19.659	471	19.933	527
10	Bus 010	19.659	2	19.933	2
11	Bus 011	19.618	444	19.933	466
12	Bus 012	19.609	428	19.934	481
13	Bus 013	18.990	418	19.980	470
14	Bus 014	18.983	411	19.980	424
15	Bus 015	18.983	13	19.980	14
16	Bus 016	18.978	306	19.983	329
17	Bus 017	18.977	99	19.981	106
18	Bus 022	18.975	188	19.987	202



Gambar 10 Grafik perbandingan

## V. KESIMPULAN

SVC yang digunakan adalah TSC (*Thyristor Switch Control*) dikarenakan penyulang Neuhren adalah jaringan distribusi. Beban jaringan distribusi tersebut bersifat induktif sehingga dibutuhkan daya reaktif kapasitif dari TCS.

Pemasangan *Static Var Compensator* (SVC) pada penyulang Neuhren menyebabkan pengurangan nilai jatuh tegangan pada setiap bus.

Besar nilai perbaikan tegangan yang dilakukan oleh SVC pada penyulang Neuhren adalah sebesar 1,012 kV atau 5%. Ini merupakan dampak positif terhadap kualitas tegangan di penyulang Neuhren.

Setelah pemasangan SVC terjadi peningkatan daya aktif tertinggi senilai 14,90%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT. Ucapan terimakasih banyak kepada orang tua penulis yang telah memberi dukungan dan motivasi. Kemudian terimakasih kepada dosen pembimbing akademik, Bapak Ramzi Adrima, S.T.,M.Sc yang telah memberi bimbingan selama proses perkuliahan kemudian kepada pembimbing tugas akhir, Bapak Mahdi Syukri, S.T.,M.T dan pembimbing 2 Bapak Ir. Syahrizal, M.T yang telah membimbing dan membantu dalam penyempurnaan karya ilmiah ini.

## REFERENSI

- [1] Abdul Kadir, *Distribusi dan Utilasi Tenaga listrik*, Universitas Indonesia, Cetakan Pertama, 2001
- [2] William D. Stevensen Jr, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Erlangga, Jakarta, 1984
- [3] Kishor Porate, K.L.Thakre and G.L.Bodhe, "Voltage stability enhancement of low voltage radial distribution network using static var compensator: a case study", WSEAS Transaction on power systems vol4, no.1, 2009.
- [4] Abdul Hadi, Ir. As Pabla, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Erlangga, Cetakan Pertama, 1994.
- [5] Mark Ndubuka NWOHU, "Voltage stability improvement using static var compensator in power systems" London jurnal of sciences, 14 januari 2009

- [6] Taylor Carson W., "Power System Operation Voltage Stability", McGraw-Hill, Singapore, 1994
- [7] Liliana.Syafutra , "penempatan SVC pada jaringan distribusi dengan ETAP,
- [8] arya wiguna B, "Penempatan SVC Untuk Memperbaiki Profil Tegangan Pada Jaringan Transmisi PLN Lampung" Jurnal ELTEK vol. 3,no.1, april 2012