

Studi Pemasangan Step Voltage Regulator dengan Model Injeksi Daya pada Jaringan Menengah 20 KV Penyulang Katu Gardu Induk Menggala

Binsar Daniel Sandi¹, Lukmanul Hakim², Herri Gusmedi³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

¹sandidaniel.09@gmail.com

²plgsekip@eng.unila.ac.id

³herri.gusmedi@eng.unila.ac.id

Intisari---Penyulang Katu GI Menggala PT. PLN (Persero) Distribusi Lampung memiliki panjang saluran sekitar 158 km dengan maksimum beban yang terukur dari GI Menggala sekitar 4,6 MW dan terdiri dari 119 Bus. Kondisi ini mengakibatkan penyulang ini mengalami profil tegangan yang melanggar ketentuan +/- 5% sebagaimana yang dinyatakan dalam Aturan Penyambungan atau *Grid Code*. Untuk memperbaiki kondisi ini, salah satunya adalah dengan pemasangan *step voltage regulator*. Dalam penelitian ini, SVR dimodelkan sebagai injeksi daya yang kemudian dikombinasikan dengan persamaan aliran daya. SVR yang dijadikan obyek dalam penelitian ini adalah dari Type B dimana pemasangan SVR Type B dipasang di dekat sumber. Metode analisa aliran daya yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Newton-Raphson. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan tegangan akibat kontrol yang dilakukan oleh SVR. Sebelum pemasangan SVR, tegangan pada Bus 5 Penyulang Katu adalah 16,9828 kV. Setelah pemasangan SVR, terdapat peningkatan sebesar 1,3837 kV sehingga menjadi 18,3665 kV. Namun demikian, pemasangan SVR saja belum dapat memperbaiki profil tegangan secara keseluruhan akibat terlalu jauhnya drop tegangan di Penyulang Katu ini. Sehingga posisi tap maksimum SVR tidak mampu mengkompensasi tegangan yang jauh di bawah 0.95 p.u. yang terjadi di Penyulang Katu. Hasil perhitungan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang dikembangkan sendiri dan dibandingkan dengan perangkat lunak komersil yaitu ETAP. Selisih hasil perhitungan berada dalam kisaran 0.0108%.

Kata kunci---aliran daya, *step voltage regulator*, tegangan jatuh , tap SVR .

Abstract---Katu feeder of GI Menggala PT. PLN (Persero) Distribusi Lampung is about 158 km length with a maximum measured load from GI Menggala of about 4.6 MW and consists of 119 Buses. These conditions make the feeder suffers voltage profile that violates the limit of +/- 5% as stated in the Connection Code or the Grid Code. In order to correct this condition, installation of a step voltage regulator (SVR) is required. In this thesis, the SVR is modeled as a power injection and combined into the power flow equations. SVR of this research is of Type B where installation this type of SVR is near the source. Power flow analysis method used in this research is the Newton-Raphson method. The results showed an increase in voltage due to the control exercised by the SVR. Before mounting SVR, the voltage on Bus 5 of feeder Katu is 16.9828 kV. After SVR installation, the voltage becomes 18.3665 kV. However, the installation of SVR alone can not fix the overall voltage profile due to the large voltage drop along this feeder although the SVR was set to maximum tap position. The result of the calculation is done by using a self-developed software and compared to a commercial software i.e. ETAP. The difference in calculation results are within the range of 0.0108%.

Keywords---power flow, *step voltage regulators*, voltage drop, tap SVR.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Proses penyaluran tenaga listrik terdiri dari tiga komponen utama yaitu pembangkit, penghantar dan beban. Sistem transmisi berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari unit pembangkit menuju lokasi sistem distribusi yang pada akhirnya akan menyuplai beban[1]. Saluran transmisi mencatu gardu induk dimana tegangan diturunkan menjadi tegangan distribusi primer. Jaringan distribusi primer mencatu pelanggan tegangan menengah 20 KV. Kemudian tegangan diturunkan menjadi 380/220 V, jaringan yang melayani pengguna pada tegangan rendah ini merupakan jaringan distribusi sekunder [2].

Kualitas tegangan akhir suatu jaringan berdasarkan aturan (SPLN) sebesar -10% dan +5% dari tegangan nominal. Rugi – rugi daya dan jatuh tegangan akan mempengaruhi kualitas tegangan di sepanjang saluran. Impedansi saluran berasal dari kabel penghantar, semakin panjang dan semakin kecil isolasi maka akan semakin besar impedansi saluran tersebut. Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Semakin besar impedansi saluran maka semakin besar juga jatuh tegangan.

Penyaluran tenaga listrik saluran distribusi di daerah mengharuskan penggunaan kabel penghantar menjadi sangat panjang. Distribusi menggal memerlukan penghantar sepanjang 30 Km lebih untuk meyambungkan sumber listrik dengan beban pertama. Kualitas tegangan listrik yang sampai ke konsumen harus memenuhi persyaratan minimal tegangan dikatakan baik, maka diperlukan peralatan perbaikan tegangan yang bekerja untuk meningkatkan kualitas tegangan sehingga dapat dikatakan

stabil [3]. Beberapa peralatan perbaikan tegangan yang dapat digunakan di dalam saluran seperti kapasitor, *step voltage regulator* (svr), *static VAR compensator* (svc), dll. Pemilihan penggunaan svr di dalam saluran berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan di dalam saluran distribusi dengan perubahan tegangan maksimal 2 kV. Simulasi dilakukan menggunakan program unila *power flow* (*unilapf*) dengan menambahkan model svr di dalam program tersebut.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- 1) Menerapkan model injeksi daya pada *step voltage regulator* untuk analisis aliran daya
- 2) Menerapkan svr pada analisis aliran daya di penyulang katu GI menggal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Pustaka

1) *Step Voltage Regulator* (SVR)

Regulator tegangan adalah perangkat yang menjaga tegangan distribusi dalam rentang tertentu dari nilai yang telah ditetapkan. Regulator tegangan digunakan oleh peralatan listrik untuk meminimalkan drop tegangan dan untuk memastikan bahwa tegangan yang tepat diberikan kepada pelanggan[4]. Jatuh tegangan adalah salah satu kendala di dalam jaringan distribusi. Untuk meminimalisir jatuh tegangan diperlukan peralatan pengatur tegangan seperti *step voltage regulator* . SVR berfungsi mengkompensasi jatuh tegangan dengan injeksi daya ke dalam saluran. Penggunaan *step voltage regulator* ditujukan untuk menaikkan kualitas tegangan dan

mengurangi rugi – rugi di sepanjang saluran distribusi.

Pada saluran distribusi konstruksi *step voltage regulator* terdiri dari 1 fasa dan 3 fasa. Penggunaan *step voltage regulator* berdasarkan kebutuhan di dalam saluran akan ditambahkan pada 3 fasa ataupun hanya 1 fasa. Kapasitas SVR pada 1 fasa berkisar dari 25 – 400 kVA dan untuk 3 fasa berkisar dari 500 – 2000 kVA atau lebih [5]. Gambar 1 memperlihatkan bentuk dari *step voltage regulator*.



Gbr. 1. *Step Voltage Regulator*

✓ Fungsi dan Kegunaan SVR

Step voltage regulator adalah salah satu peralatan pengatur tegangan. SVR sebuah autotransformator yang memiliki beberapa tap di dalam setiap belitan dengan fungsi mekanisme pengubah tap beban (*load tap changing*) [6]. Perubahan tegangan didapat dengan mengubah tap dari belitan seri pada autotransformator. Fungsi dari SVR yaitu mengkompensasi injeksi daya akibat tegangan jatuh di saluran dengan bantuan pengubah tap untuk menjadikan tegangan yang diperbantukan menjadi lebih baik. Standar *step regulator* sesuai dengan ketentuan $\pm 10\%$ dari batasan regulator (*regulator range*), terdiri dari 32 *step* (16 *raise* dan 16 *lower*), perubahan untuk setiap *step* sama dengan 5/8 % dan 10/16 % atau 0,125 kV / 125 V dalam tegangan nominal 20 kV[6]

Gambar 2 memperlihatkan bentuk dari indikator posisi SVR.



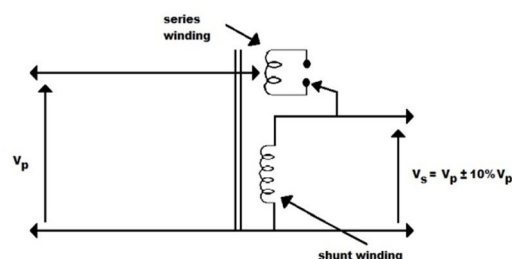
Gbr. 2. Indikator Posisi Tap SVR

✓ Jenis *Step Voltage Regulator*

Salah satu produsen *step voltage regulator* “Cooper Power Systems” membagi SVR menjadi 2 jenis yaitu jenis A dan Jenis B[7]. Sebagai contoh penggunaan SVR pada sistem distribusi tenaga menggunakan jenis B. Perbedaan diantara 2 jenis tersebut yaitu :

➤ Jenis A

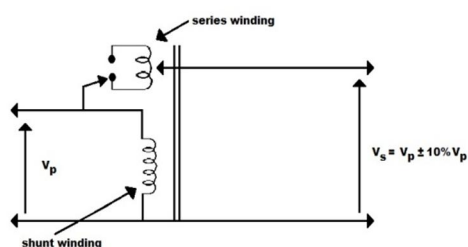
Jenis A *step voltage regulator* adalah jenis yang digunakan pada area yang menggunakan frekuensi 60 Hz. Penggunaan jenis A bertujuan untuk mengkompensasi jatuh tegangan di bagian penerima. Di dalam setiap jenis dari *step voltage regulator* terdiri dari *raise step* dan *lower step*. Pada jenis A posisi dari belitan seri dan belitan shunt berada di sisi sekunder atau pada posisi penerima. Gambar 3 menunjukkan rangkaian SVR untuk jenis A.



Gbr. 3. *Step Voltage Regulator* jenis A [10]

➤ Jenis B

Step voltage regulator jenis B dapat digunakan di sistem kelistrikan Indonesia dikarenakan jenis B menganut penggunaan frekuensi 50 Hz. Penggunaan jenis B ditujukan untuk mengkompensasi jatuh tegangan mendekati sumber, sehingga diharapkan kualitas tegangan yang masuk ke konsumen menjadi lebih baik. Untuk penggunaan SVR jenis B pun sama dengan jenis A yang mana terdiri dari *raise step* dan *lower step*. Gambar 4 menunjukkan rangkaian *step voltage regulator* untuk jenis B. Di bawah ini adalah rangkaian *step voltage regulator* jenis B :



Gbr. 4. Step Voltage Regulator jenis B [10]

2) Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai SVR sebelumnya sudah pernah dibahas oleh William H. Kersting (*Distribution System Modeling and Analysis*, 2001), kemudian oleh Mancheol Shin, Chulwoo Park, Jaesung Jung, Kernjoong kim dan Seongmin So dalam paper (*Nodal Admittance Modeling of Three Phase Step Voltage Regulators and Their Applications*, 2013), dan oleh Rahardjo dalam paper (*Justification on the Applications of Automatic Voltage Regulator and Capacitor on Long Medium Voltage Distribution Feeders*, 2002, IEEE).

Penelitian ini berjudul “Studi Pemasangan *Step Voltage Regulator* dengan Model Injeksi Daya pada Jaringan Menengah 20 kV Penyulang Katu Gardu Induk

Menggala PT. PLN (Persero) Distribusi Lampung”. Dilakukan pemodelan SVR dengan menggunakan software *python*, yang mana penelitian ini menyempurnakan komponen voltage regulator di dalam program *python* “*Unila Optimal Power Flow*”. Penelitian tersebut sebelumnya sudah dimulai oleh saudara Muhamad Wahidi, S.T dengan judul “Analisa Aliran Daya Tiga Fasa Tak Seimbang pada Penyulang Kangkung PT. PLN Distribusi Lampung”[11].

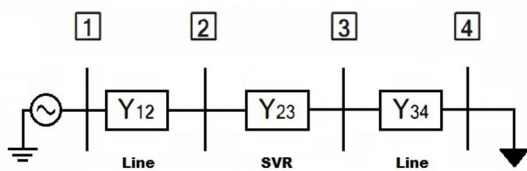
Di dalam buku oleh William H. Kersting dipaparkan mengenai penjelasan tentang *step voltage regulator* seperti prinsip kerja SVR jenis A dan B, perbedaan antara SVR jenis A dan B, dan mengenai nilai rasio belitan yang digunakan. Dari berbagai referensi paper yang penulis perhatikan bahwa para penelitian yang sudah dilakukan mengacu kepada William H. Kersting sebagai dasar teori mengenai *step voltage regulator*[6].

Di dalam paper “*Nodal Admittance Modeling of Three Phase Step Voltage Regulators and Their Applications*”, dimodelkan *step voltage regulator* di dalam hubungan 1 fasa dan hubungan 3 fasa, kemudian di dalam paper tersebut dijelaskan ketika *step voltage regulator* dihubungkan dalam hubung Y, hubung *close delta* dan hubung *open delta*. Di dalam paper ini peneliti tersebut menggunakan jenis B dalam posisi *raise*. Peneliti tersebut meneliti SVR jenis B dikarenakan jenis B adalah jenis SVR yang diperuntukkan dengan cakupan *international* yang mana umumnya menggunakan frekuensi 50 Hz, dengan menempatkan posisi SVR mendekati sumber tenaga. Posisi *raise* dipilih karena posisi tersebut dapat menaikkan nilai tegangan. Peneliti tersebut juga melakukan kalkulasi pengontrolan SVR di dalam aliran daya menggunakan metode *Implicit Zbus* (IZ)[8].

Kemudian, di dalam paper “*Justification on the Applications of Automatic Voltage Regulator and Capacitor on Long Medium Voltage Distribution Feeders*” diteliti tentang *automatic voltage regulator* dan *capacitor* sebagai peralatan perbaikan tegangan untuk memperbaiki kualitas daya dan mengurangi rugi – rugi yang ada di saluran. Merepresentasikan model *AVR* di saluran distribusi tegangan menengah, model *AVR* ketika ditempatkan di bus sumber dan bus terima. Terdapat contoh pengaplikasian *AVR* dengan beban *constan power* dan *constant impedance* serta pengaplikasian *capacitor* dengan beban *constan power* dan *constant impedance*. Peneliti tersebut mencari hasil keefektifan dari penggunaan kedua peralatan perbaikan tegangan itu[5].

✓ Model Admitansi

Menurut William H. Kersting, dikarenakan nilai impedansi seri dan nilai admitansi shunt dari *SVR* terlalu kecil, nilai admitansi *SVR* akan diabaikan di dalam rangkaian equivalent[6]. Gambar 5 menunjukkan admitansi di sepanjang saluran 4 bus, perlu diperhatikan bahwa admitansi tersebut adalah admitansi saluran.

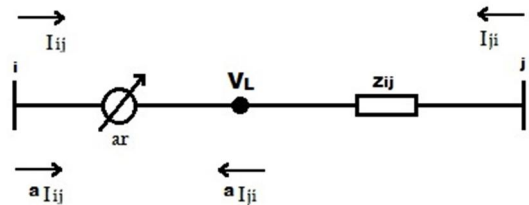


Gbr. 5. Model Admitansi *step voltage regulator* di saluran[8]

Y_{12} , Y_{34} adalah admitansi dari saluran. Y_{23} adalah admitansi dari *SVR* namun dikarenakan nilai admitansi sendiri sangatlah kecil sehingga kemudian nilai admitansi dari *step voltage regulator* dapat diabaikan [9].

✓ Model Injeksi

Di dalam penelitian *SVR* dimodelkan pada jaringan distribusi. Gambar 6 memperlihatkan pemodelan letak *SVR* jika dipasang pada jaringan distribusi. Konstruksi *SVR* umumnya terdiri dari 3 *SVR* yang mewakili tiap fase.



Gbr. 6. Model Injeksi *SVR* pada jaringan

Pada gambar 6 posisi a_r (*SVR*) ditempatkan antara bus i dan bus j sedangkan Z_{ij} tersebut adalah impedansi dari saluran. I_{ij} adalah arah arus dari bus i ke bus j dan I_{ji} adalah arah arus dari bus j ke bus i .

Dengan menambahkan *SVR* maka persamaan aliran daya akan mengalami perubahan, seperti terlihat pada persamaan dibawah ini:

Persamaan aliran daya sebelum penambahan *step voltage regulator*:

$$S_i = V_i \cdot I_i^* \tag{1}$$

$$S_i = P_i + jQ_i \tag{2}$$

Dengan menambahkan fungsi *SVR* persamaan aliran daya menjadi :

$$S_i = S_i(normal) + \Delta S_{ij}(dengan\ SVR) \tag{3}$$

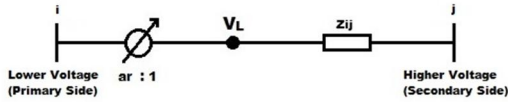
$$\Delta S_{ij} = \Delta P_{ij} + j\Delta Q_{ij} \tag{4}$$

Fungsi injeksi dari *step voltage regulator*:

$$\Delta P_{ij} = \sum_{j=1}^n f a_{ij} \cdot \Delta^a P_{ij} , i = 1, \dots, N \tag{5}$$

$$\Delta Q_{ij} = \sum_{j=1}^n f a_{ij} \cdot \Delta^a Q_{ij} , i = 1, \dots, N \tag{6}$$

Ketika *SVR* diasumsikan mempunyai 2 sisi (primer dan sekunder). Sisi primer berada pada tegangan yang lebih rendah dibandingkan sisi sekunder.



Gbr. 7. Model SVR dengan tegangan sisi primer lebih rendah dibandingkan dengan sisi sekunder

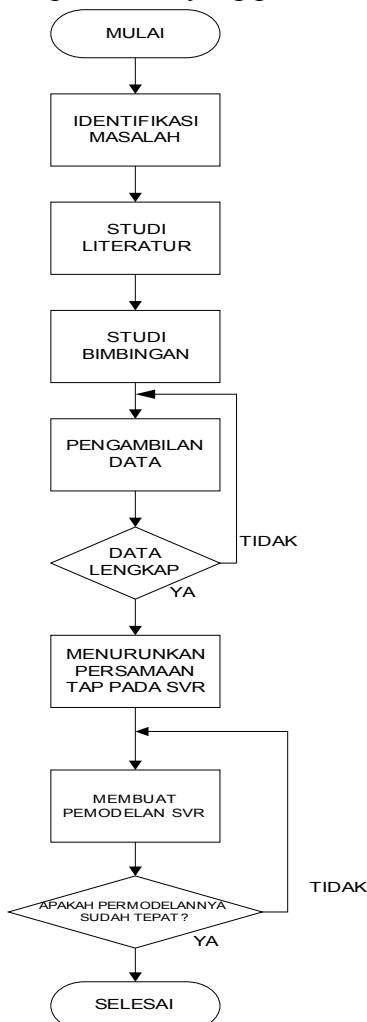
Selanjutnya persamaan diatas dimasukan ke dalam persamaan injeksi daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) :

$$P_i = P_i (\text{tanpa SVR}) + \Delta^a P_{ij} (\text{dengan SVR}) \quad (7)$$

$$Q_i = Q_i (\text{tanpa SVR}) + \Delta^a Q_{ij} (\text{dengan SVR}) \quad (8)$$

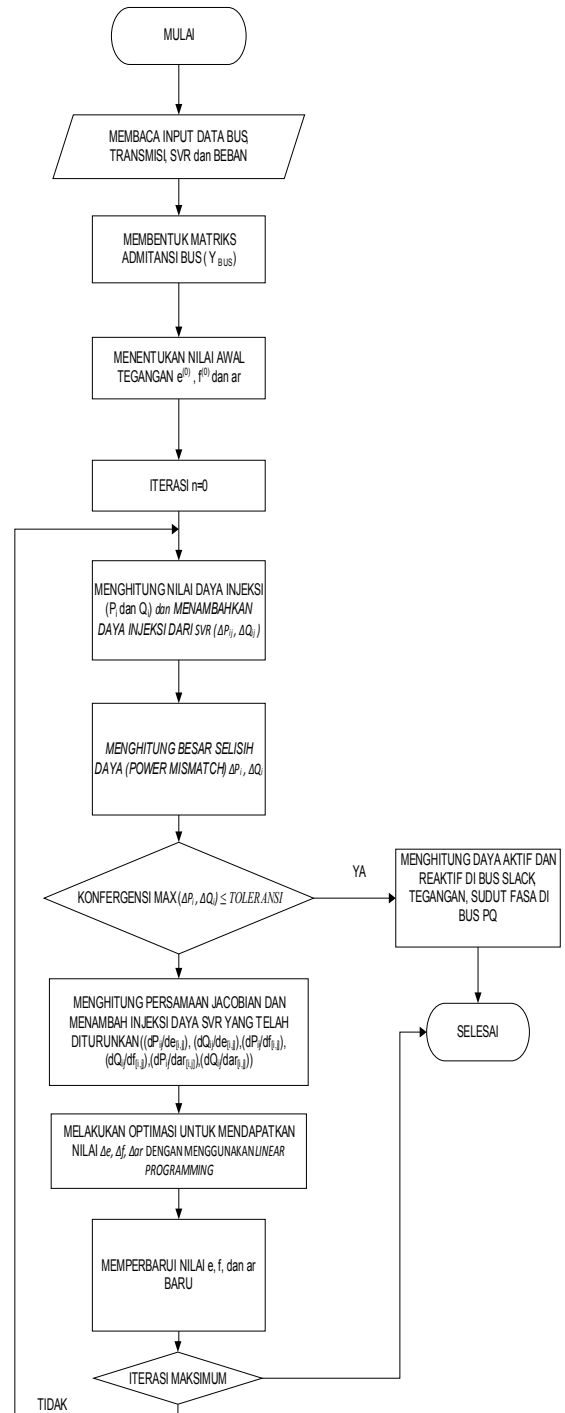
III. METODE PENELITIAN

Berikut merupakan diagram alir dari penelitian penelitian yang penulis lakukan:



Gbr. 8. Gambar diagram alir penelitian

Berikut merupakan diagram alir dari program penelitian yang penulis lakukan :



Gbr. 9. Gambar diagram alir program

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghitung kenaikan tegangan akibat penambahan *step voltage regulator* pada Penyulang Katu Gardu Induk Menggala.

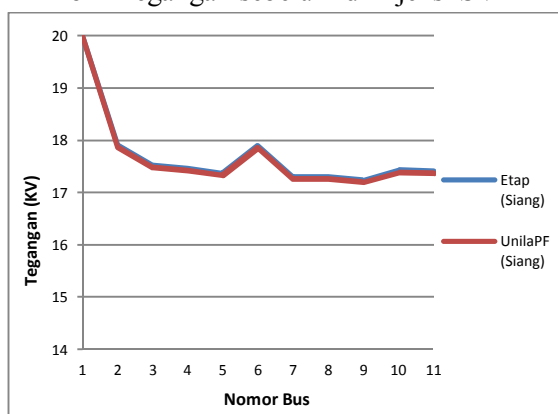
Justifikasi dilakukan di contoh kasus buatan 11 bus dan kemudian dilanjutkan pada kasus 119 bus penyulang katu.

A. Hasil Simulasi dan Pembahasan

Tahap pertama dalam melakukan simulasi adalah melakukan proses aliran daya tanpa ada penambahan SVR, dari hasil aliran daya pertama akan diketahui posisi bus dengan tegangan jatuh awal yang besar sehingga pada simulasi berikutnya dapat ditambahkan SVR dengan mengetahui posisi penempatan.

1) Profil Tegangan Sebelum di Injeksi *Step Voltage Regulator*

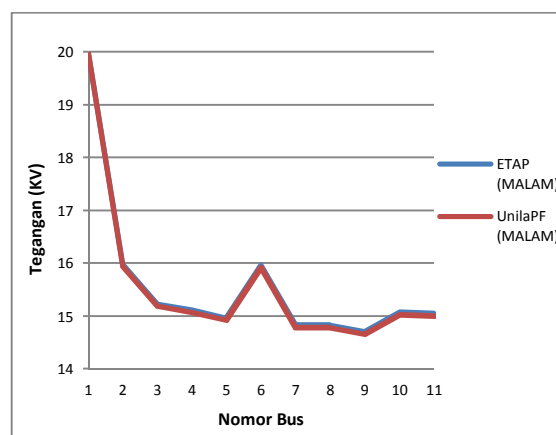
✓ Profil Tegangan sebelum di injeksi SVR



Gbr. 10. Profil Tegangan Siang 11 bus dengan *Etap* dan *Unilapf*

Simulasi awal kasus 11 bus yang dibuat untuk dijadikan justifikasi awal program. Justifikasi program dilakukan dengan membandingkan program yang menggunakan *unilapf* dengan *etap*. Saluran 11 bus ini merupakan representasi dari suatu saluran panjang yang mana di dalam saluran tersebut memiliki jarak dan beban yang beragam. Gambar 10 menunjukkan profil tegangan pembebanan siang 11 bus pada kondisi normal. Terlihat penurunan tegangan di bus ke 2 sebesar 17,906 kV (*etap*) dan 17,873 kV (*unilapf*) atau selisih 0,032 kV. Untuk nilai tegangan akhir di bus 11 pembebanan siang sebesar 17,412 kV (*etap*)

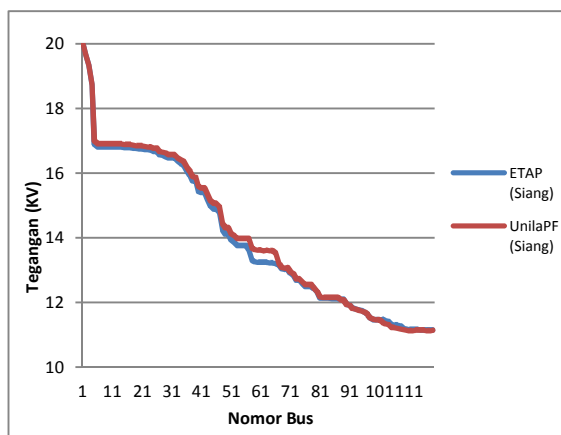
dan 17,373 kV (*unilapf*) atau selisih 0,038 kV.



Gbr. 11. Profil Tegangan Malam 11 bus dengan *Etap* dan *Unilapf*

Gambar 11 menunjukkan profil tegangan pembebanan malam 11 bus pada kondisi normal dengan menggunakan *etap* dan *unilapf*. Penurunan tegangan bus 2 sebesar 15,98 kV (*etap*) dan 15,94 kV (*unilapf*) atau selisih 0,04 kV/ 40 V. Terjadinya drop tegangan awal sebesar 4,02 kV (*etap*) dan 4,06 kV (*unilapf*). Pada tegangan akhir di bus 11 sebesar 15,042 kV (*etap*) dan 14,994 kV (*unilapf*) atau selisih 0,048 kV/ 48 V.

Dari gambar 10 dan 11 terlihat hasil antara *etap* dan *unilapf* sebelum ditambahkan SVR saling berhimpitan, itu menandakan bahwa program *Unilapf* memberikan hasil yang berkesesuaian dengan program *Etap* dengan perbedaan tegangan pada bus 2 hingga bus terakhir tidak terlalu berbeda. Dari justifikasi yang dilakukan terlihat rata-rata perbedaan antara *unilapf* dengan *etap* memiliki nilai error sebesar $\pm 0,00175$ pu atau ± 35 V, maka simulasi untuk kasus 119 bus dapat dilakukan dengan menggunakan program *unilapf* yang menjadi utama dalam penelitian ini.

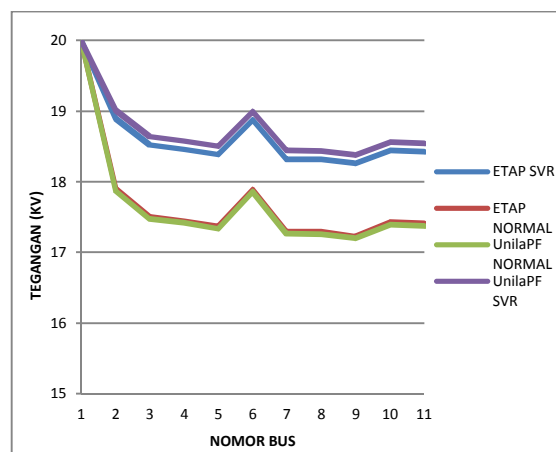


Gbr. 12. Profil Tegangan 119 Bus dengan sebelum di injeksi SVR

Gambar 12 menunjukkan profil tegangan pada penyulang katu 119 bus saat kondisi pembebanan luar waktu beban puncak (Siang Hari). Penyulang katu memiliki jarak penghantar yang terlalu panjang pada bagaian awal, maka terjadi *drop* tegangan yang besar di bus awal. Terlihat di bus 4 tegangan berada pada posisi tegangan 18,72 kV (*etap*) dan 18.741 kV (*unilapf*). Kemudian pada bus 5 tegangan di kondisi siang turun menjadi 16,893 kV (*etap*) dan 16,928 kV (*unilapf*). Kemudian pada bus 118 dan 119 tegangan ketika kondisi siang berada di posisi 11,138 kV (*etap*) dan 11,136 kV (*unilapf*). Dari hasil *unilapf* pada tegangan di bus terakhir jika dibandingkan dengan *etap* maka didapatkan *error* sebesar 0,0001.

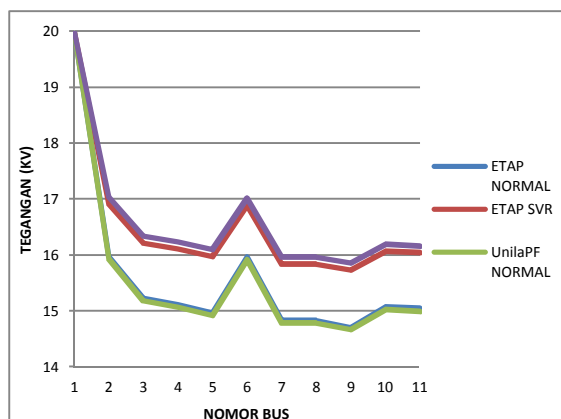
Dari gambar 12 terlihat grafik penurunan tegangan di sepanjang saluran penyulang katu menggunakan *Etap* dan *UnilaPF* saling berhimpitan, menandakan hasil normal *Etap* dan *UnilaPF* memiliki perbedaan yang kecil. Simulasi berikutnya akan ditambahkan penggunaan *SVR* di dalam saluran.

✓ Profil Tegangan sesudah di injeksi SVR



Gbr. 13. Profil Tegangan 11 Bus Kondisi Siang dalam *Etap* dan *Unilapf* dengan Tap *SVR* 0.95

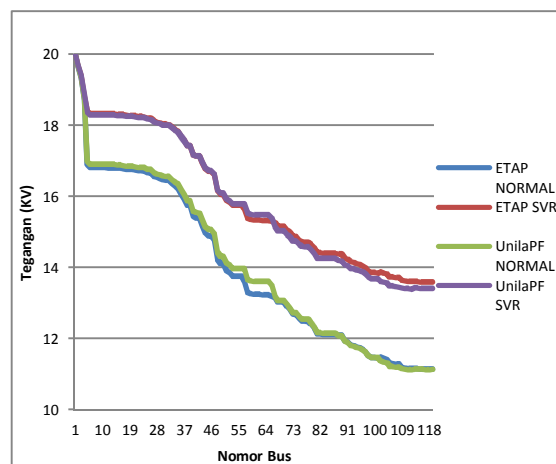
Gambar 13 menunjukkan profil tegangan setelah ditambahkan *SVR* di saluran 11 bus dengan kondisi siang dengan nilai tap *SVR* sebesar 0.95 (8/5%). Sebelum dipasang *SVR* nilai tegangan di bus 1 sebesar 20 kV mengalami penurunan tegangan di bus 2 menjadi 17,906 kV (*etap*) 17,873 kV (*unilapf*). Ketika diantara bus 1 dan bus 2 diberikan *SVR*, tegangan di bus 2 meningkat sebesar 0,987 kV (*Etap*), meningkat sebesar 1,14 kV (*UnilaPF*). Tegangan di bus 11 menggunakan *etap* meningkat sebesar 1,015 kV dan yang menggunakan *unilapf* meningkat sebesar 1,171 kV. Terlihat bahwa ada perbedaan nilai penambahan *SVR* yang dihasilkan oleh *etap* dan *unilapf* sebesar $\pm 0,1555$ kV. Kenaikan nilai oleh *etap* mempunyai rata-rata sebesar 1,0115 kV, dan kenaikan oleh *unilapf* sebesar 1,167 kV. Hasil yang didapatkan dari penggunaan *unilapf* memiliki nilai yang lebih besar dengan *etap*, terlihat nilai *error* python terhadap *etap* sebesar 0,007775.



Gbr. 14. Profil Tegangan 11 Bus Kondisi Malam dalam *Etap* dan *Unilapf* dengan Tap *SVR* 0.95

Gambar 14 menunjukkan profil tegangan setelah ditambahkan *SVR* di saluran 11 bus. dengan kondisi malam (pembebanan 80%) dengan nilai tap *SVR* sebesar 0.95 (8/5%). Sebelum dipasang *SVR* nilai tegangan di bus 1 sebesar 20 kV mengalami penurunan tegangan di bus 2 menjadi 15,98 kV (*Etap*) dan 15,940 kV (*UnilaPF*). Ketika diantara bus 1 dan bus 2 diberikan *SVR* tegangan di bus 2 dari meningkat sebesar 0, 938 kV (*Etap*), Meningkat sebesar 1,097 kV (*UnilaPF*). Tegangan bus 11 menurut *Etap* meningkat sebesar 1,00 kV dan menurut *UnilaPF* dari meningkat sebesar 1,048 kV. Terlihat bahwa ada perbedaan nilai penambahan *SVR* yang dihasilkan oleh *etap* dan *unilapf* dari 11 bus tersebut sebesar ± 0.112 kV. Kenaikan nilai oleh *etap* mempunyai rata-rata sebesar 0,900 kV, dan kenaikan oleh *unilapf* sebesar 1,053 kV. Hasil dari penggunaan *unilapf* memiliki nilai yang lebih besar dengan *etap*, terlihat nilai *error* python terhadap *etap* sebesar 0,00765 atau sebesar 0,153 kV.

Dari gambar 13 dan 14 terlihat bahwa hasil tegangan setelah di tempatkan *SVR* menurut *Etap* dan *UnilaPF* masih saling berhimpit dengan perbedaan hasil yang tidak terlampaui jauh.



Gbr. 15. Profil Tegangan 119 Bus Kondisi Siang dalam *Etap* dan *Unilapf* dengan Tap *SVR* 0.95

Gambar 15 menunjukkan profil tegangan setelah ditambahkan *SVR* di saluran 119 bus penyulang katu dengan kondisi malam dengan nilai tap *SVR* sebesar 0.95 (8/5%). Posisi penempatan *SVR* berada di antara bus 4 dan bus 5. Setelah pemasangan *SVR* tegangan di bus 5 meningkat sebesar 1,505 kV (*Etap*) dan meningkat sebesar 1,3837 kV (*UnilaPF*). Kemudian tegangan pada bus 119 meningkat sebesar 2,456 kV (*Etap*) dan meningkat sebesar 2,276 kV (*UnilaPF*). Kenaikan nilai oleh *Etap* mempunyai rata-rata sebesar 1,937 kV, dan menurut *UnilaPF* sebesar 1,783 kV. Hasil yang didapatkan dari penggunaan *UnilaPf* memiliki nilai yang lebih kecil dengan *Etap*, terlihat nilai *error* *UnilaPF* terhadap *Etap* sebesar 0,0077. Perbedaan nilai yang didapatkan dapat berasal dari perbedaan nilai resistansi saluran serta kapasitas beban *etap* dengan *unilapf*. Hasil grafik terlihat bahwa tegangan menurut *Etap* dan *UnilaPF* saling berhimpitan namun terdapat bagian yang mengalami perbedaan dengan selisih di beberapa bus.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan Analisis dan pembahasan dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut :

- 1) Studi pemasangan model *step voltage regulator* pada penyulang katu dilakukan untuk melihat perbaikan tegangan oleh *SVR* di dalam suatu penyulang, maka dari itu sebelumnya perlu dilakukan justifikasi program dengan menyandingkan hasil program unilapf dengan program *etap* yang sudah umum digunakan.
- 2) Justifikasi awal kasus 11 bus dengan penempatan *SVR*, ditambahkan *SVR* diantara bus 1 dan bus 2 . Hasil penggunaan unilapf berhasil menaikkan tegangan sebesar 1,14 kV dari 17,873 kV hingga 19,013 kV. Untuk pembebanan malam, hasil penggunaan unilapf berhasil menaikkan tegangan sebesar 1,097 kV dari 15,94 kV naik hingga 17,037 kV.
- 3) Dengan penambahan *SVR* pada penyulang katu 119 bus menggunakan hasil unilapf didapatkan tegangan di bus 5 jenis pembebanan siang mengalami kenaikan dari 16,982 kV hingga 18,366 kV atau berhasil menaikkan sebesar 1,384 kV.
- 4) Dari hasil simulasi, dilampirkan bahwa sebelum dan sesudah penambahan *SVR* di penyulang katu nilai tegangan sesudah ditambahkan *SVR* lebih baik dibandingkan tidak ditambahkan *SVR* seperti ditunjukkan pada kesimpulan nomor 1 dan 2.
- 5) Tap *SVR* 8/5% adalah tap yang digunakan berjumlah 8 langkah dengan kenaikan maksimal 5% dari tegangan nominal (20 kV) yaitu sebesar 1 kV.

Pada penelitian ini kenaikan tegangan bus 2 di kasus 11 bus sebesar 1,14 kV (pembebanan siang) atau sebesar 5,7 % dari tegangan nominal. Selanjutnya sebesar 1,097 kV (pembebanan malam) atau 5,485 % dari tegangan nominal, dan kenaikan tegangan untuk bus 5 penyulang katu sebesar 1,384 kV (pembebanan siang) atau sebesar 6,92% dari tegangan nominal.

- 6) *SVR (Step Voltage Regulator)* termasuk jenis *voltage regulator* yang dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas tegangan dengan injeksi daya di dalam saluran namun untuk mendapatkan mutu tegangan yang lebih baik penggunaan *step voltage regulator* dapat dikombinasikan dengan beberapa macam peralatan pengatur tegangan yang umum digunakan.

B. Saran

Berdasarkan simulasi, pembahasan dan kesimpulan yang telah dilakukan, maka penulis menyarankan beberapa hal agar dapat dikembangkan lagi yaitu sebagai berikut :

- 1) Perlunya analisis lebih lanjut mengenai *step voltage regulator* agar penggunaan tap lebih maksimal dan hasil yang diinginkan lebih baik atau mendekati kesesuaian teori, begitu pun diperlukan pengembangan lebih lanjut untuk model *step voltage regulator* 3 phasa.
- 2) Perlu adanya *software* lain yang digunakan untuk membandingkan hasil yang telah dicapai.

REFERENSI

- [1] M. Djiteng, Operasi sistem tenaga listrik, Jakarta: Balai Penerbit & Humas ISTN, 1990.

- [2] S. Sudirham, Analisis Sistem Tenaga, Darpublic – Edisi Juli, 2012.
- [3] D. Suswanto, Sistem Distribusi Tenaga Listrik.
- [4] “Automating power distribution system” Diakses dari [http://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/automating power distribution system.pdf](http://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/automating%20power%20distribution%20system.pdf) pada tanggal 22 Juli 2015.
- [5] Rahardjo, “Justification on the Applications of Automatic Voltage Regulator and Capacitor on Long Medium Voltage Distribution Feeders”, IEEE, 2002, pp. 839 – 843.
- [6] W.H. Kersting, *Distribution System Modeling and Analysis*, CRC Press, Boca Raton, FL, 2002.
- [7] Cooper Power Systems, “Voltage Regulators”, Cooper Power Systems, inc., 2007.
- [8] M. Shin, C. Park, J. Jung, K. Kim, S. So, “Wave Nodal Admittance Modeling of Three Phase Step Voltage Regulator and Their Applications”, International Conference on Electrical Machines and Systems, Busan, Korea, 2013.
- [9] T.A. Short, *Electric Power Distribution Handbook*, CRC Press, Boca Raton, FL, 2004.
- [10] J.C. Das, *Power System Analysis Short Circuit Load Flow and Harmonics*, Marcell Dekker, Inc. USA. 2002.
- [11] Wahidi, M. 2014. *Studi Kasus Aliran Daya Tiga Fasa Tak Seimbang di PLN Distribusi Lampung Menggunakan Metode Newton-Raphson dalam Bentuk Rectangular*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.