

Perbaikan Tegangan Pada Penyulang SMU 5 Dengan Pemasangan Kapasitor Shunt

Wilson Pamintu¹, Bambang Sugiyantoro², Harnoko St²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

²Dosen Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

Abstrak

Seiring dengan pertumbuhan beban yang umumnya merupakan beban induktif karena makin bertambahnya kebutuhan akan tenaga listrik maka permasalahan yang mungkin timbul dari pertumbuhan beban-beban ini adalah tingginya jatuh tegangan. Alternatif yang dapat dilakukan untuk memperbaiki profil tegangan tersebut adalah dengan melakukan kompensasi daya reaktif yaitu dengan memasang kapasitor shunt. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan lokasi pemasangan dan kapasitas kapasitor shunt untuk memperbaiki profil tegangan penyulang Semanu 5 dengan menggunakan aplikasi program Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) PowerStation 4.0.0.

Dari hasil perbaikan profil tegangan yang telah dilakukan pada penyulang Semanu 5 dengan kapasitor shunt, yaitu switch capasitor dengan nilai 1800 kVAR dan sebuah fixed capasitor dengan nilai 1800 kVAR kenaikan tegangan pada bus yang memiliki tegangan paling rendah mencapai 19,939 kV dari tegangan awal 18,156 kV saat WBP dan kenaikan tegangan pada bus yang memiliki tegangan paling rendah mencapai 20,316 kV dari tegangan awal 19,436 KV saat LWBP.

Kata kunci: jatuh tegangan, kapasitor shunt

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Persoalan-persoalan mengenai kualitas penyaluran daya listrik merupakan masalah yang sangat penting bagi konsumen maupun penyedia (PT PLN PERSERO). Suatu sistem tenaga listrik harus mampu menyediakan pasokan energi listrik yang dibutuhkan oleh konsumen secara kontinyu/terus-menerus dan dengan kualitas daya yang mencukupi, pelayanan yang terus menerus, serta tegangan, faktor daya, dan frekuensi sistem yang berkualitas.

Seiring dengan pertumbuhan beban yang umumnya merupakan beban induktif karena makin bertambahnya kebutuhan akan tenaga listrik maka permasalahan yang mungkin timbul dari pertumbuhan beban-beban ini adalah tingginya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan, dimana rugi-rugi daya dan penurunan kualitas penyaluran daya sebagian besar dialami oleh konsumen yang letaknya jauh dari pusat distribusi dan harus melewati saluran distribusi yang panjang. Tegangan ujung penerimaan ini akan semakin rendah apabila jarak konsumen ke pusat pelayanan cukup jauh.

Ada beberapa cara untuk memperbaiki kualitas tegangan dan kualitas daya listrik. Namun penting untuk mempertimbangkan serta mencari solusi atau cara yang paling tepat yaitu cara yang cukup efektif tentu saja dengan salah

satu pertimbangan dari segi ekonomis. Salah satu cara yang cukup efektif dengan biaya yang paling murah yaitu dengan menggunakan kapasitor.

Dari informasi yang diperoleh dilapangan diketahui bahwa penyulang yang mempunyai jatuh tegangan yang paling besar di PT.PLN APJ Yogyakarta yaitu pada GI Semanu yaitu pada Penyulang Semanu 5, dimana dari data pengukuran tegangan JTR pada pangkal trafo distribusi diperoleh nilai tegangan terendah yaitu 178 volt. Dari informasi ini maka akan diadakan penelitian pada penyulang Semanu 5. PLN telah merencanakan untuk merubah konfigurasi jaringan pada penyulang Semanu 5 ini untuk mengurangi jatuh tegangan, sehingga data yang akan digunakan adalah data rencana (*master plan*) PLN tersebut.

1.2 Dasar Teori

1.2.1 Jatuh Tegangan pada Jaringan Distribusi

Pada dasarnya jatuh tegangan adalah penurunan tegangan yang terjadi pada konsumen dimana tegangan yang diterima konsumen lebih kecil dari tegangan yang dikirim

Jatuh tegangan pada sistem distribusi dapat terjadi pada :

- Penyulang tegangan menengah
- Transformator distribusi
- Penyulang jaringan tegangan rendah
- Sambungan rumah

e. Instalasi rumah

Sesuai dengan definisinya, jatuh tegangan adalah : $\Delta V = |V_k| - |V_t|$ (1.1)

dengan :

V_k = nilai mutlak tegangan ujung kirim (volt)

V_t = nilai mutlak tegangan ujung terima (volt)

Jadi ΔV pada persamaan merupakan selisih antara tegangan ujung kirim dan tegangan ujung terima. Besarnya jatuh tegangan dapat dinyatakan dalam prosen :

$$\% \Delta V = \frac{V_{kirim} - V_{terima}}{V_{kirim}} \times 100\% \quad (1.2)$$

Pada dasarnya masalah jatuh tegangan dipengaruhi oleh dua parameter utama yaitu arus dan impedansi, sehingga dari pernyataan tersebut dapat dibuat persamaan mengenai jatuh tegangan :

$$\Delta V = I * Z$$

$$\Delta V = I (R \cos \phi + X \sin \phi)$$

dengan :

ΔV = Jatuh tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

Z = Impedans (ohm)

R = Hambatan jaringan (ohm)

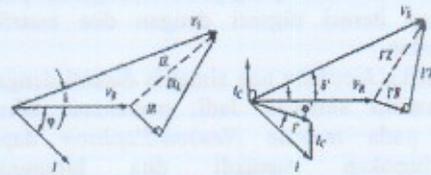
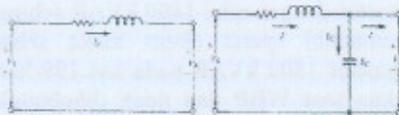
X_L = Reaktans induktif (ohm)

Penurunan tegangan maksimum pada beban, yang dibolehkan di beberapa titik pada jaringan distribusi adalah (SPLN 72 :1987) :

- a. SUTM = 5 % dari tegangan kerja bagi sistem radial
- b. SKTM = 2 % dari tegangan kerja pada sistem spindel dan gugus.
- c. Trafo distribusi = 3 % dari tegangan kerja
- d. Saluran tegangan rendah = 4 % dari tegangan kerja tergantung kepadatan beban.
- e. Sambungan rumah = 1 % dari tegangan nominal.

1.2.2 Kapasitor Paralel (Shunt)

Merupakan kapasitor yang dipasang secara paralel pada jaringan. Metode ini telah dipakai secara luas pada sistem distribusi. Kapasitor paralel akan menghasilkan daya reaktif yang diperlukan oleh beban induktif. Dalam hal ini kapasitor paralel akan merubah karakteristik beban induktif dengan memberikan arus *leading* yang akan melawan arus *lagging* dari beban induktif. Jadi pengaruh kapasitor paralel sama dengan kondensor, generator, dan motor sinkron yang dieksitasi lebih.



Gambar 1.1 Diagram fasor tegangan untuk penyulang dengan faktor daya lagging

(a) dan (c) tanpa kapasitor paralel

(b) dan (d) dengan kapasitor paralel

1.2.3 Teknik Penyelesaian Aliran Beban

Beberapa metode yang dipakai untuk menyelesaikan persoalan-persoalan aliran beban adalah :

Metode Newton-Raphson (NR)

Metode *Newton-Raphson* merupakan metode yang tepat untuk menyelesaikan persamaan matematis non linear. Metode ini lebih cepat dan lebih dapat dipakai pada banyak kasus daripada metode *Gauss-Seidel*. Metode ini banyak digunakan untuk menyelesaikan studi aliran daya pada sistem tenaga listrik yang besar. Metode *Newton-Raphson* menggunakan matriks *Jacobian* yang merupakan matriks bujur sangkar yang memuat turunan deferensial dari P_i dan Q_i . Matriks *Jacobian* untuk sistem yang memiliki dua buah bus adalah :

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta P_i \text{ calc}}{\partial \delta_i} & \frac{\Delta P_i \text{ calc}}{\partial V_i} \\ \frac{\Delta Q_i \text{ calc}}{\partial \delta_i} & \frac{\Delta Q_i \text{ calc}}{\partial V_i} \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Dengan memasukkan matriks *Jacobian* persamaan sistem menjadi :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix}^{(r)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} & \frac{\partial P_i}{\partial V_i} \\ \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} & \frac{\partial Q_i}{\partial V_i} \end{bmatrix}^{(r)} \begin{bmatrix} \Delta \delta_i \\ \Delta V_i \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

dan

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta_i \\ \Delta V_i \end{bmatrix}^{(r)} = [J^{(r)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix}^{(r)} \quad (1.5)$$

sehingga

$$\begin{bmatrix} \partial_i \\ V_i \end{bmatrix}^{(r+1)} = \begin{bmatrix} \delta_i \\ V_i \end{bmatrix}^{(r)} + \begin{bmatrix} \Delta \delta_i \\ \Delta V_i \end{bmatrix}^{(r)} \quad (1.6)$$

Metode Fast-Decoupled

Dibandingkan dengan metode *Newton-Raphson*, keistimewaan metode *Fast-Decoupled* adalah :

- 1. Matriks *Jacobian* diganti dengan dua matrik yang lebih kecil dimensinya.

2. Matriks *Jacobian* yang perlu dipengaruhi pada setiap iterasi diganti dengan dua matriks konstan.
3. Matriks *Jacobian* non simetris diganti dengan dua matriks simetris. Jadi, persamaan aliran beban pada metode *Newton-Raphson* dapat disederhanakan menjadi dua himpunan persamaan *decoupled* yang terpisah, yang dapat diselesaikan secara iteratif.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di sepanjang jaringan distribusi 20 KV penyulang berdasarkan *Master Plan* PLN 2009-2014 Semanu 5 yang berada di wilayah Wonosari.

2.2 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian di penyulang Semanu 5 berdasarkan data yang di ambil pada mei 2010. Penelitian dilakukan dalam dua tahap, yaitu di luar waktu beban puncak (LWBP) pada pukul 10.00 WIB dan di waktu beban puncak (WBP) pada pukul 19.00 WIB.

2.3 Bahan Penelitian

Bahan yang menjadi objek penelitian adalah *Single line diagram* penyulang Semanu 5 berdasarkan *Master Plan* PLN 2009-2014 serta data - data tegangan menengah 20 kV yang ada di wilayah kerja PT. PLN (Persero) APJ Yogyakarta.

2.4 Simulasi ETAP

Data yang diperoleh dari kantor PT PLN UPJ Sragen harus diolah terlebih dahulu sebelum bisa digunakan sebagai masukan dalam *software* ETAP. Pengolahan tersebut meliputi pembuatan *single line diagram* lengkap dengan data jarak penghantar dan pembebanan pada setiap cabang

Beberapa hal yang dilakukan untuk melakukan simulasi antara lain :

1. Menyiapkan berbagai data yang diperlukan.
2. Menggambarkan jaringan menggunakan ETAP *PowerStation 4.0.0* serta memasukkan berbagai data yang diperlukan.
3. Melaksanakan simulasi aliran pembebanan terpasang, hasilnya kemudian dievaluasi untuk diketahui terjadi atau tidak pelanggaran-pelanggaran tegangan, arus, ataupun pembebanan trafo.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Simulasi Penyulang Semanu 5

3.1.1 Saat Waktu Beban Puncak (WBP)

Saat waktu beban puncak (WBP) arus pembebanan total pada penyulang ini adalah 167 ampere. Tegangan ujung sistem sebesar 18,157 kV atau mengalami jatuh tegangan sebesar 10,55 % terletak pada trafo distribusi CEE0544 di

Wuni,Giriharjo,Purwosari. Hasil ini dibawah rating yang diizinkan. Daya yang dibangkitkan oleh *swing bus* sebesar (5,082 MW) dan (2,968 MVAR) dengan rugi-rugi total sistem sebesar 0,216 MW dan 0,768 MVAR.

Tabel 3.1 Jatuh tegangan saat WBP di penyulang Semanu 5

No.	No. Tiang	Tegangan (kV)	Jatuh Tegangan (%)
1	CEE0121	19,223	5,31
2	CEE0222	18,409	9,31
3	CEB0025	18,156	10,56
4	CEE0458	18,203	10,33
5	CEE0544	18,157	10,55

3.1.2 Saat Luar Waktu Beban Puncak (LWBP)

Saat luar waktu beban puncak (LWBP) arus pembebanan total pada penyulang adalah 79 ampere. Tegangan ujung sistem sebesar 19,436 kV atau mengalami jatuh tegangan sebesar 4,72 % terletak pada trafo distribusi CEE0544 di Wuni,Giriharjo,Purwosari. Hasil ini berdasarkan rating yang diizinkan. Daya yang dibangkitkan oleh *swing bus* sebesar 2,491 MW dan 1,266 MVAR dengan rugi-rugi total sistem sebesar 0,046 MW dan 0,163 MVAR.

Tabel 3.2 Jatuh tegangan saat LWBP di penyulang Semanu 5

No.	No. Tiang	Tegangan (kV)	Jatuh Tegangan (%)
1	CEE0121	19,907	2,41
2	CEE0222	19,564	4,09
3	CEB0025	19,482	4,5
4	CEE0458	19,464	4,58
5	CEE0544	19,436	4,72

3.2 Hasil Simulasi Penyulang Semanu Dengan Penambahan Kapasitor Saat WBP

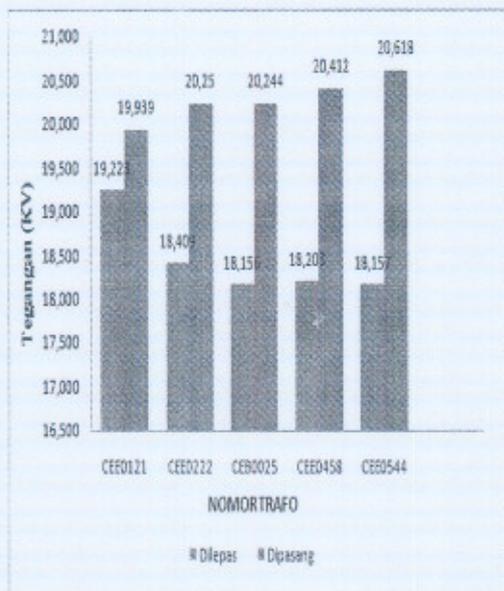
Proses optimasi pemasangan kapasitor dilakukan dengan memperhatikan keadaan LWBP dan WBP. Karena kondisi yang perlu dilakukan perbaikan tegangan yaitu pada WBP dengan jatuh tegangan 10,55 % maka harus diperhatikan agar pada pemasangan kapasitor tidak menyebabkan *over voltage* melebihi batasan yang ada saat LWBP.

Dengan menggunakan standar nilai kapasitor 300-1800 kVAR maka dibutuhkan sebuah *switch capasitor* dengan nilai 1800 kVAR dan sebuah *fixed capasitor* dengan nilai 1800 kVAR sehingga untuk memenuhi syarat diatas maka sebagai solusi kapasitor 1800 kVAR pada bus 199 hanya dihubungkan saat WBP dan tidak dihubungkan saat LWBP.

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan diperoleh perbandingan jatuh tegangan pada ujung saluran sebelum pemasangan dan setelah pemasangan kapasitor seperti pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Perbandingan jatuh tegangan saat WBP di penyulang Semanu 5 setelah dipasang *switching capacitor* 1800 kVAR dan *fixed capacitor* 1800 kVAR

No	No. Trafo	Sebelum pemasangan kapasitor		Setelah pemasangan kapasitor	
		Tegangan (kV)	Jatuh tegangan (%)	Tegangan (kV)	Jatuh tegangan (%)
1	CEE0121	19,223	5,31	19,939	1,778
2	CEE0222	18,409	9,31	20,25	0,246
3	CEB0025	18,156	10,56	20,244	0,275
4	CEE0458	18,203	10,33	20,412	0,551
5	CEE0544	18,157	10,55	20,618	1,566



Gambar 3.1 Grafik perbandingan jatuh tegangan saat WBP di penyulang Semanu 5

3.3 Hasil Simulasi Penyulang Semanu Dengan Penambahan Kapasitor Saat LWBP

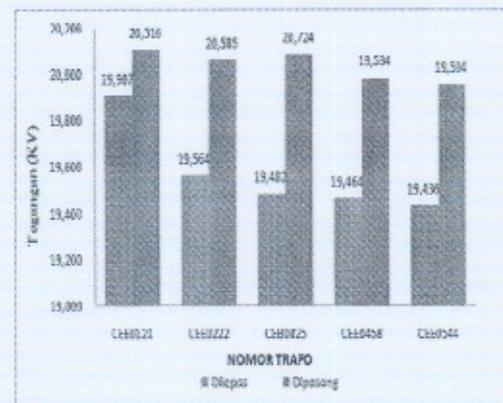
Dari hasil simulasi pemasangan kapasitor yang dilakukan pada saat WBP akan disimulasikan pada saat LWBP dan setelah dilakukan simulasi maka untuk menghindari *overvoltage* kapasitor dengan nilai 1800 kVAR pada bus 160 tetap terpasang sedangkan kapasitor

1800 kVAR pada bus 199 dilepas (*switching capacitor*) dan hanya digunakan pada malam hari (WBP)

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan diperoleh perbandingan jatuh tegangan sebelum pemasangan dan setelah pemasangan kapasitor seperti pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Perbandingan jatuh tegangan saat LWBP di penyulang Semanu 5 setelah dipasang *switching capacitor* 1800 kVAR dan *fixed capacitor* 1800 kVAR

No	No. Tiang	Sebelum Pemasangan Kapasitor		Setelah Pemasangan Kapasitor	
		Tegangan (kV)	Jatuh tegangan (%)	Tegangan (kV)	Jatuh tegangan (%)
1	CEE0121	19,907	2,41	20,316	0,411
2	CEE0222	19,564	4,09	20,585	0,906
3	CEB0025	19,482	4,5	20,724	1,588
4	CEE0458	19,464	4,58	20,534	0,656
5	CEE0544	19,436	4,72	20,504	0,509



Gambar 3.2 Grafik perbandingan jatuh tegangan saat LWBP di penyulang Semanu 5

4. Kesimpulan

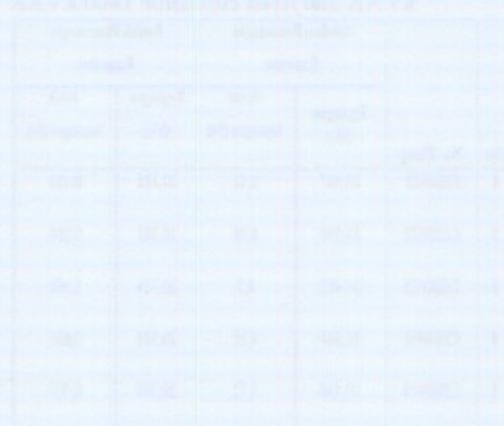
Dengan menggunakan aplikasi program ETAP PowerStation 4.0.0 didapatkan lokasi dan kapasitas kapasitor shunt untuk memperbaiki jatuh tegangan pada penyulang Semanu 5 pada WBP yaitu pada bus 160 dengan nilai 900 kVAR dan kapasitor 1800 kVAR pada bus 199. Kenaikan tegangan pada bus yang memiliki tegangan paling rendah, setelah dipasang kapasitor shunt mencapai 19,939 kV dari tegangan awal 18,156 kV. Sedangkan pada LWBP kapasitor 1800 kVAR pada bus 199 dilepas sedangkan kapasitor 1800 kVAR pada bus 160 tetap terpasang. Sehingga diperoleh kenaikan

tegangan pada bus yang memiliki tegangan paling rendah, setelah dipasang kapasitor shunt mencapai 20,316 kV dari tegangan awal 19,436 kV.

5. Daftar Pustaka

[1] Andi Wulan, 2009, Rekonfigurasi Jaringan Tegangan Menengah 20 KV Untuk Memperkecil Susut Tegangan Dan Susut Daya Nyata Di Penyulang Trafo I Gardu Induk Bantul

[2] Gonen Turan, 1986, *Electrical Power Distribution System Engineering*, Mc Graw Hill Book Company.
 [3] SPLN 72 - 1987, 1987, Spesifikasi Desain Untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) Dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR), Jakarta.
 [4] Stevenson, Jr W.D., 1994, Analisis Sistem Tenaga Listrik, (Alih Bahasa), Edisi keempat, Erlangga, Jakarta.



Bus	Before (kV)	After (kV)
1	19.436	20.316
2	19.436	20.316
3	19.436	20.316
4	19.436	20.316
5	19.436	20.316

