

Pengaturan Tegangan Menggunakan Kompensator Var Statik Dengan Sistem Kendali Berbasis Logika Fuzzy

Rinaldy Dalimi dan M. Kemal
Jurusan Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus Baru UI, Depok 16424

Abstrak

Kondisi perubahan beban akan mengakibatkan variasi tegangan pada sisi beban. Pada umumnya beban sangat sensitif terhadap perubahan tegangan, sehingga diperlukan suatu metoda untuk melakukan pengaturan tegangan. Kompensator Var Statik (KVS) diharapkan dapat melakukan pengaturan tegangan dengan cepat dan presisi pada saat terjadi perubahan beban.

Abstract

Changing the load will affect to the value of the voltage at the customer side. In general, the voltage is very sensitive to the increasing or decreasing of the load. So that, it is needed to have the voltage regulator. The static VAR Compensator (SVC) can be used as a voltage regulator, which is responsive and accurate to maintain the voltage constant if the load is changed.

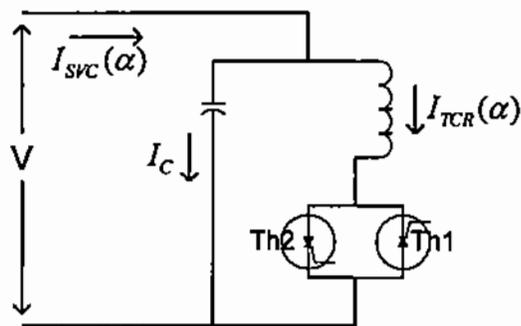
1. Pendahuluan

Saluran pada suatu system transmisi dan distribusi biasanya bersifat reaktif, dimana biasanya dinyatakan dengan induktansi seri atau *shunt* yang kapasitansinya untuk suatu saluran transmisi yang panjang. Hal ini menyebabkan pada saat terjadinya perubahan baban akan mengakibatkan terjadinya variasi tegangan yang besar pada sisi penerima. Pada umumnya beban sangat sensitive terhadap perubahan tegangan. Pada kondisi *undervoltage* akan menyebabkan penurunan kemampuan dari beban seperti motor induksi, lampu dan lain-lain. Kondisi *overvoltage* akan mengakibatkan kerusakan dari beban. Kondisi gangguan akan menyebabkan perubahan mendadak dari besarnya VAR *demand* dan tegangan, yang akan sangat berpengaruh terhadap stabilitas dari system. Hal diatas menyebabkan diperlukannya suatu metoda untuk melakukan pengaturan tegangan dengan respon waktu yang cepat.

Logika Fuzzy telah banyak digunakan untuk mengendalikan suatu system tenaga listrik, terutama untuk meningkatkan stabilitas system. Hal ini disebabkan karena logika fuzzy menawarkan suatu kemudahan dalam proses perancangannya. Pada suatu system kendali berbasis logika fuzzy hal yang terpenting adalah pemahaman karakteristik dari system yang akan dikendalikan. Dalam penelitian ini dirancang system kendali *Static Voltage Compensator* berbasis logika fuzzy dan simulasi pada Simulink dan Matlab 5.3 dan menganalisis unjuk kerja system.

2. Fixed Capacitor-Thyristor Controlled Reactor (FC-TCR)

Gambar rangkaian dari sebuah KVS jenis Fixed Capacitor Thyristor controlled Reactor (FC-TCR) dapat terlihat pada gambar berikut[1,3,4].



Gambar 1.
Rangkaian KVS jenis FC-TCR

KVS jenis FC-TCR terdiri dari sebuah kapasitor yang terpasang paralel dengan reaktor (induktor) yang dikontrol dengan tiristor. Pasangan tiristor yang dipasang paralel dan berlawanan kutub berfungsi sebagai sebuah saklar, dimana saklar tersebut akan menutup atau konduktif apabila tegangan anoda lebih besar dibandingkan tegangan katoda dan diberikan trigger (pemicu) yang biasa disebut dengan sudut α (sudut penyalan). Hal ini mengakibatkan besarnya arus RMS yang mengalir di induktor dapat diatur dengan mengatur besarnya sudut α . Sehingga SVC dapat dinyatakan sebagai sebuah reaktansi variabel, fungsi sudut penyalan, yang besarnya :

$$\frac{1}{X_{SVC}} = B_{TCR}(\alpha) - \frac{1}{X_C} \quad (1)$$

dimana (1,2,3,4),

$$B_{TCR}(\alpha) = \frac{2 \cdot (\pi - \alpha) + \sin 2\alpha}{\pi X_L} \quad (2)$$

dengan mengatur sudut penyalan tiristor, dapat diperoleh nilai reaktansi yang diperlukan untuk mengkompensasi daya reaktif sistem sehingga tegangan dapat dijaga pada harga nominalnya.

3. Karakteristik KVS

3.1. Karakteristik KVS pada Kondisi Gangguan Kecil

Kondisi gangguan kecil adalah suatu kondisi dimana besarnya perubahan tegangan masih dalam jangkauan pengontrolan dari KVS, atau $V_{nom} - \Delta V_{max} \leq V \leq V_{nom} + \Delta V_{max}$

dari gambar 2 terlihat bahwa karakteristik V terhadap besarnya Q pada kondisi terjadinya gangguan kecil adalah linier, artinya perubahan tegangan akan sebanding dengan besarnya kompensasi. Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa KVS akan bersifat kapasitif apabila tegangan berada dibawah harga nominalnya dan akan bersifat induktif apabila tegangan berada diatas harga nominalnya, dimana besarnya harga Q tersebut adalah :

$$Q_{SVC}(\alpha) = (B_C - B_{TCR}(\alpha))V^2 \quad (3)$$

3.2. Karakteristik KVS Pada Kondisi Gangguan Besar

Kondisi gangguan besar adalah suatu kondisi dimana besarnya perubahan tegangan sudah berada diluar jangkauan pengontrolan KVS atau $V \leq V_{nom} - \Delta V_{max}$ atau

$$V \geq V_{nom} + \Delta V_{max}$$

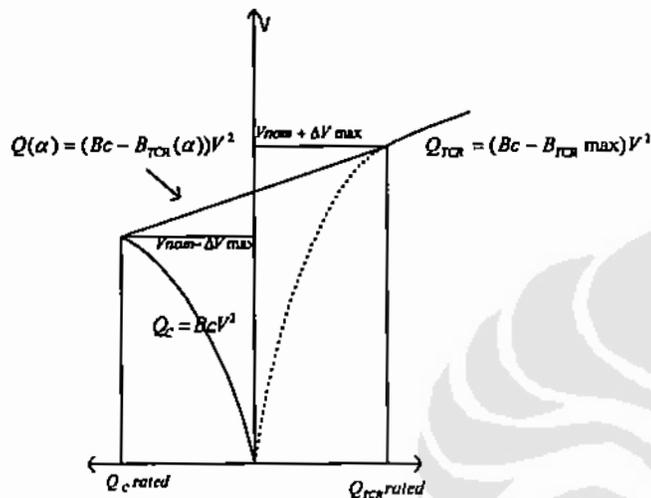
Dari gambar 2 terlihat bahwa karakteristik V terhadap besarnya Q pada kondisi terjadinya gangguan besar sudah tidak linier. Pada kondisi $V \leq V_{nom} - \Delta V_{max}$

maka tiristor sepenuhnya terbuka dan KVS bersifat kapasitif murni, dan daya reaktif yang dihasilkan sebanding dengan kuadrat dari tegangan terminalnya, yang besarnya :

$$Q_{SVC} = B_C V^2 \quad (4)$$

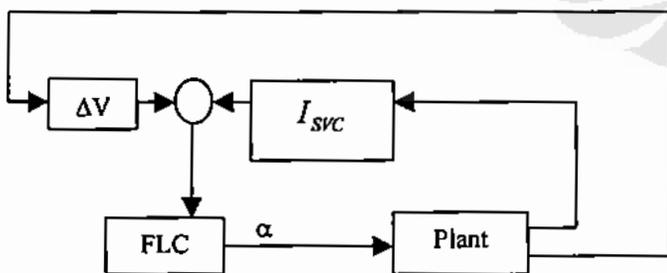
Pada kondisi $V \geq V_{nom} + \Delta V_{max}$ maka tiristor akan sepenuhnya tertutup dan KVS berfungsi seperti sebuah rangkaian LC paralel, yang bersifat induktif dimana besarnya daya yang diserap sebanding dengan kuadrat tegangannya, yang besarnya

$$Q_{TCR} = (Bc - B_{TCR \max})V^2 \quad (5)$$



Gambar 2. Karakteristik daya reaktif terhadap tegangan

4. Diagram Blok Sistem Kendali KVS



Gambar 3. Blok diagram pengendalian KVS

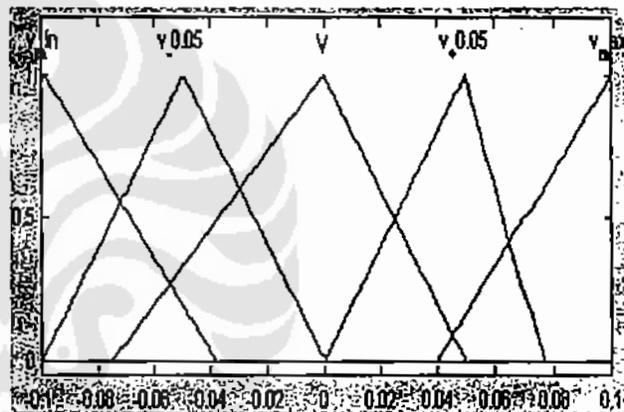
Dari diagram blok tersebut terlihat bahwa pengontrolan KVS menggunakan 2 keadaan kontrol yaitu selisih antara set point tegangan (tegangan nominal) dengan kondisi tegangan aktual atau disebut juga ΔV dan arus SVC (I_{SVC}) yang dikalikan dengan faktor pengali K . Resultannya akan

menjadi input bagi Fuzzy Logic Controller (FLC) yang akan menghasilkan output firing angle (α). Kemudian setelah melalui proses pada plant, harga baru tegangan dan I_{SVC} akan di-feedback ke sistem.

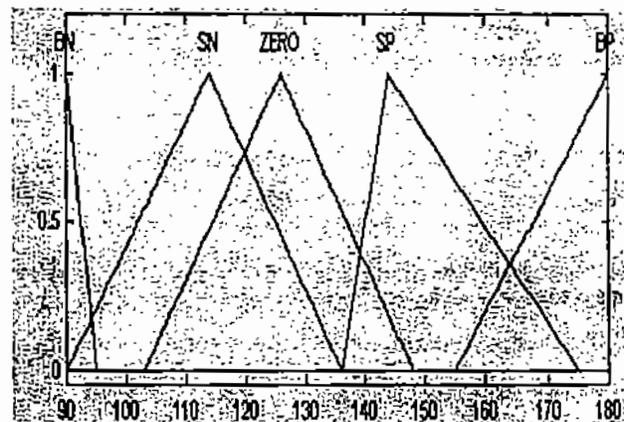
5. Fuzzy Logic Controller

5.1. Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah fungsi keanggotaan segitiga dengan menggunakan lima variabel linguistik untuk masukan dan lima variabel linguistik untuk keluaran. Fungsi keanggotaan yang telah dibentuk dan telah dievaluasi dapat terlihat pada gambar berikut :



Gambar 4 (a). Fungsi keanggotaan masukan



Gambar 4 (b). Fungsi keanggotaan keluaran

5.2. Basis Aturan

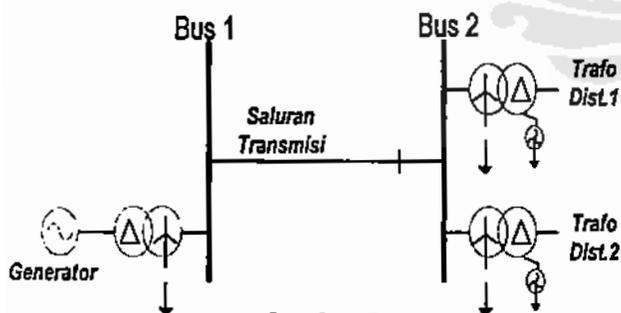
Basis aturan berisi aturan kendali fuzzy yang menghubungkan masukan dan keluarannya. Basis aturan harus memuat seluruh kombinasi input yang ada kecuali kondisi yang tidak mungkin terjadi ataupun telah termuat pada aturan lainnya.

Diatas telah disebutkan bahwa variabel linguistik yang digunakan adalah lima untuk masukan dan juga keluarannya, sehingga relasi yang menghubungkan antara input dan output yang membentuk suatu basis aturan adalah sebagai berikut :

- If (input is V_{min}) Then (output is BP)
- If (input is $V_{-0.05}$) Then (output is SP)
- If (input is V) Then (output is ZERO)
- If (input is $V_{+0.05}$) Then (output is SN)
- If (input is V_{max}) Then (output is BP)

6. Referensi sistem tenaga listrik

Referensi sistem tenaga listrik yang akan diaplikasikan SVC dengan sistem kendali berbasis logika fuzzy diambil dari modul PSS NE-9070. Gambar diagram satu garis dari sistem tersebut dapat terlihat pada gambar berikut :



Gambar 5.

Diagram acuan satu garis sistem tenaga listrik

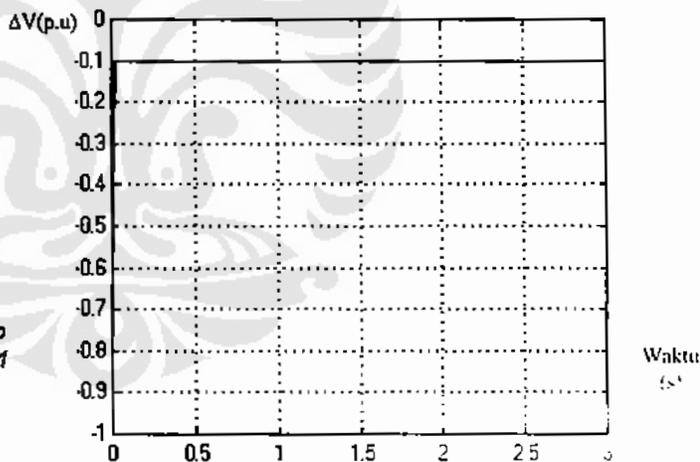
7. Unjuk Kerja Sistem Kendali KVS Berbasis Logika Fuzzy

Sistem kendali KVS berbasis logika fuzzy diharapkan dapat mengembalikan tegangan ke tegangan nominal dengan cepat dan presisi pada saat terjadi perubahan beban. Untuk menganalisa unjuk kerja tersebut dilakukan pengambilan data

dengan membandingkan tegangan akibat beban yang diubah-ubah pada sistem tanpa KVS dan sistem dengan KVS yang dikendalikan sistem kendali berbasis logika fuzzy.

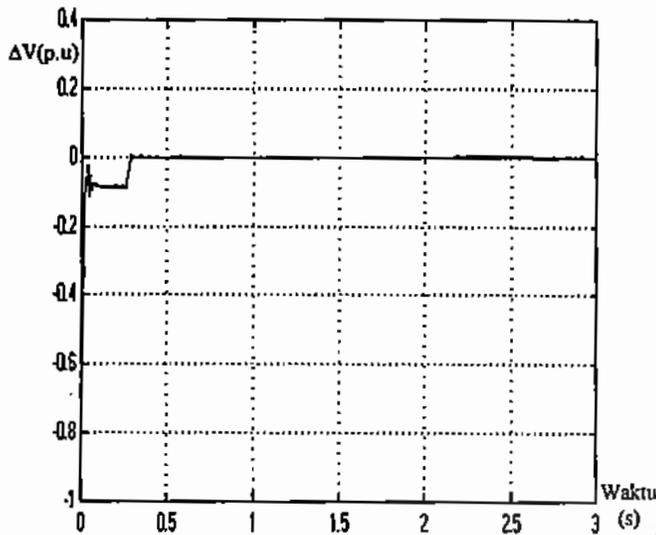
Pengambilan data dilakukan sebanyak 11 kali, 5 kali pada kondisi tegangan di bus 2 (lihat gambar 5) dibawah tegangan nominal, 5 kali pada kondisi tegangan di bus 2 diatas tegangan nominal dan 1 kali pada tegangan nominalnya. Keseluruhan data yang diambil ini masih pada daerah pengaturan dari sistem kendali KVS, sehingga kisar tegangan yang diambil untuk dianalisa adalah 0.9-1.1 p.u.

Berikut ini adalah contoh data yang diambil pada kondisi tegangan (pada sistem tanpa KVS) 0.9 p.u ($\Delta V = -0.1$) dimana harga daya kompleks beban, $S = 0.1 + j 0.225$ p.u (kondisi berbeban induktif).



Gambar 6 (a).
Kondisi tegangan pada sistem tanpa KVS

Dari data diatas dapat terlihat bahwa kondisi beban yang mengakibatkan tegangan menjadi 0.9 p.u ($\Delta V = -0.1$). Pada sistem tanpa KVS, apabila diaplikasikan pada sistem dengan KVS, tegangan akan kembali ke harga nominalnya yaitu 1 p.u ($\Delta V = 0$). Keseluruhan data-data yang diambil dengan memvariasikan beban dapat terlihat pada tabel 1 dan grafik yang membandingkan tegangan pada saat beban diubah pada system tanpa KVS dan dengan KVS dapat terlihat pada gambar 7.

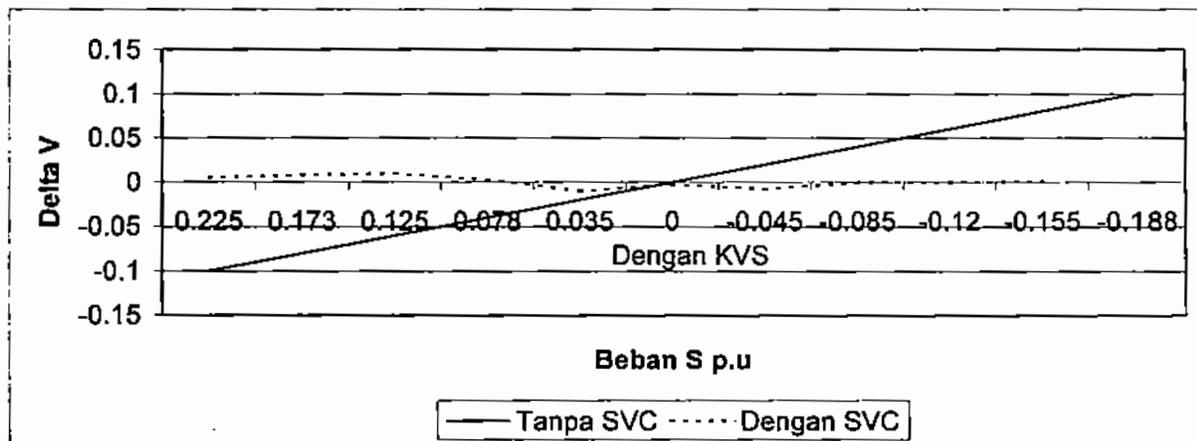


Gambar 6 (b).
Kondisi tegangan pada sistem dengan KVS

Dari tabel 1 dan gambar 7 terlihat bahwa perubahan beban akan mengakibatkan perubahan tegangan pada sistem tenaga listrik tanpa KVS, sedangkan pada sistem dengan KVS yang dikendalikan sistem kendali berbasis logika fuzzy, tegangan relatif konstan walaupun terjadi perubahan beban. Tingkat presisi dari sistem kendali KVS berbasis logika fuzzy pun dapat dikatakan tinggi hal ini dapat terlihat dari besarnya error steady state rata-rata yang merupakan persentase dari selisih kondisi tegangan steady state dengan tegangan acuan (tegangan nominal) yang relatif kecil yaitu sebesar 0.4 %. Respon dari KVS dengan sistem kendali berbasis logika fuzzy untuk mengembalikan tegangan ke harga nominalnya pada saat terjadi perubahan beban pun cukup cepat, hal ini terlihat dari waktu untuk mencapai keadaan tunak (steadystate) nya dibawah 1 s.

Tabel 1. Data-data perbandingan kondisi tegangan tanpa KVS dan dengan KVS pada saat terjadi perubahan beban

Beban (S p.u)	(p.u) Tanpa KVS	(p.u) Dengan KVS	Waktu mencapai keadaan tunak (s)	Error steady State (%)
0.1 + j0.225	-0.1	0	0.28	0
0.1 + j0.173	-0.08	0.005	0.3	0.5
0.1 + j0.125	-0.06	0.008	0.8	0.8
0.1 + j0.078	-0.04	-0.01	0.7	1
0.1 + j0.035	-0.02	-0.003	0.9	0.3
0.1 - j0.008	0	-0.01	0.6	1
0.1 - j0.045	0.02	-0.0025	0.6	0.25
0.1 - j0.085	0.04	-0.0075	0.6	0.75
0.1 - j0.12	0.06	0	0.4	0
0.1 - j0.155	0.08	0	0.52	0
0.1 - j0.188	0.1	-0.001	0.8	0.1



Gambar 7.
Grafik perbandingan kondisi tegangan pada sistem tanpa KVS dan dengan KVS

8. Kesimpulan

1. Perubahan beban akan mengakibatkan perubahan tegangan pada sistem tanpa KVS
2. Pada sistem dengan KVS yang dikendalikan sistem kendali berbasis logika fuzzy, tegangan relatif konstan walaupun terjadi perubahan beban statik.
3. Tingkat presisi dari sistem kendali KVS berbasis logika fuzzy pun cukup baik, dimana kesalahan tunak rata-ratanya = 0.4 %.
4. Respon waktu dari sistem kendali KVS berbasis logika fuzzy pada saat terjadi perubahan beban pun cukup baik yaitu dibawah 1 s.

Daftar Acuan

1. Mohan, Ned, et al ; *Power Electronics Converters, Application and Design*, John Wiley and Sons, 1995.
2. Padiyar, K.R; *Power System Dynamics*, John Wiley and Sons, 1995.
3. Laszlo Gyugyi, Edgar R. Taylor, Jr ; *Characteristic of Static Thyristor Controlled Shunt Compensators for Power Transmission System Application*, IEEE Transaction on Power Apparatus and System, Vol. PAS-99, No. 5, Sep/Okt, 1980.
4. Gyugyi, Laszlo; *Power Electronics in Electric Utilities : Static Var Compensators*, Proceedings IEEE, Vol 76, No. 4, April, 1988.
5. Mulyana, Budi; *Aplikasi SVC dalam Perbaikan Profil Tegangan*, Skripsi Jurusan Elektro FTUI, 1999.
6. Ross, Timothy.J; *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, International Edition, Mc.GrawHill, 1995.
7. Gunawan, Widy; *Konsep Dasar dan Prinsip Pengendalian Berbasis Logika Fuzzy*, Seminar Jurusan Elektro FTUI, 2000.
8. Handbook Tecquipment Power System Simulator NE-9070.