


Simulasi kendali *proportional integral derivative* dan logika fuzzy pada sistem eksitasi *automatic voltage regulator* dengan *simulink Matlab*

Pamungkas Jati , Sunarno, Sujarwata

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima
18 Januari 2017

Disetujui
20 Februari 2017

Dipublikasikan
23 Februari 2017

Keywords:

*Automatic Voltage
Regulator; PID; Fuzzy;
Simulink*


Abstrak

Alat yang berperan penting dalam stabilitas generator adalah AVR (*Automatic Voltage Regulator*), sehingga performansi alat tersebut merupakan hal yang perlu diperhatikan. Implementasi kendali merupakan cara yang dapat digunakan untuk memperbaiki performansi sebuah AVR. Kendali yang saat ini banyak diaplikasikan dalam industri yaitu PID dan fuzzy. Pemodelan dilakukan untuk mengetahui performansi AVR. Pemodelan sistem AVR beserta kendalinya dibangun menggunakan Simulink Matlab. PID dirancang dengan metode *tuning* Ziegler-Nichols (ZN) dan Tyreus-Luyben (TL) sedangkan kendali fuzzy dibangun dengan 2 variabel *input* dan 1 variabel *output* yang masing-masing terdiri dari 7 MF sehingga dapat diperoleh 49 aturan fuzzy. Berdasarkan hasil analisis respon transien, kendali PID metode TL lebih baik dibandingkan metode ZN dan hasil komparasi keseluruhan kendali menunjukkan kendali PID memberikan performansi yang lebih baik pada 3 parameter (*rise time*, *peak time*, dan *settling time*) sedangkan kendali fuzzy memberikan performansi yang lebih baik pada parameter *overshoot*.

Abstract

AVR (Automatic Voltage Regulator) is the primary device for a generator stability, therefore performance of an AVR must be considered. Implementation of controller can be used to improve performance of an AVR. Now the controller is widely applied in industry, namely PID and fuzzy. Modelling carried out to determine the performance of AVR. The modelling of AVR system and its controller are built using Matlab Simulink. PID controller is designed by tuning method of Ziegler-Nichols (ZN) and Tyreus-Luyben (TL) while fuzzy controller is built by two input variables and one output variable, each consists of 7 MF so can be obtained 49 fuzzy rules. Based on transient response analysis, PID controller with TL method is better than ZN method and overall the comparison results of controller demonstrated that the PID controller provides a better performance in three parameters (rise time, peak time, and settling time), while the fuzzy controller provides a better performance in overshoot parameter.

© 2017 Universitas Negeri Semarang

 Alamat korespondensi:
Unnes, Jl. Raya Sekaran Gunungpati 50229, Semarang
E-mail: satryanda_pamungkas@yahoo.co.id

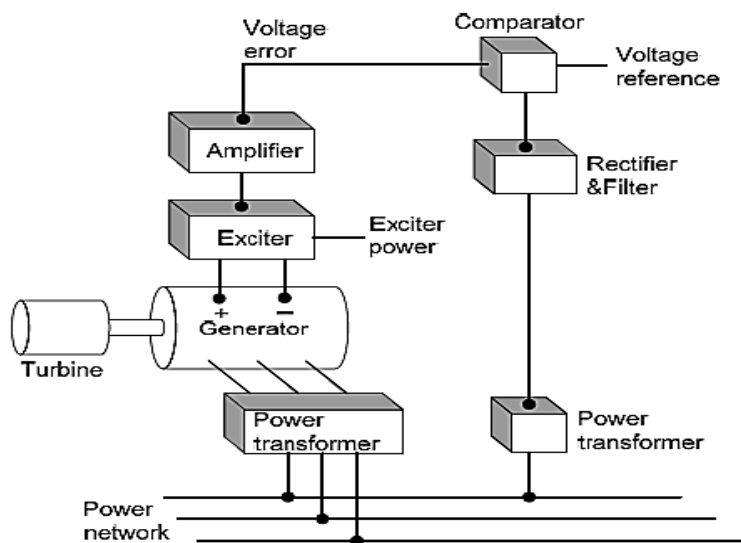
PENDAHULUAN

Ketidakteraturan permintaan beban yang setiap saat berubah, mengakibatkan kinerja sistem tenaga listrik mendekati batas tidak aman, sehingga pengendalian operasi sistem tenaga listrik sebagai salah satu elemen penting dalam pengolahan jaringan yang bertujuan untuk memenuhi pembangkitan dan kebutuhan beban juga bertambah kompleks dan rumit (Alam dkk. 2015).

Pengendalian kestabilan jaringan listrik bermula dari pengendalian generator oleh sistem eksitasi, karena generator merupakan sumber energi listrik tersebut. Eksitasi pada generator adalah pemberian arus searah pada belitan medan yang terdapat pada rotor (Pane, 2010). Relasi antara tegangan induksi dengan medan magnet yang dibangkitkan oleh arus eksitasi pada generator sinkron dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut,

$$E = c.n.\phi \tag{1}$$

Suatu perangkat yang dipasang pada generator yang dapat bekerja secara otomatis mengatur tegangan yang dihasilkan oleh agar generator tetap stabil disebut dengan AVR (*Automatic Voltage Regulator*) (Gunadin, 2008). Prinsip kerja dari AVR adalah mengatur arus penguatan (*excitation*) pada eksiter. Apabila tegangan output generator di bawah tegangan nominal yang telah ditentukan operator, maka AVR akan memperbesar arus penguatan (*excitation*) pada eksiter. Hal ini juga berlaku sebaliknya, apabila tegangan output generator melebihi tegangan nominal, maka AVR akan mengurangi arus penguatan (*excitation*) pada eksiter. Model AVR yang biasanya terdapat pada sebuah generator diperlihatkan pada Gambar 1.



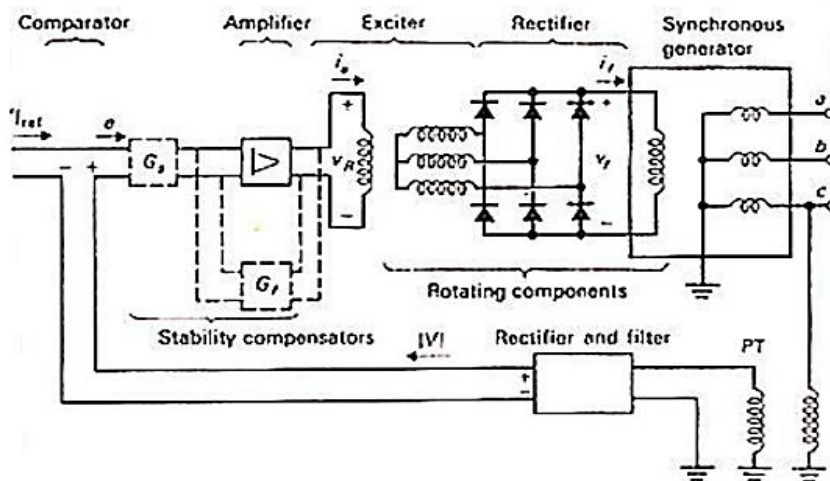
Gambar 1. Automatic Voltage Regulator (Gozde dkk , 2010).

Real model AVR tersebut dapat digambarkan secara skematik seperti pada Gambar 2. AVR mempunyai peran penting pada kerja generator sehingga performansinya perlu diperhatikan. Implementasi kendali dapat digunakan untuk memperbaiki performansi AVR.

Kendali yang paling banyak digunakan dalam sistem AVR adalah model kontroler PID, Fuzzy, dan Adaptif (Wilopo, 2011). Proportional Integral Derivative (PID) jenis kendali yang masih banyak digunakan untuk sistem AVR karena PID memberikan kinerja yang baik pada berbagai kondisi operasi dan mudah

diimplementasikan. PID didefinisikan melalui tiga parameter kontrol yaitu Proportional (K_p), Integral (K_i) dan Derivative (K_d). Masing – masing parameter tersebut saling mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap pencapaian performansi sistem yang ditentukan sehingga perlu

dikombinasikan untuk melengkapi kekurangan masing-masing parameter. Pengaruh dari masing-masing kontroler terhadap respon transien dan respon tunak sistem secara lengkap ditunjukkan pada Tabel 1.

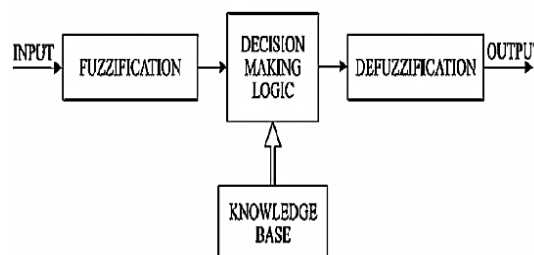


Gambar 2. Skematik AVR (Wood & Wollenberg1984).

Tabel 1. Pengaruh konstanta K_p, K_i, K_d

Closed-Loop Response	Rise Time	Overshoot	Settling Time	Steady-State Error	Stability
Increasing K_p	Decrease	Increase	Small Increase	Decrease	Degrade
Increasing K_i	Small Decrease	Increase	Increase	Large Decrease	Degrade
Increasing K_d	Small Decrease	Decrease	Decrease	Minor Change	Improve

Selain kendali PID, terdapat kendali logika fuzzy (*Fuzzy Logic Control*) yang sering digunakan ketika sistem sulit dimodelkan secara matematis. Fleksibel, mudah dioperasikan dan direvisi, kendali fuzzy adalah pilihan yang baik, terutama untuk sistem yang rumit dengan banyak variabel (Ramya & Selvi, 2011). Terdapat empat langkah yang dapat dilakukan untuk membangun sistem kendali fuzzy, yaitu menentukan semua variabel yang terkait dalam proses yang akan dikendalikan kemudian menentukan fuzzifikasi dilanjutkan membangun basis aturan fuzzy dan yang terakhir menentukan defuzzifikasi. Skematik langkah tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.

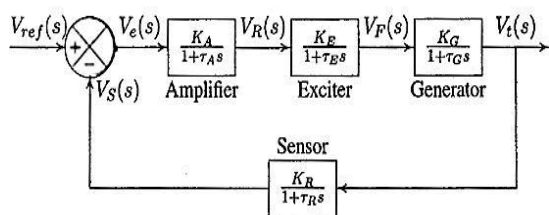


Gambar 3. Struktur Dasar Sistem Kendali Fuzzy (Simoes, 2010).

METODE PENELITIAN

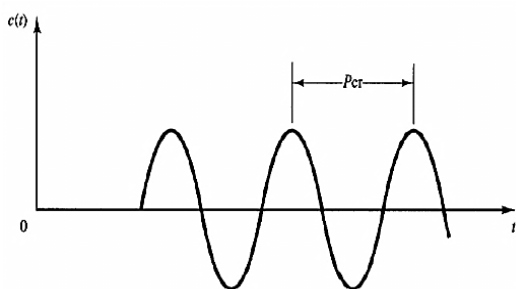
Model Simulink AVR yang digunakan pada untuk implemetasi kendali PID dan fuzzy ditunjukkan pada Gambar 4.

Adapun nilai dari masing-masing parameter $K_A=10, K_E=1, K_G=1, K_R=1, T_A=0.1, T_E=0.4, T_G=1.0, T_R=0.01$ sedangkan $V_{ref} = 6kV$. Nilai- nilai tersebut kemudian diimplementasikan pada model simulink untuk selanjutnya diploting sebagai hasil performansi AVR tanpa kendali.



Gambar 4. Model Simulink AVR (Saadat, 1999).

Kendali PID dirancang menggunakan metode *tuning* Ziegler Nichols dan Tyreus Luyben. Prosedur *tuning* PID dengan menggunakan 2 metode ini adalah mengatur nilai $K_i = 0$ dan $K_d = 0$ kemudian menambahkan nilai K_p sampai sistem beresilasi secara kontinu sehingga diperoleh K_{cr} (Penguatan Kritis) dan P_{cr} (Periode Kritis).



Gambar 5. Kurva respon osilasi kontinu (Ogata, 1997).

Selanjutnya mensubstitusi nilai K_{cr} dan P_{cr} ke dalam Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Aturan *tuning* metode Ziegler-Nichols (Ogata, 1997).

Jenis Kontroler	K_p	T_i	T_d
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Tabel 3 Aturan *tuning* metode Tyreus-Luyben.

Jenis Kontroler	K_p	T_i	T_d
PID	$\frac{K_{cr}}{2.2}$	$2.2P_{cr}$	$\frac{P_{cr}}{6.3}$

Kendali fuzzy dibangun menggunakan fasilitas Fuzzy Logic Toolbox (FLT) yang terdapat

pada Matlab. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pembangunan kendali fuzzy dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Fuzzifikasi

Fungsi keanggotaan (*membership function*) yang dipilih berjenis *triangular* dan variabel fuzzy yang digunakan adalah selisih antara tegangan terminal dengan tegangan referensi, perubahan tegangan terminal dan tegangan kontrol plant.

2. Basis Aturan

Basis aturan yang dibangun dalam sistem ini ditunjukkan melalui FAM pada Tabel 4.

Tabel 4. *Fuzzy Associative Memory* untuk AVR

e \ de	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	Voltage Control
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB	

Adapun dengan keterangan NB (*Negative Big*), NM (*Negative Medium*), NS (*Negative Small*), ZE (*Zero*), PS (*Positive Small*), PM (*Positive Medium*), PB (*Positive Big*)

3. Defuzzifikasi

Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah *Center of Area* (CoA).

Hasil dari masing-masing kendali selanjutnya diploting untuk komparasi dan dianalisis respon transiennya.

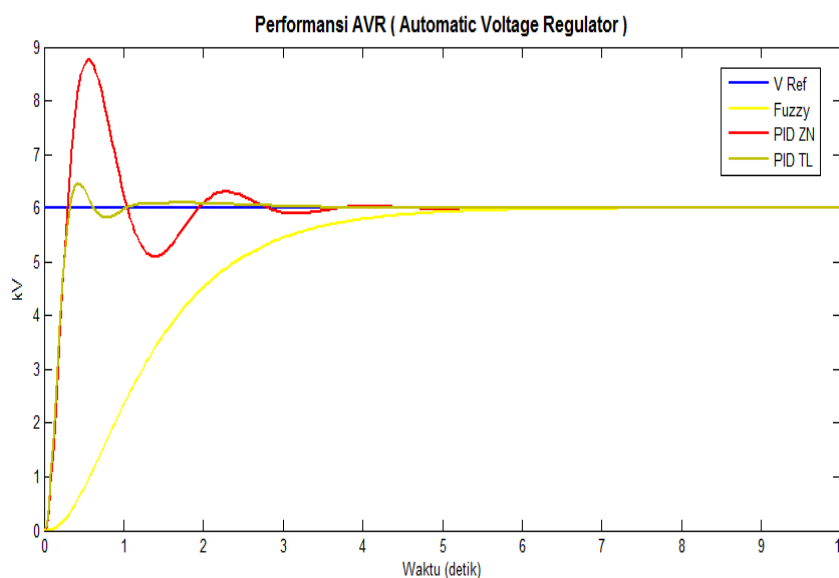
HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil komparasi kendali PID dan fuzzy pada sistem AVR ditampilkan pada Gambar 6 sedangkan hasil analisis respon transien ditunjukkan pada Tabel 5. Cetak tebal (*bold*) pada data Tabel 5 menunjukkan performansi yang lebih baik. Metode ZN unggul pada *rise time* yang lebih cepat, hal ini disebabkan oleh perhitungan nilai K_p yang lebih besar dibandingkan dengan nilai K_p pada

metode TL, sesuai pada Tabel 1 menyatakan bahwa nilai K_p berpengaruh besar dalam perubahan nilai *rise time*. Nilai K_p yang besar selain memberikan keuntungan, juga memberikan kerugian, yaitu peningkatan nilai *overshoot* yang signifikan.

Metode TL memiliki nilai K_p yang tidak terlalu besar jika dibandingkan metode ZN, oleh karena itu *overshoot* yang dihasilkan juga tidak terlampau besar. Nilai *overshoot* yang tidak terlalu

besar memudahkan dalam hal koreksi menggunakan kontrol derivative (K_d). Penambahan nilai K_d sesuai perumusan pada metode TL mampu meredam *overshoot* yang sebelumnya muncul, hal inilah yang tidak mampu dilakukan oleh metode ZN. *Overshoot* yang lebih kecil memberikan dampak pada pencapaian parameter performansi lain, seperti *peak time*, dan *settling time*.



Gambar 6. Perbandingan performansi AVR kendali PID dan fuzzy.

Overshoot yang lebih kecil menandakan bahwa puncak (amplitudo) lebih rendah, sehingga secara otomatis waktu yang diperlukan untuk mencapai puncak (*peak time*) membutuhkan waktu yang lebih singkat. *Overshoot* yang lebih kecil juga memudahkan efek peredaman setelah terjadi peak pertama sehingga waktu mencapai kestabilan lebih cepat (*settling time*).

Kendali fuzzy menunjukkan performansi yang sangat baik pada parameter *overshoot* meskipun pada parameter lain menunjukkan hasil yang lebih lambat dibandingkan kendali lain. *Rise time*, *peak time*, *settling time* memang belum memenuhi kriteria performansi, tetapi hal ini dapat ditolerir mengingat sistem ketenagalistrikan bekerja secara interkoneksi sehingga beban generator tidak ditanggung sendiri. Respon lambat generator bukan menjadi persoalan utama selama kenaikan atau penurunan tegangan

terminal tidak melebihi nilai toleransi yang ditentukan.

Rise time, *peak time*, dan *settling time* yang cepat mengakibatkan generator dapat dengan segera mencapai kestabilan tegangan set apabila terjadi gangguan dari luar, sedangkan *overshoot* yang rendah dapat dianalogikan dengan lonjakan tegangan (*over excitation*) yang terjadi ketika usaha penstabilan tegangan tidak terlalu tinggi atau tidak melebihi nilai toleransi yang ditentukan. Kelebihan sistem AVR yang dikendalikan oleh PID yaitu cepat menstabilkan tegangan apabila terjadi ketidakstabilan pada tegangan keluaran generator, tetapi sistem AVR dengan kendali ini juga mempunyai kelemahan pada lonjakan tegangan yang dihasilkan ketika proses mencapai kestabilan tegangan, lonjakan yang terlalu tinggi dapat mengganggu sistem jaringan listrik. AVR dengan

kendali fuzzy dapat dijadikan alternatif karena kendali ini memberikan performansi yang lebih baik terhadap permasalahan lonjakan tegangan yang dihadapi kendali PID.

Kendali fuzzy efektif dalam menghilangkan osilasi dan menghasilkan respon transien yang lebih smooth (Gaurav, 2012). Sebaliknya, kendali fuzzy juga mempunyai beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan. Kendali fuzzy memiliki karakteristik domain waktu yang tidak lebih baik dibandingkan kendali PID, kendali fuzzy juga membutuhkan waktu perancangan yang lebih lama karena kompleksitas tahap fuzzifikasi dan defuzzifikasi (Godjevac, 2000).

SIMPULAN

Terkhusus kendali PID, metode *tuning* TL menawarkan performansi yang lebih baik dibandingkan metode ZN berdasarkan hasil analisis respon transiennya, sedangkan komparasi keseluruhan menunjukkan kendali PID lebih unggul pada parameter *rise time*, *peak time*, dan *settling time* sedangkan kendali fuzzy lebih baik pada tingkat *overshoot*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, A. A., S. Syahrial., & N. Taryana. 2015. Pemodelan dan Simulasi Automatic Voltage Regulator untuk Generator Sinkron 3 kVA Berbasis Proportional Integral. *Reka Elkomika*, 3(2), 97-110.
- Ang, K. H., Chong, G., & Y. Li. 2005. PID control system analysis, design, and technology. *Control Systems Technology, IEEE Transactions on*, 13(4), 559-576.
- Gaurav, A. K. 2012. Comparison between Conventional PID and Fuzzy Logic Controller for Liquid Flow Control: Performance Evaluation of Fuzzy Logic and PID Controller by Using MATLAB/Simulink. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 84-88.
- Godjevac, J. 2000. *Comparison Between PID and fuzzy control*. Dipetik May 25, 2016, dari <http://citeseer.nj.nec.com/godjevac93comparison.html>
- Gunadin, I. C. 2008. Analisis Penerapan PID Controller Pada AVR (Automatic Voltage Regulator). *Media Elektrik*, 155-161.
- Ogata, K. 1997. *Modern Control Engineering Third Edition*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Pane, E. 2010. *Studi Sistem Eksitasi Dengan Menggunakan Permanent Magnet Generator (Aplikasi pada Generator Sinkron di PLTD PT. Manunggal Wiratama)*. Medan: Jurusan Teknik Elektro FT Universitas Sumatera Utara.
- Ramya, R. & K. Selvi. 2011. A Simple Fuzzy Excitation Control System for Synchronous Generator. *Emerging Trends in Electrical and Computer Technology (ICETECT)*, 35-39.
- Saadat, H. 1999. *Power System Analysis*. Boston: McGraw-Hill.
- Simoes, M. 2010. *Introduction to Fuzzy Control*. Colorado: Colorado School of Mines-Engineering Division.
- Wilopo, E. N. 2011. *Perencanaan Optimal Sistem Kontrol AVR (Automatic Voltage Regulator) Untuk Memperbaiki Kestabilan Tegangan Dengan Menggunakan Algoritma Genetik (Doctoral dissertation)*. Semarang: Jurusan Teknik Elektro FT Universitas Diponegoro.
- Wood, A. J. & B. F. Woolenberg. 1984. *Power Generation Operation and Control*. New York: John Wiley & Sons.