

Pemodelan dan Simulasi *Automatic Voltage Regulator* untuk Generator Sinkron 3 kVA Berbasis Proportional Integral

ABD. ASHAL ALAM, SYAHRIAL, NANDANG TARYANA

Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional
Email : jinggow377@gmail.com

ABSTRAK

Beberapa yang menjadi indikator kualitas pada sistem tenaga listrik adalah kestabilan frekuensi dan tegangan. Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan kemampuan sistem untuk kembali bekerja normal setelah mengalami suatu perubahan beban. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan desain pengendali PI digital untuk regulasi tegangan generator sinkron. Diperlukan suatu model dari generator untuk diintegrasikan dengan instrument AVR berbasis pengendali PI, sehingga AVR yang dihasilkan dapat memenuhi kriteria. Kondisi steady state pada simulasi ini tercapai saat 1,86 detik pada saat generator dibebani tanpa menggunakan AVR dan kontrol P.I. Saat beban nol tanpa kontrol P.I keadaan steady state dicapai saat 0,15 detik dan pada saat beban penuh tanpa kontrol P.I keadaan steady state dicapai saat 1,2 detik. Kondisi steady state pada simulasi ini tercapai saat 1,86 detik pada saat generator dibebani tanpa menggunakan AVR menggunakan kontrol P.I. Saat beban nol dengan kontrol P.I keadaan steady state dicapai saat 0,12 detik dan pada saat beban penuh dengan kontrol P.I keadaan steady state dicapai saat 0,6 detik.

Kata Kunci : *SIMULINK, tegangan, eksitasi, penyearah, permodelan, AVR, pengendali PI, transient.*

ABSTRACT

Some of quality condition indicators electric power system are frequency and voltage stability. The stability of the electric power system is the ability of the system for return to normal condition after experiencing a change in load. This research aimed to design a digital PI controller for synchronous generator voltage regulation. It was needed a model of the generator to be integrated with AVR instrument based on PI controller. The steady state condition in this simulation was achieved in 1.86 seconds, when the generator was loaded without using AVR and PI controller. When the load was zero without P.I control, the steady state was achieved in 0.15 seconds and at full load without PI controller, the steady state was achieved when 1.2 seconds. The steady state condition in this simulation was achieved when 1.86 seconds when the generator was loaded without AVR using PI controller. When the load was zero with, PI controller was, the steady state achieved at 0.12 seconds and at the full load with PI controller, the steady state was achieved at 0.6 seconds.

Keywords: *SIMULINK, voltage, excitation, rectifier, modeling, AVR, PI controllers, transient.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan yang pesat dalam bidang ketenagalistrikan sebagai akibat dari pertumbuhan beban (*demand*) yang semakin meningkat menimbulkan konsekuensi tersendiri bagi penyedia jasa ketenagalistrikan. Salah satu dampak yang muncul seiring dengan eskalasi permintaan tersebut adalah meluasnya topologi jaringan yang berujung pada kompleksitas pengolahan jaringan. Selain itu, ketidakteraturan permintaan beban yang setiap saat berubah mengakibatkan kinerja sistem tenaga listrik mendekati batas tidak aman, sehingga pengendalian operasi system tenaga listrik sebagai salah satu elemen penting dalam pengolahan jaringan yang bertujuan untuk memenuhi pembangkitan dan kebutuhan beban juga bertambah kompleks dan rumit (*sophisticated*) (**Suhindra, 2004**).

Salah satu yang menjadi indikator kualitas pada sistem tenaga listrik adalah kestabilan frekuensi dan tegangan. Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan kemampuan system untuk kembali bekerja normal setelah mengalami suatu perubahan beban, sedangkan ketidakstabilan sistem tenaga kerja listrik berarti kehilangan sinkronisasi system sehingga sistem tidak lagi mampu bekerja normal setelah mengalami perubahan beban.

Perubahan beban pada system tenaga listrik yang terjadi secara terus menerus menimbulkan ayunan di sekitar titik kerja sistem tenaga, bahkan pada sistem tenaga listrik terinterkoneksi yang terjadi lebih dari satu unit pembangkit ayunan tersebut akan mudah terjadi. Oleh karena itu, permasalahan kestabilan menjadi persoalan yang semakin mendesak dan dominan.

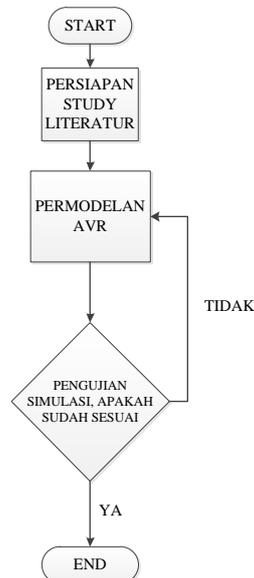
Persoalan kestabilan system tenaga listrik telah dibahas secara luas. Beberapa sumbangan penting telah di peroleh, tidak hanya dalam segi analisis dan penjelasan fenomena dinamis, tetapi juga dalam usaha perbaikan kestabilan sistem transmisi. Pengendalian generator oleh eksitasi merupakan hal penting yang harus ditangani oleh generator agar sistem tetap terjaga pada kestabilannya (**Syahrial, 2004**).

Penggunaan AVR (*Automatic Voltage Regulator*) sebagai salah satu piranti yang digunakan untuk mengatasi permasalahan ketidakstabilan tegangan akan menjadi bahan pada penelitian ini. Tujuan penelitian ini adalah melakukan desain pengendali proporsional integral digital untuk regulasi tegangan generator sinkron terhadap beban.

2. METODOLOGI PENELITIAN

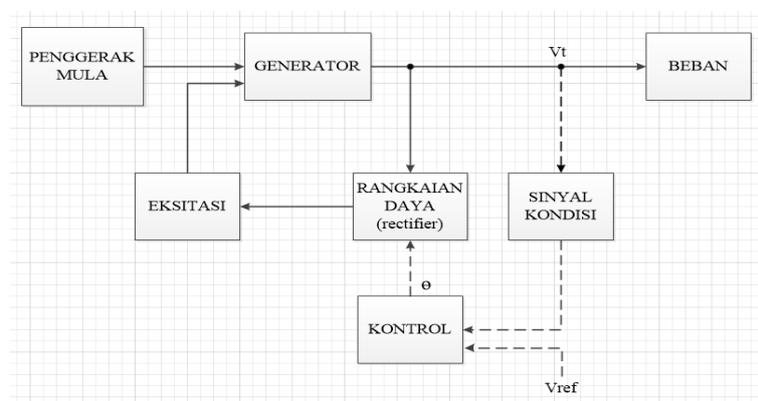
2.1 Langkah Penelitian

Metodologi penelitian merupakan uraian tahapan yang dilakukan dalam melaksanakan perancangan dan pengujian. Secara umum tahapan tertuang dalam Gambar 1 sebagai berikut. Memulai penelitian dengan mencari *literature* yang berhubungan dengan penelitian. Dari hasil *literature* dilakukan permodelan AVR. Setelah melakukan permodelan pengujian terhadap simulasi apabila belum sesuai kembali lagi ke permodelannya. Apabila telah selesai maka penelitian selesai.



Gambar 1. Bagan alur pengerjaan

2.2 Block Diagram Sistem



Gambar 2. Blok diagram AVR generator sinkron

Gambar 2 merupakan blok diagram AVR generator Sinkron
Penjelasan block diagram adalah sebagai berikut :

1. Unit eksitasi mencatu arus listrik searah ke lilitan medan (rotor) dengan cara memberikan tegangan listrik searah ke terminal lilitan medan.

2. Unit rangkaian daya megkonversikan arus listrik bolak-balik dari generator menjadi arus listrik searah.
3. Unit sinyal kondisi membaca keluaran generator yang akan disampaikan kepada unit control.
4. Unit control melakukan pengendalian keluaran pada unit rangkaian sehingga didapat arus listrik dc yang diinginkan dan melakukan pengendalian pada unit eksitasi sehingga tegangan listrik searah ke terminal medan dapat dikontrol.

2.3 Generator Sinkron

Generator arus bolak-balik (AC) atau disebut dengan alternator adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik (elektrik) dengan perantara induksi medan magnet. Perubahan energi ini terjadi karena adanya perubahan medan magnet pada kumparan jangkar (tempat terbangkitnya tegangan pada generator).

Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Kumparan medan pada generator sinkron terletak pada rotornya sedangkan kumparan jangkarnya terletak pada stator (**Chapman, 1985**).

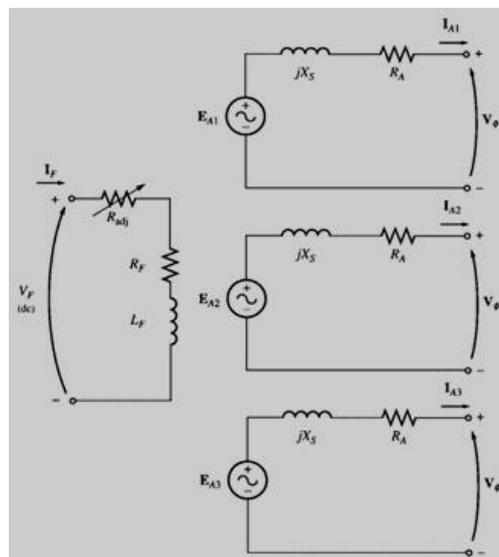
2.4 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi yang akan disuplai oleh arus searah sehingga menimbulkan fluks yang besarnya tetap terhadap waktu. Kemudian penggerak mula (*prime mover*) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya sesuai dengan persamaan:

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (1)$$

dimana: n = Kecepatan putar rotor (rpm), p = Jumlah kutub rotor, f = frekuensi (Hz)

Gambar 3 merupakan rangkaian ekivalent generator sinkron



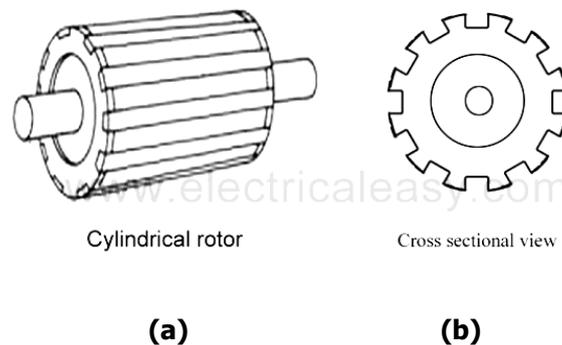
Gambar 3. Rangkaian ekivalent generator sinkron

Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor akan menginduksikan belitan tiga fasa pada kumparan jangkar sehingga akan menimbulkan medan putar pada stator. Perputaran tersebut menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut (Ong, 1998).

2.5 Rotor Kutub Silindris (*Non Salient Pole Rotor*)

Rotor kutub tak menonjol ini dibuat dari plat baja berbentuk silinder yang mempunyai sejumlah slot sebagai tempat kumparan. Karena adanya slot-slot dan juga kumparan medan pada rotor maka mengakibatkan jumlah kutub pun sedikit terbentuk. Konstruksi ini memberikan keseimbangan mekanis yang lebih baik karena rugi-rugi anginnya lebih kecil dibandingkan rotor kutub menonjol.

Rotor silinder umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putaran tinggi (1500 atau 3000 rpm) karena distribusi disekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol dan juga konstruksinya memiliki kekuatan mekanik pada kecepatan putar tinggi (Jadic, 1998). Gambar 4(a) merupakan *cylindrical rotor*. Dan Gambar 4(b) merupakan *cross section view*



Gambar 4 (a) *Cylindrical rotor*, (b) *Cross section view*

2.6 Rotor Kutub Sepatu atau Menonjol (*Salient Pole Rotor*)

Sebagian besar energi listrik disuplai menggunakan generator sinkron, yang memiliki prinsip mengubah energi kinetik putaran menjadi energi listrik. Arus listrik dihasilkan karena adanya fluks magnet yang berubah dan memotong suatu kumparan tertutup (stator). Gambar 5 merupakan rotor *salient pole*.

Persamaan fluks lingkup pada stator :

$$\Phi_i = \Phi_m \cos \omega t \quad (2)$$

Dengan

Φ_i = fluks lingkup pada kumparan stator (Wb)

Φ_m = fluks maksimum (Wb)

ω = kecepatan putar rotor (rad/s)

t = waktu (s)

Fluks lingkup ini menyebabkan dibangkitkannya tegangan stator pada generator sinkron sesuai hukum Faraday. Hukum Faraday menyatakan bahwa perubahan fluks magnet yang

melewati kumparan terhadap waktu akan menimbulkan tegangan induksi. Secara matematis hukum Faraday dituliskan sebagai berikut (**Chapman,1985**).

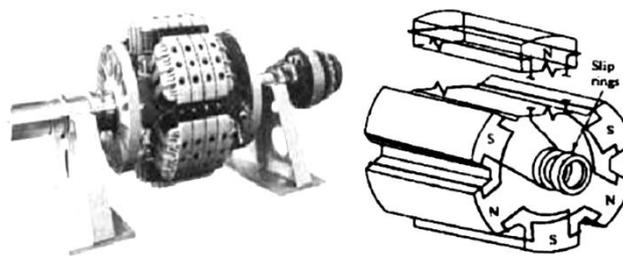
$$e_{ind} = - N \frac{d\phi}{dt} \quad (3)$$

Dengan :

e_{ind} = tegangan induksi (V)

N = jumlah lilitan kumparan

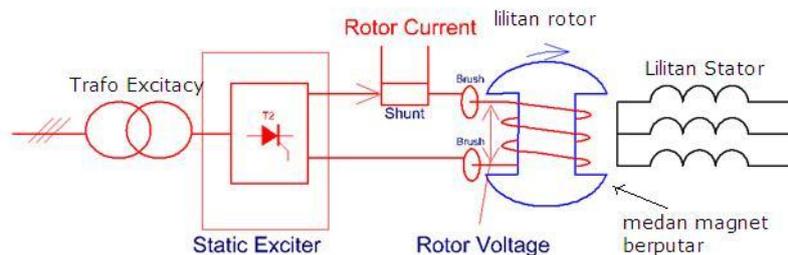
ϕ = fluks yang melewati kumparan (Wb)



Gambar 5. Rotor Salient Pole

2.7 Sistem Eksitasi Menggunakan Sikat (*Brush Excitation*)

Sistem eksitasi menggunakan sikat, sumber tegangan listrik berasal dari generator arus searah (DC) atau generator arus bolak balik (AC) yang disearahkan terlebih dahulu dengan menggunakan *rectifier*. Untuk mengalirkan arus eksitasi dari *main exciter* ke rotor generator digunakan *slip ring* dan sikat arang (**Chapman,1985**). Gambar 6 merupakan sistem eksitasi dengan sikat yang dimaksud

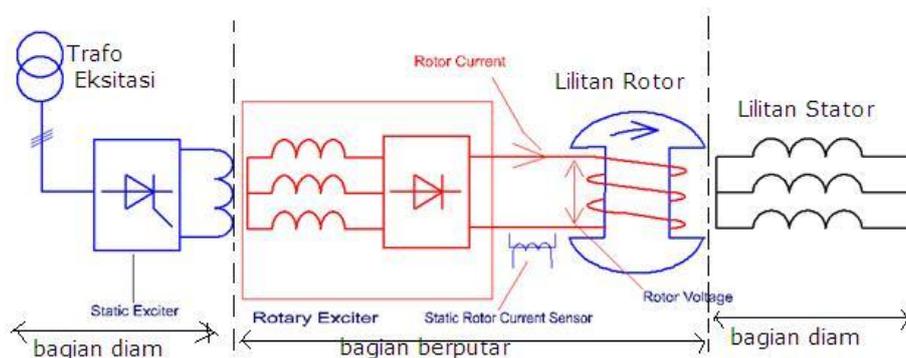


Gambar 6. Sistem Eksitasi Dengan Sikat

2.8 Sistem Eksitasi Tanpa Sikat (*Brushless Excitation*)

Sistem eksitasi tanpa sikat dikerjakan oleh dua generator penguat yaitu generator penguat pertama disebut *pilot exciter* dan generator penguat kedua disebut *main exciter* (penguat utama). *Main exciter* adalah generator arus bolak-balik disearahkan dengan diode yang berputar pada poros *main exciter* (satu poros dengan generator utama). Arus searah yang dihasilkan oleh diode berputar menjadi arus penguat generator utama. *Pilot exciter* pada generator arus bolak-balik dengan rotor berupa kutub magnet permanen yang berputar menginduksi pada lilitan stator. Tegangan bolak-balik disearahkan oleh penyearah diode dan menghasilkan arus searah yang dialirkan ke kutub-kutub magnet yang ada pada stator *main exciter*. Besar arus searah yang mengalir ke kutub *main exciter* diatur oleh pengatur

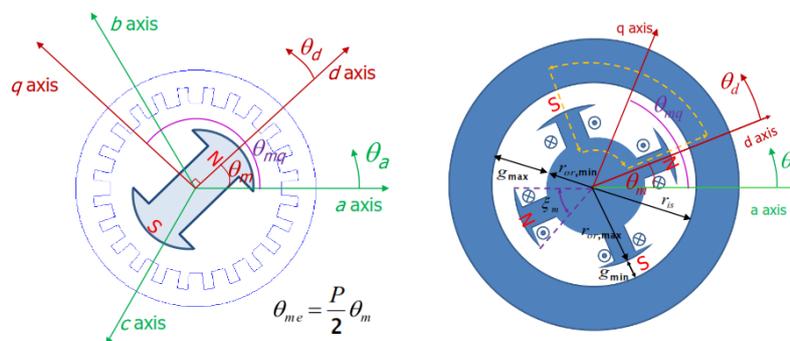
tegangan otomatis (*automatic voltage regulator/AVR*) (**Chapman,1985**). Gambar 7 merupakan sistem eksitasi tanpa sikat yang dimaksud.



Gambar 7. Sistem Eksitasi Tanpa Sikat

2.9 Generator Sinkron Pada Koordinat $qd0$ -Rotor

Pada generator sinkron, besaran-besaran di stator abc tentu akan berubah secara periodik pada keadaan tunak. *Self inductances* dan *mutual inductance* antara stator dan rotor berubah tergantung pada posisi rotor. Dengan perhitungan pada koordinat stator yang diam, besaran stator seperti tegangan, arus dan fluks dapat ditransformasikan ke koordinat rotor. Koordinat pada rotor memiliki dua sumbu yang saling tegak lurus (**Kreyszig, 1994**). Gambar 8 merupakan koordinat $dq0$ rotor



Gambar 8. Koordinat $dq0$ Rotor

2.10 Pengendali Proportional Integral (PI)

Pengendali PI dipilih karena sederhana dan mampu melakukan aksi kontrol dalam sistem dinamis. Lebih dari 85% sistem kontrol sistem dinamis menggunakan pengontrol PID (**Paz, 2001**)

2.11 Pengendali Proporsional

Kendali proporsional memiliki keluaran yang sebanding/proportional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan, bahwa keluaran kendali proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya.

Hubungan antara sinyal kendali dan *error* adalah :

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \tag{4}$$

fungsi transfer dalam domain s adalah

$$\frac{u(s)}{E(s)} = K_p \tag{5}$$

Kendali proportional tidak lain adalah *amplifier* dengan penguatan sebesar K_p . Kelemahan dari kendali ini adalah terdapatnya *steady state error* yaitu output mempunyai selisih terhadap setpoint (**Kundur, 1993**)

2.12 Pengendali Integrator (I)

Kendali integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol. Kalau hanya sebuah *plant*, tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan mantapnya nol. Dengan kendali integral, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan mantap nol. Pada pengontrol ini, kecepatan perubahan sinyal kendali sebanding dengan sinyal *error*.

Sinyal keluaran kendali integral merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva kesalahan penggerak. Sinyal keluaran akan berharga nol. Hubungan antara sinyal kendali dan *error* adalah :

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i \cdot e(t), \tag{6}$$

$$u(t) = \int_0^t e(t) dt \tag{7}$$

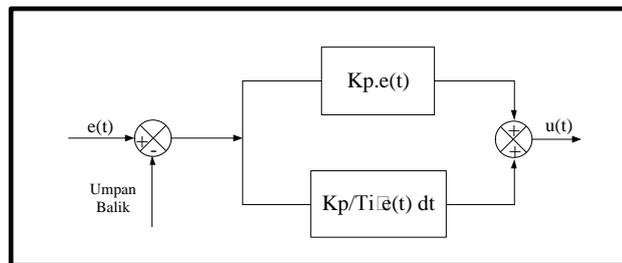
Fungsi transfer dalam domain s adalah :

$$\frac{u(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \tag{8}$$

Selama sinyal *error* masih ada, maka sinyal kendali akan bereaksi terus. Ketika sinyal *error* nol, maka $u(t)$ tetap stasioner. Dengan demikian, aksi kendali integral akan menghilangkan *steady state error*. Artinya, output sistem akan selalu mengejar *setpoint* sedekat mungkin. Aksi kendali integral sering disebut *automatic reset* kendali. Kerugian dari aksi kendali ini adalah terjadi osilasi sehingga mengurangi kestabilan system (**Kundur, 1993**)

2.13 Aksi Pengendali Proportional Plus Integral (PI)

Kendali Integral memiliki karakteristik mengurangi *rise time*, menambah *overshoot* dan *settling time*, serta menghilangkan *steady state error*. Kendali P dan I memiliki karakteristik yang sama dalam hal *rise time* dan *overshoot*. Oleh karena itu, nilai K_p harus dikurangi untuk menghindari *overshoot* yang berlebihan. Blok diagram kendali PI ditunjukkan oleh Gambar 9



Gambar 9. Blok diagram kendali PI

Hubungan antara sinyal kendali dan *error* adalah :

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \tag{9}$$

Fungsi transfer dalam domain s adalah :

$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp + \left\{ 1 + \frac{1}{Tis} \right\} = Kp + \frac{Ki}{s} \quad (10)$$

Dengan :

$$\frac{Kp}{Ti} = Ki \quad (11)$$

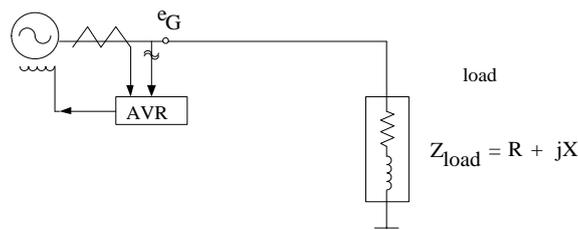
Kp adalah *gain proportional* dan Ti adalah integral *time*. Integral *time* mengatur aksi kendali integral sedangkan Kp akan mempengaruhi baik bagian integral maupun proportional. Kebalikan dari Ti disebut *reset rate* yang artinya jumlah waktu per menit dimana bagian proporsional dari aksi kendali diduplikasi (Paz, 2001).

2.14 Generator Sinkron

Ketika tegangan terminal generator v jatuh, $v \rightarrow v - \Delta v$, maka AVR akan mendeteksi perubahan Δe dan dengan cara menambahkan arus eksitasi $v_f \rightarrow v_f + \Delta v_f$ maka tegangan terminal akan kembali normal. Perubahan ini akan diterapkan dalam suatu fungsi transfer yaitu *Laplace Transform*, karena nantinya pemodelan menggunakan *software* SIMULINK MATLAB. Di dalam transformasi laplace, $s = \frac{d}{dt}$.

2.15 Fungsi Transfer Generator Sinkron + Beban

Jika generator dihubungkan dengan beban yang memiliki impedansi $Z = R + jX$, maka dapat ditentukan beberapa persamaan dibawah. Gambar 10 merupakan model generator dengan AVR dan beban.



Gambar 10. Model generator dengan AVR dan beban

$$\begin{aligned} v_G(s) &= \sqrt{v_d^2(s) + v_q^2(s)} \\ v_d(s) + jv_q(s) &= \{i_d(s) + ji_q(s)\}(R + jX) \\ i_d(s) &= \frac{R}{R^2 + X^2} v_d(s) + \frac{X}{R^2 + X^2} v_q(s) \\ i_q(s) &= \frac{R}{R^2 + X^2} v_q(s) - \frac{X}{R^2 + X^2} v_d(s) \end{aligned} \quad (11)$$

Dengan mensubstitusi $i_d(s)$ dan $i_q(s)$ pada persamaan $v_d(s)$ dan $V_q(s)$ dihasilkan

$$\begin{aligned} v_d(s) &= \frac{x_q R - X_r}{\{(X+x_d)(X+x_q) + (R+r)^2\} + \{(X+x'_d)(X+x_q) + (R+r)^2\} T'_{d0} s} V_f(s) \\ v_q(s) &= \frac{x^2 + R^2 + Xx_q + Rr}{\{(X+x_d)(X+x_q) + (R+r)^2\} + \{(X+x'_d)(X+x_q) + (R+r)^2\} T'_{d0} s} V_f(s) \end{aligned} \quad (12)$$

Kemudian substitusikan ke dalam persamaan $v_f(s)$,

$$\begin{aligned} v_G(s) &= \frac{A}{1+Ts} V_f(s) \\ G_G(s) &= \frac{v_G(s)}{V_f(s)} = \frac{A}{1+Ts} \end{aligned} \quad (13)$$

Dengan :

$$A = \frac{\sqrt{x^2+R^2} \sqrt{(X+x_q)^2+(R+r)^2}}{(X+x_d)(X+x_q)+(R+r)^2}; \text{ nilai gain generator + beban} \quad (14)$$

$$T = \frac{(X+x'_d)(X+x_q)+(R+r)^2}{(X+x_d)(X+x_q)(R+r)^2} T'_{d0}; \text{ nilai time constant generator + beban} \quad (15)$$

$$V_f(s) = \frac{x_{md}}{r_{fd}} v_{fd}(s); \text{ eksitasi} \quad (16)$$

2.16 Automatic Voltage Regulator (AVR)

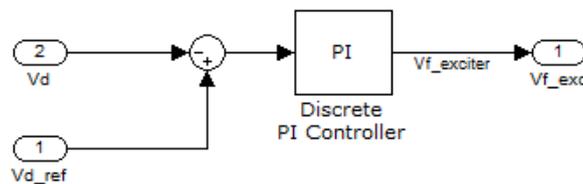
Blok rangkaian AVR pada SIMULINK pada pemodean ini di bagi menjadi dua blok utama. Blok yang pertama adalah blok penyearah yang berfungsi mengubah energi ac menjadi dc yang dibutuhkan oleh generator dalam proses eksitasi. Sedangkan blok yang kedua adalah blok pengatur tegangan yang berfungsi sebagai kontrol tegangan dc yang diinjeksikan ke medan generator.

2.17 Blok Rectifier (penyearah)

Pada blok penyearah yang lebih diutamakan dalam pemodelan ini adalah kontrol sinyal yang digunakan untuk menyalakan transistor. Sedangkan rangkaian penyearah itu sendiri menggunakan yang sudah ada pada library SIMULINK.

2.18 Blok Voltage Regulator

Voltage regulator merupakan bagian terpenting dalam proses eksitasi pada generator sinkron. Pada blok ini terdapat control PI yang berfungsi untuk mengatur tegangan dc yang akan diinjeksikan pada medan generator. Masukan dari pengatur tegangan merupakan tegangan dc (V_d) yang berasal dari penyearah serta tegangan referensi yang diinginkan (V_{dref}), dengan proses control PI yang kita gunakan maka didapat keluaran berupa V_f yang merupakan tegangan eksitasi yang menjadi masukan dari generator sinkron seperti yang dijelaskan pada Gambar 11 blok *voltage regulator*.



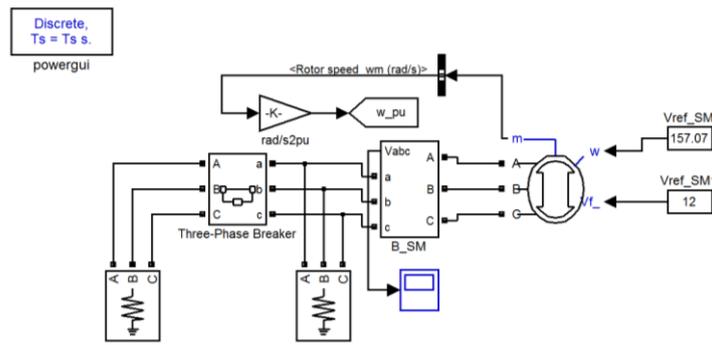
Gambar 11. Blok *voltage regulator*

3. PENGUJIAN DAN ANALISIS

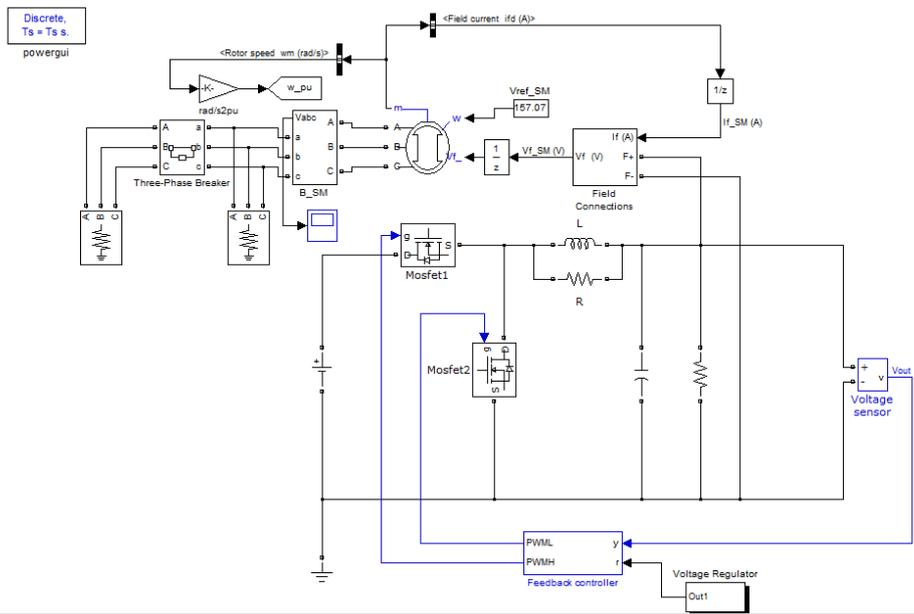
Generator sinkron yang menjadi objek kendali adalah sebuah generator sinkron yang memiliki 4 kutub dengan kapasitas daya nominal 3 kVA, tegangan nominal 400 V, frekuensi nominal 50 Hz dan *power factor* nominal 0,8.

3.1 Simulasi Automatic Voltage Regulator pada SIMULINK MATLAB

Setelah semua blok telah selesai dirancang dengan menggunakan SIMULINK, maka rangkaian keseluruhan dari model generator ini dapat dilihat pada Gambar 12 blok simulasi generator sinkron pada SIMULINK.

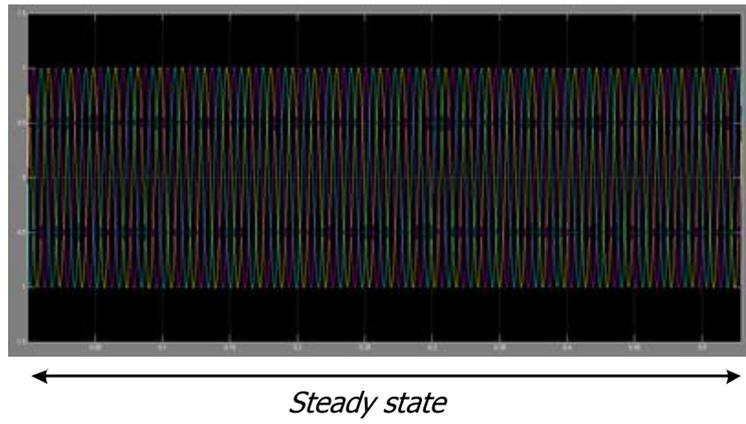


Gambar 12. Diagram simulasi generator dengan eksitasi tetap

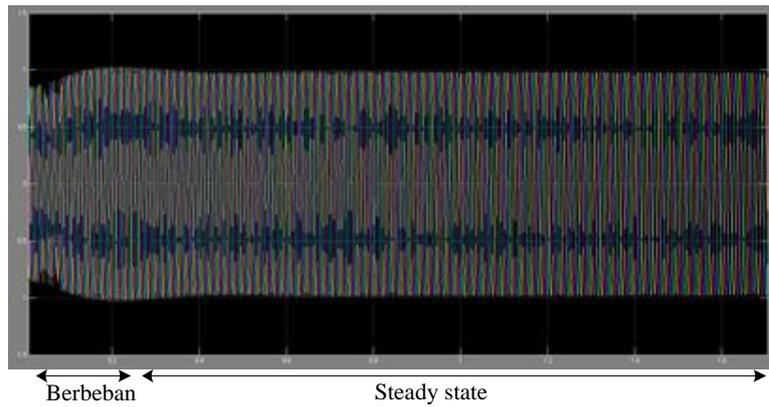


Gambar 13. Diagram simulasi generator dengan control P.I

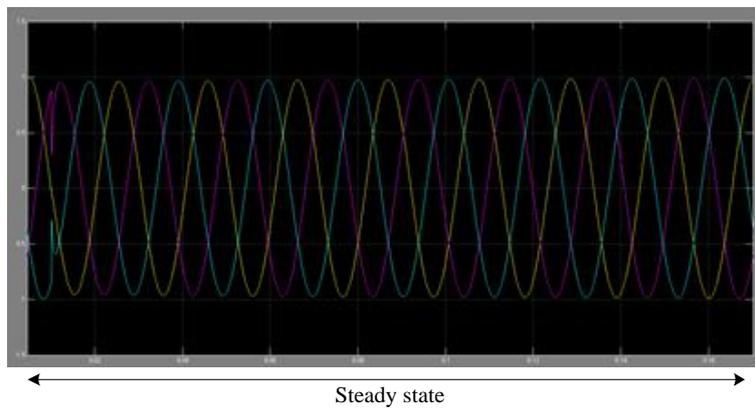
Gambar 12 memperlihatkan generator sinkron dengan sistem eksitasi tetap. Tegangan medan yang dibutuhkan sesuai dengan kapasitas generator. Gambar 13 memperlihatkan generator sinkron dengan masukan berupa tegangan medan yang berasal dari proses eksitasi *voltage regulator* dan juga berupa putaran mekanik dari penggerak mula yang diasumsikan bernilai konstan. Keluaran generator yang diinginkan digunakan disearahkan oleh *rectifier* yang di kontrol dengan pengendali PI agar didapat tegangan dc yang diinginkan. Tegangan dc yang dihasilkan oleh penyearah diatur oleh *voltage regulator*. Gambar 14(a) menunjukkan hasil simulasi generator tanpa beban dengan menggunakan eksitasi tetap. Gambar 14(b) menunjukkan hasil simulasi generator saat dibebani dengan menggunakan eksitasi tetap. Gambar 15(a) menunjukkan hasil simulasi generator tanpa beban dan menggunakan eksitasi dengan kontrol P.I. Gambar 15(b) menunjukkan hasil simulasi generator saat dibebani menggunakan eksitasi dengan kontrol P.I



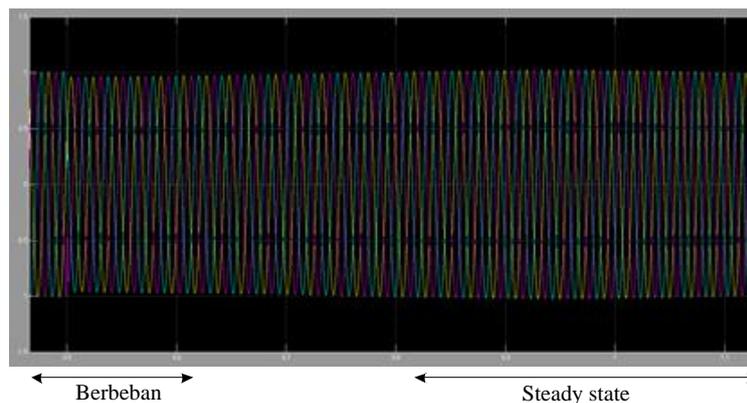
Gambar 14 (a). Beban nol dan eksitasi tetap



Gambar 14 (b). Berbeban dan eksitasi tetap



Gambar 15 (a). Beban nol dan menggunakan kontrol P.I



Gambar 15 (b). Berbeban dan menggunakan kontrol P.I

3.2 Analisis

Pada penelitian ini dilakukan dua simulasi utama. Dimana simulasi yang pertama eksitasi yang digunakan tetap, untuk simulasi yang kedua digunakan eksitasi yang dikontrol dengan menggunakan kontrol P.I. Pada Gambar 14(a) sinyal tegangan keluaran generator sinkron pada saat generator tanpa beban menggunakan eksitasi tetap. Untuk mencapai keadaan *steady state* pada 0,15 detik.

Sedangkan, Gambar 14(b) menunjukkan sinyal tegangan keluaran generator sinkron berbeban dengan menggunakan eksitasi tetap. Untuk mencapai keadaan *steady state* pada saat berbeban antara 1,2 detik.

Pada Gambar 15(a) sinyal tegangan keluaran generator sinkron pada saat generator tanpa beban dengan menggunakan kontrol eksitasi. Untuk mencapai keadaan *steady state* maka 0,12 detik.

Sedangkan Gambar 15(b) menunjukkan sinyal tegangan keluaran generator sinkron berbeban menggunakan kontrol eksitasi. Untuk mencapai keadaan *steady state* pada saat berbeban pada 0,6 detik.

Kondisi saat generator di bebani terjadi penurunan tegangan sesaat kemudian kembali ke tegangan nominal. Kenaikan tegangan ini dikarenakan fungsi dari eksitasi yang mensuplai arus dc ke kumparan medan dari generator sinkron.

Simulasi pada percobaan menggunakan eksitasi di mana untuk mencapai keadaan *steady state* cukup lama pada 0,6 detik dibandingkan saat menggunakan kontrol P.I.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pemodelan generator dan pengujian dengan menggunakan simulasi SIMULINK MATLAB didapat kesimpulan bahwa :

Pengendali PI yang dirancang telah bekerja dengan baik karena memiliki regulasi tegangan yang baik pasca terjadinya kesalahan.

Sinyal keluaran generator dari simulasi dapat diketahui bahwa untuk mencapai *steady state* didapat saat 0,15 detik, pada kondisi tanpa beban dengan menggunakan eksitasi tetap.

Sinyal keluaran generator dari simulasi dapat diketahui bahwa untuk mencapai *steady state* didapat saat 1,2 detik saat berbeban dan menggunakan eksitasi tetap.

Sinyal keluaran generator dari simulasi dapat diketahui bahwa untuk mencapai *steady state* didapat saat 0,12 detik ketika tanpa beban dan menggunakan eksitasi dan kontrol P.I.

Sinyal keluaran generator dari simulasi dapat diketahui bahwa untuk mencapai *steady state* didapat saat 0,6 detik saat berbeban dan menggunakan eksitasi dan kontrol P.I.

DAFTAR RUJUKAN

- Chapman,S.J., (1985), "*Electric Machinery Fundamentals*", Singapore : McGraw-Hill,Inc
- Ong, C.M., (1998), "*Dynamic Simulation of Electric Machinery*", Prentice Hall, New Jersey
- Kundur,P., (1998), "*Power Sistem Stability and Control*", Mc Graw-Hill, New York, 1993.
- Jadic, I., "*Modelling and Control of Synchoronous Generator With Electronic Load*", Virginia Polytechnic Institute and State Unuversity, Virginia
- Paz,R., (2001), "*The design of The PID Cotroller*", Klipsch School of Electrical and Computer Engineering
- Kreyszig, E., (2003), "*advance Engineering Mathematics*",Singapore : John Wiley and Sons, Inc
- Syahril, D., (2004), "*Perancangan automatic voltage regulator*",Bandung, Institut Teknologi Nasional
- Suhindra, A., (2004), "*Simulasi automatic voltage regulator*", Bandung, Institut Teknologi Nasional