

ANALISA PERUBAHAN BEBAN TERHADAP TEGANGAN PADA GENERATOR TURBIN GAS / GTG 15 MW (GI- 7001) MENGUNAKAN *AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR* (AVR) BERBASIS MATLAB.

Difa Amalia¹, Radiah², Suprihardi³

^{1,2,3}) Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: difaamalia321@gmail.com, supri@pnl.ac.id, radhiah@pnl.ac.id

Abstrak —PT Pupuk Iskandar Muda mensuplay listrik dari beberapa generator sebagai sumber tenaga pembangkit listrik yang dapat di sebutkan di antaranya adalah main generator (gi-7001), stand by generator (gi-7002), emergency generator (gh-7001) di antara generator tersebut memiliki fungsi masing masing serta perlu pengendalian dalam system generator turbin gas agar beban di terima sesuai dengan kerja generator. Salah satu piranti yang digunakan untuk mengendalikan tegangan pada generator adalah pengendali eksitasi dengan pengatur tegangan otomatis (AVR). Fungsi AVR ini untuk mempertahankan nilai tegangan keluaran generator turbin gas pada tingkat tertentu. Untuk menjaga nilai tegangan yang disesuaikan dengan beban dengan memasukan nilai PID kontrol dengan parameter $k_p = 4,55$, $k_i = 201$ dan $k_d = 2,6$ pada avr sehingga pada saat beban naik menjadi 17 MW avr akan mengontrol tegangan supplay dengan bantuan tegangan eksitasi, sehingga dapat menyesuaikan tegangan sesuai dengan kebutuhan beban sedangkan pada saat beban turun secara tiba tiba maka avr akan menurunkan tegangan dan akan menyesuaikan dengan beban.

Kata kunci: Generator, AVR, PID

I. PENDAHULUAN

Perkembangan yang pesat dalam bidang ketenagalistrikan sebagai akibat dari tuntutan konsumen (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 berakibat pada semakin jauhnya pusat-pusat pembangkit dengan beban. Untuk memenuhi kebutuhan listrik, PT Pupuk Iskandar Muda mensuplay listrik dari beberapa generator sebagai sumber tenaga pembangkit listrik yang dapat di sebutkan di antaranya adalah Main Generator (Gi-7001), Stand By Generator (Gi-7002), Emergency Generator (Gh-7001) di antara generator tersebut memiliki fungsi masing masing serta perlu pengendalian dalam system generator turbin gas agar beban di terima sesuai dengan kerja generator.

Salah satu piranti yang digunakan untuk mengendalikan tegangan pada generator adalah pengendali eksitasi dengan pengatur tegangan otomatis (AVR). Fungsi AVR ini untuk mempertahankan nilai tegangan keluaran generator turbin gas pada tingkat tertentu[1].

Perlu di ketahui bahwa daya reaktif beban akan mengakibatkan penurunan (*drop*) nilai tegangan keluaran generator. Nilai tegangan keluaran ini direspon (*sensed*) melalui transformator pembagi satu fasa yang selanjutnya diarahkan dan dibandingkan dengan sinyal dc yang ditetapkan (*referenced*).

Hasil perbandingan tegangan tersebut yang dikenal sebagai sinyal kesalahan (*error signal*) selanjutnya

dikuatkan melalui ampliflier untuk mengendalikan medan eksitasi dan menaikkan tegangan exciter sehingga arus medan generator menjadi naik yang diikuti juga oleh kenaikan kembali emf yang dibangkitkan generator pada level yang telah ditetapkan. Untuk melakukan studi tersebut di atas diperlukan alat simulasi yang digunakan untuk melihat respon keluaran dari setiap pemasangan AVR pada generator dengan model AVR yang bervariasi. Penulis akan mengangkat judul Tentang Analisa Perubahan Beban Terhadap Tegangan Pada Generator Turbin Gas / Gtg 15 Mw (Gi-7001) Menggunakan Automatic Voltage Regulator (Avr) Berbasis Matlab[2].

Pemilihan penggunaan software Matlab/simulink didasarkan pada pertimbangan kemudahan pemakaian (*user friendly*) serta kelengkapan fasilitas yang tersedia.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Generator Turbin Gas

Turbin gas itu adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari arus gas pembakaran. Kompresor berada di atas dipasangkan dengan turbin turun ke-bawah, dengan sebuah bilik pembakaran di-tengahnya. Pembakaran meningkatkan suhu, kecepatan dan volume dari aliran gas. Kemudian diarahkan melalui sebuah penyebar (*nozzle*) melalui baling-baling turbin, memutar turbin dan mentenagai kompresor.

Gas-turbine engine adalah suatu alat yang memanfaatkan gas sebagai fluida untuk memutar turbin dengan pembakaran internal. Di dalam turbin gas energi kinetik dikonversikan menjadi energi mekanik melalui udara bertekanan yang memutar roda turbin sehingga

menghasilkan daya. Sistem turbin gas yang paling sederhana terdiri dari tiga komponen yaitu kompresor, ruang bakar dan turbin gas. Udara masuk kedalam kompresor melalui saluran masuk udara (inlet). Kompresor berfungsi untuk menghisap dan menaikkan tekanan udara tersebut, sehingga temperatur udara juga meningkat. Kemudian udara bertekanan ini masuk kedalam ruang bakar. Di dalam ruang bakar dilakukan proses pembakaran dengan cara mencampurkan udara bertekanan dan bahan bakar. Proses pembakaran tersebut berlangsung dalam keadaan tekanan konstan sehingga dapat dikatakan ruang bakar hanya untuk menaikkan temperatur. Gas hasil pembakaran tersebut dialirkan ke turbin gas melalui suatu nozel yang berfungsi untuk mengarahkan aliran tersebut ke sudu turbin[1].

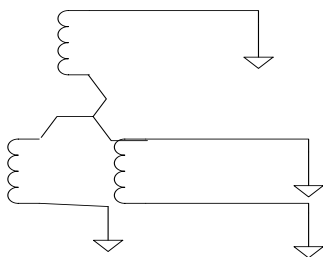
B. Pengaturan Tegangan Generator

Jika beban ditambahkan pada generator AC yang sedang bekerja pada kecepatan konstan dengan eksitasi medan konstan, tegangan terminal akan berubah. Besarnya perubahan akan bergantung pada rancangan mesin dan factor daya beban. Pengaturan generator sebagai presentase kenaikan tegangan terminal ketika beban dikurangi dari arus beban penuh ternilai sampai nol, dimana kecepatan dan eksitasi medan dijaga konstan[4]. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengaturan generator adalah sebagai berikut :

1. Penurunan tegangan IR pada lilitan jangkar
2. Penurunan tegangan IX_L pada lilitan jangkar
3. Reaksi jangkar (Pengaruh magnetisasi dari arus jangkar)

C. Sistem Tenaga Listrik 3 Fase

Pada sistem tenaga listrik 3 fase, idealnya daya listrik yang dibangkitkan, disalurkan dan diserap oleh beban semuanya seimbang, P pembangkitan = P pemakaian, dan juga pada tegangan yang seimbang. Pada tegangan yang seimbang terdiri dari tegangan 1 fase yang mempunyai magnitudo dan frekuensi yang sama tetapi antara 1 fase dengan yang lainnya mempunyai beda fase sebesar 120° listrik, sedangkan secara fisik mempunyai perbedaan sebesar 60° , dan dapat dihubungkan secara bintang (Y, wye) atau segitiga (delta, Δ , D)[2].

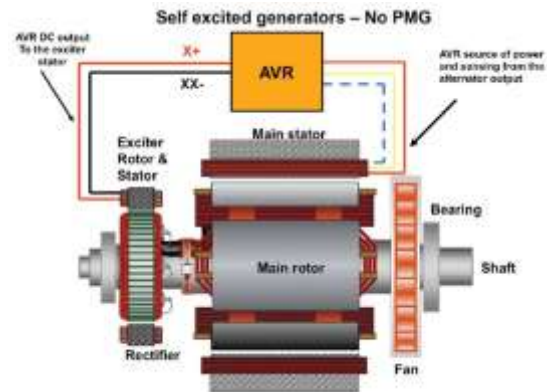


Gbr 1 Sistem 3 Fase

D. Sistem Eksitasi

Sistem eksitasi adalah sistem pasokan listrik DC sebagai penguatan pada generator listrik atau sebagai pembangkit medan magnet, sehingga suatu generator dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasinya.

Sistem eksitasi beserta kontrol *Automatic Voltage Regulator* dapat di lihat pada gambar 2 berikut ini:



Gbr 2. Sistem Eksitasi Beserta Kontrol AVR

D. *Automatic Voltage Regulator* (AVR)

Unit AVR (*Automatic Voltage Regulator*) berfungsi untuk menjaga agar tegangan generator tetap konstan dengan kata lain generator akan tetap mengeluarkan tegangan yang selalu stabil tidak terpengaruh pada perubahan beban yang selalu berubah-ubah dikarenakan beban sangat mempengaruhi tegangan output generator. Prinsip kerja dari AVR adalah mengatur arus penguatan (excitacy) pada exciter[3].

Apabila tegangan *output generator* di bawah tegangan nominal tegangan generator maka AVR akan memperbesar arus penguatan (*excitation*) pada exciter. Dan juga sebaliknya apabila tegangan *output Generator* melebihi tegangan nominal generator maka AVR akan mengurangi arus penguatan (*excitation*) pada exciter. Dengan demikian apabila terjadi perubahan tegangan output Generator akan dapat distabilkan. AVR secara otomatis dikarenakan dilengkapi dengan peralatan seperti alat yang digunakan untuk pembatasan penguat minimum ataupun maximum yang bekerja secara otomatis. AVR dioperasikan dengan mendapat satu daya dari *permanent magnet generator* (PMG) Serta mendapat sensor dari *potential transformer* (PT) dan *current transformer* (CT).

E. Aliran Daya

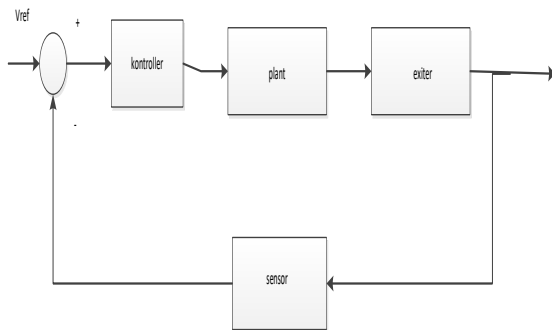
Aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif maupun daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik jaringan listrik pada keadaan operasi normal, baik yang sedang berjalan

maupun yang diharapkan akan terjadi di masa yang akan datang. Dengan studi aliran daya dapat mengetahui tegangan-tegangan pada setiap bus yang ada dalam sistem, baik magnitudo maupun sudut fasa tegangan, daya aktif dan daya reaktif yang mengalir dalam setiap saluran yang ada dalam system, kondisi dari semua peralatan, apakah memenuhi batasbatas yang ditentukan untuk menyalurkan daya listrik yang diinginkan[2].

III. METODOLOGI

A. Menentukan Parameter Kontrol PID Pada AVR

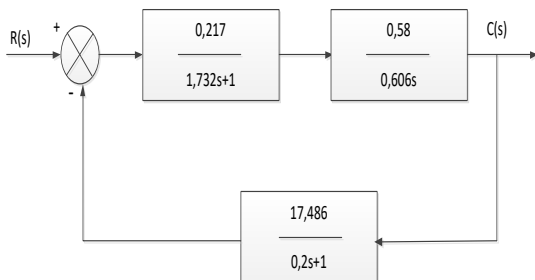
Untuk mendapatkan respon sistem yang sesuai dengan setpoint yang diberikan, maka dibutuhkan sebuah kontroler. Ada berbagai jenis kontroler dan berbagai macam metode pendekatan untuk mendapatkan nilai dari parameter kontroler. Pemilihan metode kontrol dipengaruhi oleh jenis plant yang akan diatur. Dalam proyek akhir ini kontroler yang digunakan adalah tipe PID (*Proportional-Integral-Derivatif*). Berikut ini adalah Blok diagram dari kontrol jenis PID[3].



Gbr 4 Diagram Blok Kontrol PID

C. Diagram Blok Pengendali PID (Proporsional + Integral + Derivative)

Setelah diagram blok pengendalian tanpa pengendali PID disederhanakan, Maka diperoleh diagram blok dengan pengendali PID yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gbr 5 Diagram Blok Dengan Pengendali PID

Mencari fungsi alih loop tertutup dengan pengendali PID (Proporsional + Integral + Derivative).

$$G(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \right) x \frac{1}{132,268 s^2 + 331,07s + 1} ;$$

$$h(s) = \frac{1}{0,05 s + 1}$$

$$G(s) = \frac{(Kps+Ki+Kds^2) 1}{132,268 s^2 + 331,07s + 1}$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)h(s)}$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} =$$

$$\frac{\frac{(Kps+Ki+Kds^2) 1}{132,268 s^2 + 331,07s + 1}}{1 + \frac{(Kps+Ki+Kds^2) 1}{132,268 s^2 + 331,07s + 1} x \frac{1}{0,05s+1}}$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\frac{(Kps+Ki+Kds^2) 1}{132,268 s^2 + 331,07s + 1}}{1 + \frac{(Kps+Ki+Kds^2) 1}{132,268 s^2 + 331,07s + 1} (0,05s + 1)}$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} =$$

$$\frac{(Kps+Ki+Kds^2) 1 (0,05s + 1)}{6,61 s^3 + 131,268 s^2 + 16,60 s^2 + 331,07s + 1 + (Kps+Ki+Kds^2) 1}$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{(Kps + Ki + Kds^2) 0,05s + 1}{6,61 s^3 + 132,268 s^2 + 16,60 s^2 + 331,07s + 1 + (Kps + Ki + Kds^2) 1}$$

Dengan menganggap unsur $T_i = \infty$ dan $T_d = \infty$ maka(Ogata, 1995);

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{Kp (0,05 s + 1)}{6,61 s^3 + 132,268 s^2 + 16,60 s^2 + 331,07s + 1 + (Kps + Ki + Kds^2) 1}$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{Kp (0,05 s + 1)}{6,61 s^3 + 148,868 s^2 + 331,07s + 2 Kp}$$

D. Tuning Pengendali PID

Tuning (penalaan) pengendali dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode. Pada tugas akhir ini, *tuning* (penalaan) pengendali PID (Proporsional + Integral + Derivative) dilakukan dengan perhitungan setting menggunakan metode *Ziegler-Nichols*

Dengan menganggap $T_i = \infty$ dan $T_d = \infty$ maka fungsi alih *loop* tertutup menjadi:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{Kp (0,05 s + 1)}{6,61 s^3 + 148,868 s^2 + 331,07 + 2 Kp}$$

Untuk menganalisa kestabilan sistem, maka digunakan metode kriteria *routh* agar dapat mengamati letak akar-akar dari karakteristik sistem. Deret *Routh*

dari persamaan karakteristik diatas adalah sebagai berikut[2]:

Persamaan karakteristik:

$$6,61 s^3 + 148,868 s^2 + 331,07 + 2 Kp = 0$$

Adapun matrixnya adalah:

$$B1 = \begin{bmatrix} 6,61 & 332,07 \\ 148,868 & kp \end{bmatrix}$$

$$B1 = \frac{148,868 \times 332,07 - 6,61 \times 2 Kp}{148,868}$$

$$B1 = \frac{49434,5 - 13,22 Kp}{148,868}$$

$$B2 = 0$$

$$C1 = \begin{bmatrix} 148,868 & kp \\ \frac{49434,5 - 13,22 Kp}{148,868} & 0 \end{bmatrix}$$

$$C1 = \frac{\frac{49434,5 - 13,22 Kp}{148,868} \times Kp}{\frac{49434,5 - 13,22 Kp}{148,868}}$$

$$C1 = Kp$$

$$C2 = 0$$

Dari Kriteria Routh diatas, agar sistem tetap stabil maka parameter pengendali Kp diperoleh:

$$\frac{49434,5 - 13,22 Kp}{148,868} > 0$$

$$49434,5 - 13,22 Kp > 0$$

$$49434,5 > 13,22 Kp$$

$$Kp < \frac{49434,5}{13,22} = 3739$$

Karena nilai kp terlalu besar maka akan di sederhanakan kembali sehingga :

$$Kp < \frac{3739}{148,868} = 25,117$$

$$Kp < \frac{25,117}{13,22} = 1,93$$

$$Kp > 0$$

Diperoleh $Kp > 0$ dan $Kp < 1,93$

Frekuensi osilasi dapat dicari melalui persamaan karakteristik sistem sebagai berikut:

Persamaan Karakteristik:

$$6,61 s^3 + 148,868 s^2 + 332,07s +$$

$$Kp$$

$$= 0$$

$S = j\omega$, maka:

$$6,61 (j\omega)^3 + 148,868 (j\omega)^2 +$$

$$331,07(j\omega) + (1 Kp)$$

$$= 0$$

$$6,61 (j\omega)^3 + 148,868 (j\omega)^2 +$$

$$331,07(j\omega) + (2(1,93))$$

$$= 0$$

$$6,61 (j\omega)^3 + 148,868 (j\omega)^2 +$$

$$331,07(j\omega) + (3,86)$$

$$= 0$$

$$6,61 j^3 \omega^3 + 148,868 j^2 \omega^2 + 331,07(j\omega) + 3,86 = 0$$

$$- 6,61 j^3 \omega^3 - 148,868 j^2 \omega^2 + 331,07(j\omega) + 3,86 = 0$$

$$- 6,61 \omega^3 + 331,07 \omega + j(148,868 \omega^2 - 3,86) = 0$$

Untuk mencari nilai frekuensi osilasi, maka digunakan bagian imajiner.

$$148,868 \omega^2 - 3,86 = 0$$

$$148,868 \omega^2 = 3,86$$

$$3,86 = 148,868 \omega$$

$$\omega = \frac{148,868}{3,86}$$

$$\omega = 38,56$$

Periode osilasi:

$$Pcr = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$Pcr = \frac{2 \times 3,14}{38,56} = 0,162 \text{ detik}$$

Sehingga, di peroleh nilai Kcr = **7,59** dan nilai Pcr = 0,162 detik.

Berdasarkan Metode *Ziegler-Nichols* maka diperoleh nilai Kp, Ki dan Kd yaitu:

F. Metode *Ziegler-Nichols*

Menentukan parameter PID dengan perhitungan setting *Ziegler-Nichols*, maka nilai Kp, Ki dan Kd diperoleh:

$$Kp = 0,6 Kcr$$

$$= 0,6 \times 3,86$$

$$= 2,316$$

$$Ti = 0,5 Pcr$$

$$= 0,5 \times 0,162$$

$$= 0,02$$

$$Ki = \frac{Kp}{Ti}$$

$$= \frac{2,316}{0,02}$$

$$= 115,8$$

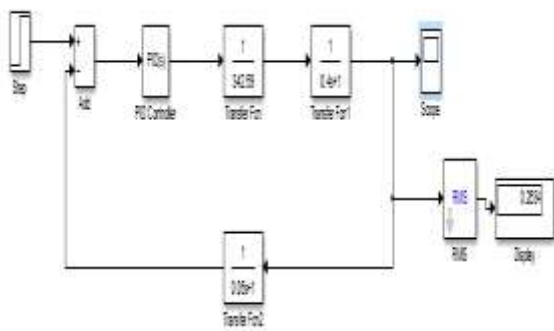
$$Kd = 0,125 Pcr$$

$$= 0,125 \times 0,02$$

$$= 0,0025$$

G. Pengujian Simulink pada parameter pid kontrol Pada Software Matlab

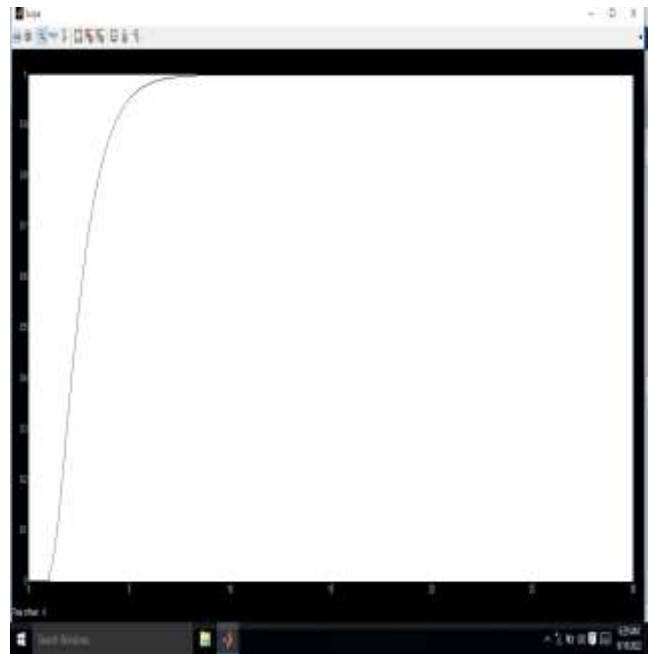
Untuk menentukan parameter kendali kp,ki dan kd dibutuhkan beberapa langkah permodelan sistem seperti mencari persamaan matematika pada plant, kemudian mencari persamaan karakteristik di batas kestabilan suatu sistem sehingga dapat menentukan nilai kcr (nilai kritikal) dan periode (pcr).hal ini dilakukan untuk mencari step respon yang baik, sehingga ketika nilai study state 1 maka menghasilkan step respon 1. Berikut contoh gambar 6 pengujian parameter pid kontrol menggunakan simulink pada matlab[4].



Gbr 6 Pengujian Parameter Pid Kontrol Menggunakan Simulink Matlab

H. Hasil Percobaan PID Kontrol Menggunakan Simulink

Adapun hasil percobaan PID kontrol pada AVR mengeluarkan respon yang stabil, dimana pada respon pertama dengan nilai kp sebesar 4,55, ki =201 dan kd = 2,6 menghasilkan respon yang stabil dengan rise time sekitar 0,1 second dengan overshoot sebesar 0% dari pada stady state 1 dengan nilai error 0% ,hal ini merupakan respon keluar dari nilai kp,kd dan ki dengan menggunakan metode zigler nichols. Dimana pada AVR (Automatic Under Voltage) belum diberikan beban pada generator turbin gas, berikut gambar hasil Tuning Dengan Metode trial dan error sesuai gambar 7 sebagai berikut.



Gbr 7 Hasil Tuning Dengan Metode Zigler Nichols Menggunakan Matlab

VI. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sistem

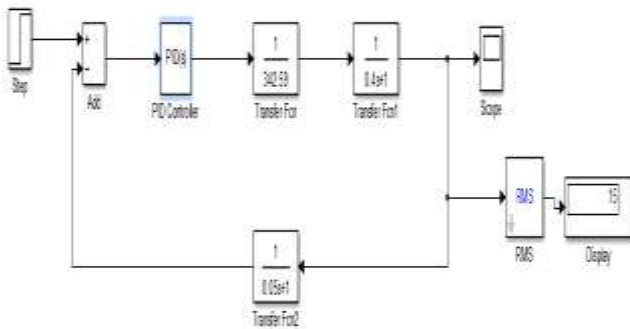
Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah sistem hasil perancangan AVR pada generator turbin gas dapat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi plant yang akan direncanakan. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan perubahan pada masukan SV (Setpoint Value) seperti tegangan masukan pada generator dengan memberi penguatan eksitasi pada rotor dengan bantuan arus DC yang akan membangkitkan medan magnet pada rotor sehingga akan menghasilkan output generator yang sesuai dengan beban dan mengamati respon sistem yang muncul. Karena menggunakan software matlab maka akan dianalisa hasil pengujian parameter tersebut. Dari data yang diperoleh nantinya akan dianalisis untuk dijadikan contoh dalam proses pengambilankesimpulan.

B. Pengujian Sistem Pada Software

Pengujian sistem pada software merupakan proses penyajian data yang akan terjadi pada saat sistem merespon perubahan SV (Setpoint Value) dan MV (Manipulated Value) pada saat diberikan manipulasi data yang berbeda. Serta dapat mengontrol perubahan pada sistem dengan mudah dan secara realtime, sehingga mempermudah operator lapangan dalam menganalisa dan mengontrol tegangan keluaran generator sesuai dengan beban sehingga dapat menghindari trip karena kelebihan tegangan pada beban yang akan dihasilkan.

C. Pengujian AVR (*Automatic Voltage Regulation*) Pada Beban Normal

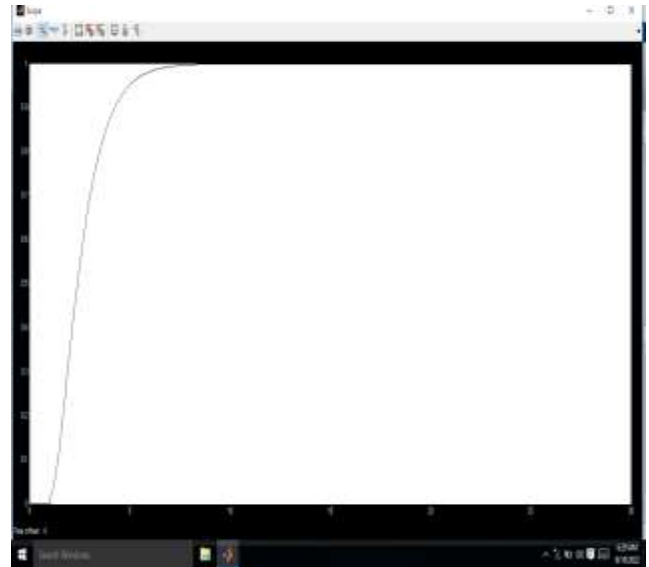
Pengujian dilakukan dengan mengatur parameter k_p , k_i dan k_d sesuai dengan perhitungan matematis yang telah dilakukan, yaitu $K_p = 4,398$ dan $K_i = 201$. Dan $k_d = 2,6$ yang akan disetting pada AVR, adapun beban aktif sebesar 15 MW dengan tegangan yang dibutuhkan sebesar 15 KV untuk mensuplay tegangan tersebut, sedangkan pada data lapangan generator turbin gas mensuplay sebesar 13.8 MVA, oleh karena itu AVR akan mengontrol tegangan keluaran dengan bantuan tegangan eksitasi yang akan membangkitkan medan magnet pada sisi rotor sehingga mampu menyesuaikan tegangan suplay dengan kebutuhan beban.



Gbr 8 AVR (*Automatic Voltage Regulation*) Pada Beban Normal

D. Hasil Respon Pengujian Pada AVR (*Automatic Voltage Regulation*)

Step respon pada hasil pengujian AVR adalah dimana dengan beban 15 MW dibutuhkan tegangan suplay sebesar 15 KV hal ini dapat kita lihat pada hasil respon dengan display, perubahan tegangan akan disesuaikan dengan beban, dimana ketika beban berkurang melebihi kebutuhan normal pada biasanya maka pid kontrol pada avr akan menstabilkan tegangan sesuai dengan kebutuhan beban generator, adapun pada pengujian ini menghasilkan respon yang baik dengan rise time sebesar 0,1 secon sedangkan untuk mendapati waktu ketetapan beroperasi membutuhkan waku sebesar 0,75 second , ketika respon pertama mengalami overshoot sebesar 0% dari waktu beroperasi normal, hal tersebut terjadi sesuai suplay tegangan dengan kebutuhan beban pada generator, sehingga tegangan tetap beroperasi sebesar 15 KV dengan suplay generator 13,8 KV .Adapun hasil pengujian pada respon AVR dengan melihat data pada scope simulink.



Gbr 9. Hasil Pengujian AVR Menggunakan Simulink

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Step respon pada AVR menggunakan kontrol PID yang berfungsi untuk menjaga kestabilan pada sistem dalam kondisi operasi normal, namun apabila beban bertambah atau berkurang secara tiba tiba maka AVR akan menjaga tegangan suplay yang disesuaikan dengan perubahan pada kondisi beban.
2. Beberapa parameter yang di telah di uji menghasilkan respon yang berbeda-beda dimana Ketika beban 15 MW pada operasi normal generator membutuhkan tegangan suplay sebesar 15 KV, hal ini sama dengan respon Ketika beban bertambah secara tiba-tiba sebesar 17 MW maka membutuhkan tegangan suplay sebesar 15 KV hal ini di karenakan fungsi utama AVR yang mengontrol tegangan sesuai dengan kebutuhan pada beban, sedangkan pada parameter beban yang berkurang sebesar 12 MW secara otomatis tegangan suplay beroperasi sesuai dengan beban sebesar 11 KV.
3. Pada perhitungan analisa daya dengan menentukan tegangan tiap bus dimana pada bus tertentu memiliki fungsi masing – masing, bus pertama sebagai bus referensi dengan tengagan kapasitas generator 21.3 MVA dan 3 MVA kemudian bus kedua sebagai bus pengontrol tegangan biasa dipakai untuk AVR (*automatic voltage regulation*) sedangkan pada bus ketiga

berfungsi sebagai beban P dan Q dimana pada generator terdapat 2 beban yaitu beban aktif dan beban reaktif.

REFERENSI.

- [1] Kamal, Muhammad. 2010. **Dasar Sistem Kendali** Modul Ajar Program Studi Instrumentasi dan Otomasi Industri Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- [2] Mohammad noer.(2017). **Untuk Mengetahui Nilai Efisiensi Generator Dan Rugi Daya Pada PLTG Borang**, dilakukan perhitungan secara manual serta menggunakan software MATLAB.
- [3] Ogata, Katsuhiko. 1997. **Teknik Kontrol Automatic (Sistem Pengaturan)**. Jilid I, Terjemahan Edi Laksono. Bandung : Erlangga.
- [4] Suprihardi.(2020). **AVR Untuk Mengatur Tegangan Eksitasi Agar Tegangan Generator Tetap Dan Stabil**