

Pengaturan Pencegahan *Over-eksitasi* Pada Generator Sinkron 20MW Menggunakan *Distributed Control System* Di PLTP Lahendong Unit 2

Aaron Kevin Sidabutar¹⁾, Abdul Haris Junus Ontowirjo²⁾, Glanny M. Ch. Mangindaan³⁾
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu, 95115, Indonesia
E-mail: aaron.sidabutar@gmail.com¹⁾, aharisjo@unsrat.ac.id²⁾, glanny_m@unsrat.ac.id³⁾

Abstract — *Excitation is one of the most crucial parts of the synchronous generator system, where excitation plays a role in forming / producing a time-changing flux, resulting in an induced EMF. After the AC generator reaches nominal speed, the field is excited from the DC supply. At a certain time, the excitation will also experience a drastic increase which can cause overexcitation of the generator. In this research, we will observe the excitation voltage at the 20MW synchronous generator at PLTP Lahendong Units 1 and 2, and get a solution to overcome the over-excitation problem that occurs due to several things such as high loads on the generator and also incorrect readings on the DCS card which can cause sudden trips. In the generator system, therefore it takes a means of manually adjusting the excitation to overcome this problem. In this study also listed the ideal thyristor opening angle value at each load as a means of adjusting the excitation value from PMG to the exciter with an average value ranging from 60° to 90°.*

Keywords — *Synchronous Generator, Overexcitation, Excitation control, Distributed Control System.*

Abstrak — Eksitasi merupakan salah satu bagian yang paling krusial pada *system* di *Generator Sinkron*, dimana eksitasi berperan untuk membentuk/menghasilkan *fluks* yang berubah terhadap waktu, sehingga dihasilkan satu *GGL induksi*. Setelah *generator AC* mencapai kecepatan *nominal*, medannya dieksitasi dari *catu DC*. Pada waktu tertentu, eksitasi juga akan mengalami kenaikan derastis yang dapat menyebabkan *overeksitasi* pada *generator*. Pada penelitian kali ini akan diamati tegangan eksitasi pada *Generator sinkron 20MW* di *PLTP Lahendong Unit 2*, serta mendapatkan solusi untuk menanggulangi masalah *over-eksitasi* yang terjadi dikarenakan beberapa hal seperti tingginya beban pada *generator* dan juga salahnya pembacaan pada *card DCS* yang dapat menyebabkan *trip mendadak* pada *system Generator*, oleh karena itu dibutuhkan sarana pengaturan eksitasi secara *manual*

untuk menanggulangi masalah tersebut. Dalam penelitian ini juga tercantum nilai sudut pembukaan *thyristor* yang *ideal* pada tiap beban sebagai sarana pengaturan nilai eksitasi dari *PMG* menuju *exciter* dengan rata-rata nilai berkisar dari 60o sampai 90o.

Kata kunci — *Generator Sinkron, Overeksitasi, Pengaturan eksitasi, Distributed Control System.*

I. PENDAHULUAN

Sistem eksitasi pada *generator* merupakan *system* penyuplai listrik searah (*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 pada pembangkitan listrik memang sangat diperlukan, namun eksitasi yang diterima oleh *generator* tidak boleh sampai melebihi *standard*-nya yang bisa mengakibatkan putaran yang terlalu cepat dan bisa mengakibatkan *generator* panas dan juga tingkat kebisingan yang lebih ataupun kurang dari *standard*-nya yang bisa mengakibatkan putaran yang terlalu pelan sehingga suplai yang dihasilkan tidak mencapai spesifikasi. Hal seperti ini kerap terjadi pada beberapa pembangkit. Beberapa pembangkit sering mengalami *over-excitation* karena lebihnya suplai eksitasi yang diberikan dari *PMG* menuju *exciter* dan dapat menyebabkan *trip mendadak*. Hal ini menyebabkan kerugian waktu operasi karena *generator* yang seharusnya tidak kelebihan eksitasi atau *normal* malah dibaca kelebihan eksitasi. Hal lain juga biasa terjadi dimana eksitasi yang diterima *generator* sudah cukup, namun pada *DCS* terbaca kurang, sehingga dapat menyebabkan eksitasi berlebih. Nilai eksitasi yang diberikan *PMG* memang bergantung dari seberapa besar torsi dan putaran yang diberikan dari turbin, namun nilai itu dapat diatur pula dengan memberikan nilai sudut buka pada *thyristor* yang berada pada jalur *PMG* ke *exciter*.

Dalam studi ini, akan dibahas tentang pengaturan eksitasi yang masuk dari *PMG* ke *exciter*. Pada hal ini akan dibuat pula perhitungan sudut penyalaaan *thyristor* untuk dapat menjadi *input* manual pada sistem *monitor* apabila pada *DCS* mengalami kesalahan pembacaan.

A. Penelitian Terkait

Dalam penelitian ini, penulis mengambil beberapa penelitian terkait sebelumnya untuk menjadi acuan sehingga dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan serta dapat menghindari adanya duplikasi. Hal ini bermanfaat agar penelitian yang dilakukan dapat memiliki arti dan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan.

- 1) Penelitian oleh Annas Alatas Sukmahadi pada tahun 2018 dengan judul “Simulasi Pemodelan *System* Eksitasi Statis Pada *Generator Sinkron* Terhadap Perubahan Beban”. Dalam penelitian ini dijelaskan bahwa, *system* eksitasi *statis* yang terdiri dari transformator dan *thyristor* terhubung dalam konfigurasi jembatan telah diimplementasikan dalam mesin *sinkron* yang beroperasi sebagai *generator* berkapasitas 206,1 MVA, 16,5 kV dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *MATLAB Simulink R2017b*. Dengan menyesuaikan beban yang diberikan pada *generator*, variasi arus eksitasi dapat mempengaruhi besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *generator* sehingga dapat menaikkan dan menurunkan tegangan induksi. [1]
- 2) Penelitian oleh Basofi, Ir.Syamsul Amien, M.S pada tahun 2014 dengan judul “Studi Pengaturan Arus Eksitasi Pada *Generator Sinkron* Yang Bekerja Paralel Terhadap Perubahan Faktor Daya”. Dalam penelitian ini dilakukan pengaturan arus eksitasi pada masing-masing *generator* sehingga didapat bahwa pada beban R-L bila arus eksitasi pada *generator* pertama dikurangi dan yang lain diperbesar maka memiliki daya reaktif -0,002 A dengan faktor daya 0,998 *leading* sedangkan *generator* kedua memiliki daya reaktif 0,173 A dengan faktor daya 0,64 *lagging*. Kemudian pada saat arus eksitasi diatur pada salah satu *generator* maka akan memiliki batas pengaturan agar tidak terjadi lepas *sinkron* yakni memiliki batas pengurangan sebesar 0,10 A dan penambahan 0,30 A. [2]
- 3) Penelitian oleh R. Gerha Terimananda tahun 2016 dengan judul “Studi Pengaturan Arus Eksitasi untuk Mengatur Tegangan Keluaran *Generator* di PT Indonesia Power UBP Kamojang Unit 2”. Pengaturan tegangan keluaran *generator* dilakukan dengan mengatur arus eksitasi *generator*. *System* pengaturan arus eksitasi *generator* memakai *Automatic Voltage Regulator (AVR)*. Didalam *AVR* pada pembangkit listrik di PT. Indonesia Power UBP Kamojang Unit 2 memakai *system* tegangan keluaran *PMG* yang disearahkan oleh *semikonverter*, kemudian dimasukkan ke kumparan medan *AC-Exciter* dan tegangan keluaran dari *AC-Exciter* disearahkan oleh *diode* penyearah dan diberikan ke kumparan medan *generator* utama. [3]

- 4) Penelitian oleh Her Sepannur Bandri pada tahun 2013 dengan judul “Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap karakteristik *Generator Sinkron*”. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji dan melihat kinerja *generator sinkron* tiga fasa terhadap perubahan beban daya aktif. Dari hasil analisa diperoleh bahwa semakin bertambahnya beban maka GGL induksi juga akan naik dan arus medan juga naik dimana GGL induksi yang di dapat pada saat beban puncak dari faktor daya *lagging* adalah 6397.211 V dan arus medan 304.629 A, GGL induksi pada faktor daya *leading* adalah 6043.474 V dan arus medan 287.784 A. [4]

B. *Generator Sinkron*

Generator merupakan sumber utama energi listrik dalam *system* tenaga, sehingga kinerja dari *generator* mempengaruhi operasi jaringan listrik. *Generator* adalah mesin listrik berputar yang mengubah energi *mekanis* menjadi energi listrik berdasarkan induksi *magnet*. Unsur utama untuk membangkitkan listrik secara induksi adalah [1]:

- 1) Medan *magnet*
- 2) Penghantar (kumparan)
- 3) Kecepatan relatif

Generator sinkron (juga disebut dengan alternator) terdiri dari dua bagian utama yaitu *stator* dan *rotor*. *Stator* adalah bagian dari *generator sinkron* yang diam, yang mana *stator* ini merupakan tempat dibangkitkannya tegangan induksi. Sedangkan *rotor* adalah bagian dari *generator sinkron* yang berputar secara *mekanis* yang digunakan untuk menghasilkan medan *magnet* dan menginduksi tegangan disekitar kumparan *stator*.

Dalam pemodelan mesin *sinkron*, medan *magnet* diciptakan oleh arus eksitasi karena melalui gulungan eksitasi. Oleh karena itu dapat dianggap sebagai masukan ke dalam mesin. Masukan lainnya adalah daya *mekanis* yang disediakan oleh turbin. [1]

C. *Software MATLAB*

MATLAB adalah sebuah bahasa dengan kinerja tinggi untuk komputasi masalah teknik. *MATLAB* mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam suatu *model* yang sangat mudah untuk pakai dimana masalah-masalah dan penyelesaiannya diekspresikan dalam notasi matematika yang familiar. Penggunaan *MATLAB* meliputi

- Matematika dan komputasi
- Pembentukan algoritma
- Akuisisi data
- Pemodelan, simulasi, dan pembuatan prototype
- Analisa data, eksplorasi, dan visualisasi
- Grafik keilmuan dan bidang rekayasa

MATLAB merupakan perangkat standar untuk memperkenalkan dan mengembangkan penyajian materi matematika, rekayasa dan keilmuan. Di industri, *MATLAB* merupakan perangkat pilihan untuk penelitian dengan produktifitas yang tinggi. [5]

D. Daya 3 Fasa

Konsumsi total daya terdiri dari daya aktif dan reaktif. Dalam beban tiga fase seimbang, daya total tiga fase sama dengan tiga kali daya satu fase. Bentuk hubungan antara daya yang telah disebutkan dapat dinyatakan dengan merepresentasikan daya-daya tersebut sebagai vektor yang disebut dengan representasi segitiga daya.

Gambar 1 menunjukkan representasi segitiga daya dimana S adalah daya semu yang disediakan oleh sumber daya yang dinyatakan dalam satuan VA. P adalah daya aktif yang setara dengan energi yang dapat dimanfaatkan beban yang dinyatakan dalam satuan Watt. Q adalah daya reaktif yang timbul karena reaktansi beban atau saluran pada batas VA tertentu yang dapat menyebabkan pergeseran faktor daya, dinyatakan dalam satuan VAR. [6]

E. System Eksitasi

Bagian penting dari generator sinkron adalah system eksitasi. Fungsi dasar dari system eksitasi yaitu menyediakan sumber DC ke kumparan medan generator sinkron. Gambar 2 menjelaskan rangkaian ekivalen dari system eksitasi, dimana tegangan eksitasi (V_f) sebagai input ke dalam sebuah rangkaian. Kumparan medan memiliki resistansi medan (R_f) yang menghasilkan hubungan fluks dengan stator (λ_f).

System eksitasi pada generator sinkron dapat diklasifikasikan dalam dua kategori yaitu system eksitasi AC dan statis. System eksitasi AC menggunakan mesin AC untuk eksitasi generator. Exciter biasanya ditempatkan pada poros yang sama dengan turbin. Output AC dari exciter diperbaiki oleh penyearah terkontrol atau tidak terkontrol untuk menyediakan DC ke kumparan medan generator.

Selama pada proses start up, ketika tidak ada keluaran dari generator atau dengan kata lain karena generator tidak dapat menghasilkan tegangan tanpa tegangan eksitasi, maka generator harus memiliki sumber daya tambahan untuk menyediakan arus eksitasi yaitu berupa bank baterai besar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, dimana proses ini dikenal sebagai field flashing. [7]

F. Dasar Kontrol Tegangan dan Daya Reaktif

Secara dinamis mempertahankan tegangan konstan dalam system daya adalah persyaratan mendasar dalam kualitas daya. Beban pasif (resistif-induktif, resistif-kapasitif) dan beban aktif membutuhkan daya aktif dan daya reaktif dalam system tenaga listrik.

Daya reaktif merupakan daya penyeimbang untuk mempertahankan batas-batas nilai tegangan keluaran pada generator. Pada waktu peralihan saat terjadinya perubahan beban, daya reaktif pada generator sinkron sangat diperlukan untuk menstabilkan tegangan agar tegangan tersebut mampu mendorong arus ke beban.

Kontrol tegangan erat kaitannya dengan keseimbangan daya reaktif dalam system daya, dikarenakan ketergantungan beban daya reaktif pada tegangan sangat penting. Daya reaktif dapat dihasilkan atau diserap oleh kontrol tegangan eksitasi dari generator sinkron dengan menggunakan Automatic Voltage Regulator (AVR). [8]

G. Thyristor

System penyearah dalam system eksitasi merupakan komponen yang sangat penting karena peranannya mencatu daya DC ke kumparan medan. Dalam system tiga fase yang terhubung ke jembatan enam pulsa, thyristor akan menyala dengan selang waktu $\pi/3$. Jenis pengaturan tersebut dikenal dengan rangkaian jembatan gelombang penuh, dapat dilihat pada gambar 4.

Keluaran rata-rata tegangan DC (V_{dc}) dari system penyearah yang dijelaskan dapat diintegrasikan pada setiap interval $\pi/3$, termasuk sudut pemacu (α), persamaan integralnya dapat dilihat pada (1) dan (2) [9]

$$V_{dc} = \frac{3}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\frac{\pi}{3}} \sqrt{3} V_{peak} \cos(\omega t - 30) d\omega t \quad (1)$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_{peak} \cos \alpha \quad (2)$$

Dengan diberikannya syarat nilai tegangan line-to-line, hasil keluaran rata-rata tegangan DC (V_{dc}) dihitung dalam persamaan (3)

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{LL} \cos \alpha \quad (3)$$

H. Parameter Generator Sinkron pada MATLAB

Diagram blok pada aplikasi MATLAB dijalankan menggunakan beberapa parameter yang dibutuhkan sesuai dengan keperluan rangkaian yang dijalankan. Pada diagram blok generator sinkron itu sendiri terdapat persamaan parameter sebagai berikut :

1) Tahanan Armature (R_s)

Untuk menghitung tahanan armature (R_s), maka perlu kita ketahui nilai Tegangan armature (V_s) dan Arus pada armature (I_s) dengan persamaan (4) [10]

$$R_s = V_s / I_s. \quad (4)$$

2) Synchronous Reactance (X)

Untuk menghitung nilai X , kita gunakan persamaan (5) dari. [11]

$$X_{ds} = \frac{V_{max}}{I_{min}} \quad (5)$$

Dengan X_d untuk sumbu d dan X_q untuk sumbu q

3) Magnetic Reactance (X_m)

Untuk menghitung nilai X_d , kita gunakan persamaan (6) dan (7) dari. [10]

$$X_{mq} = X_q - X_s \quad (6)$$

$$X_{md} = X_d - X_s \quad (7)$$

4) Basic armature constant (K_a)

Nilai K_a dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (8). [10]

$$T_{em} = \frac{PZ}{2\pi a} \phi I_a = k_a \phi I_a \quad Nm \quad (8)$$

5) *D-axis dan Q-axis Transient reactance (X'd, X'q)*

Nilai reaktansi *transient* dari sumbu d dan q dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (9). [10]

$$X'_d = X_{ls} + \frac{x_{md}x'_{lf}}{x_{md} + x'_{lf}} \quad (9)$$

6) *D-axis dan Q-axis Sub Transient reactance (X''d, X''q)*

Nilai reaktansi sub *transient* dari sumbu d dan q dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (10). [10]

$$X''_d = X_{ls} + \frac{x_{md}x'_{lf}x'_{lkd}}{x_{md}x'_{lf} + x_{md}x'_{lkd} + x'_{lf}x'_{lkd}} \quad (10)$$

7) *Transient rotor time constant (Tpo)*

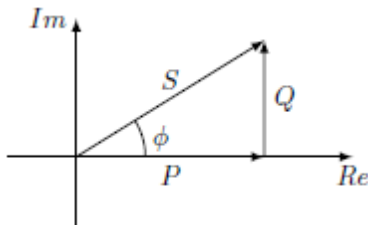
Nilai *transient* waktu konstan rotor pada sumbu d dan q didapatkan melalui persamaan (11). [10]

$$T'_{do} = \frac{1}{\omega_b r'_{fd}} (x'_{lf} + x_{md}) \quad (11)$$

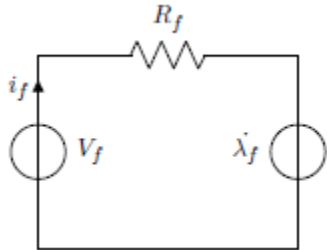
8) *Sub transient rotor time constant (Tppo)*

Nilai sub *transient* waktu konstan rotor pada sumbu d dan q didapatkan melalui persamaan (12). [10]

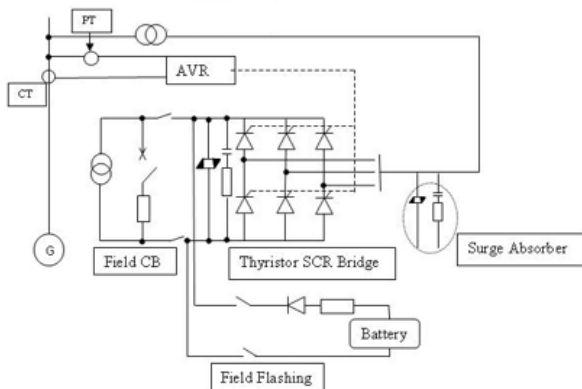
$$T''_{do} = \frac{1}{\omega_b r'_{kfd}} \left(x'_{lkd} + \frac{x_{md}x'_{lf}}{x_{md} + x'_{lf}} \right) \quad (12)$$



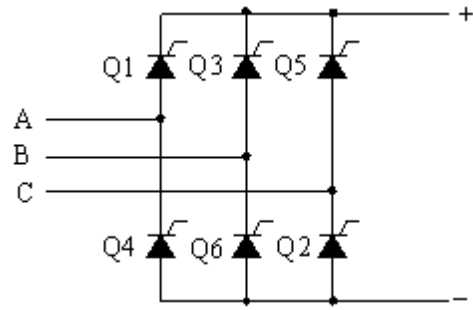
Gambar 1 Representasi Segitiga Daya



Gambar 2 Rangkaian Ekuivalen System Eksitasi



Gambar 3 Field Flashing pada Generator Sinkron



Gambar 4 Thyristor Controlled Rectifier

II. METODE PENELITIAN

A. Objek dan Tempat Penelitian

1) *Objek Penelitian*

Dalam Penelitian ini objek yang akan diteliti adalah *Generator sinkron 25 MVA* pada PLTP Lahendong Unit 2

2) *Tempat Penelitian*

Tempat penelitian dan pengambilan data berada di PLTP Lahendong Unit 2.

Lokasi Tempat penelitian pada google maps dapat dilihat pada gambar 5 :

B. Alat dan Bahan

1) *Alat Penelitian*

- DCS pembangkit
- Laptop ASUS A455L
- Software MATLAB r2013

2) *Bahan Penelitian*

- Rating plate Generator Sinkron 25MW (GEC ALSTOM)
- Data karakteristik rotor
- Data karakteristik stator
- Sheet grafik saturation curves

C. Metode Penelitian

1) *Membuat Perencanaan*

Menetapkan Jadwal dan jangka waktu untuk studi kasus di lapangan. Studi kasus dilapangan akan dilakukan langsung di PLTP Lahendong Unit 2 dalam waktu paling lama 2 bulan yaitu pada bulan Juni – Agustus yang akan diiringi dengan percobaan simulasi mandiri yang dilakukan di lab Tenaga Listrik dan juga dari aplikasi MATLAB

2) *Studi Lapangan*

Melakukan penelitian langsung ke *system* pembangkit tenaga listrik untuk mendapatkan data dengan jangka waktu paling lama 2 bulan. Dalam studi lapangan, akan diambil data-data dari *rating plate generator* terdapat PLTP lahendong Unit 2 serta mengamati masalah pada *system* eksitasi yang dikontrol menggunakan DCS. Data-data yang diambil berupa umur alat, arus dan tegangan pada PMSG, stabilitas putaran pada PMSG, data terkait terakhir kali terjadi deteksi over excitation, dan perbandingan nilai aktual dan nilai yang tertera pada DCS.

3) Melakukan Simulasi

Membuat simulasi pembangkitan pada aplikasi *MATLAB* berupa mekanisme *input* torsi mekanik dan proses *generating* pada mesin *sinkron*

4) Analisa Data Simulasi

Yang paling pertama dilakukan adalah mencoba apakah simulasi yang dibuat belajar dengan baik atau tidak. Jika sudah berjalan dengan baik, maka akan dilakukan perbandingan antara simulasi dan pengontrolan di aktual untuk mengetahui letak masalah pada *system* kontrol aktual.

5) Membuat Kesimpulan

Membuat kesimpulan serta hasil akhir berdasarkan pemecahan masalah yang didapatkan dalam simulasi dan pengamatan aktual.

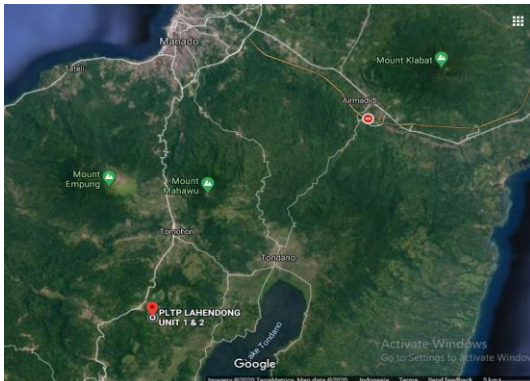
D. Kerangka berfikir

Kerangka berfikir dapat dilihat pada Gambar 6

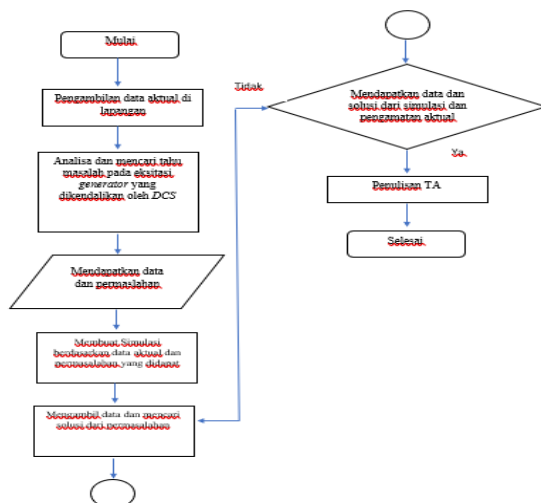
E. Data Penelitian

1) Data Spesifikasi Generator sinkron

Generator sinkron yang digunakan sebagai referensi dan acuan untuk penelitian ini adalah *generator sinkron* milik PLTP Lahendong, Sulawesi Utara. Berikut merupakan data spesifikasi dari *generator sinkron* yang dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 5 Peta PLTP Lahendong Unit 1 & 2



Gambar 6 Kerangka Berfikir

TABEL I TABEL SPESIFIKASI *GENERATOR SINKRON*

| Deskripsi | Satuan | Nilai |
|--------------------|--------|----------|
| Tipe | - | T180-180 |
| Jumlah Fasa | Φ | 3 |
| Output rata-rata | MVA | 25.0 |
| Tegangan rata-rata | V | 11000 |
| Arus rata-rata | A ~ | 1312 |
| Faktor daya | - | 0.8 |
| Kecepatan | rpm | 3000 |
| Frekuensi | Hz | 50 |
| Tegangan eksitasi | V | 171 |
| Arus eksitasi | A | 476 |

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rancang Bangun dan Design diagram blok

1) Design diagram blok Generator Sinkron 25MV pada MATLAB

Pada gambar 7 merupakan *diagram blok* dari *Generator sinkron* yang dibuat menggunakan *Simulink* dari aplikasi *MATLAB* dan diambil menggunakan aplikasi *snipping tool*.

2) Diagram di dalam Tmodel rangkaian Blok berikutnya merupakan diagram Generator dari masukkan Ef, Vq, dan Vd, dimana input Ef akan diintegrasikan dan mengalami gain Bersama dengan output feedback nilai Id yaitu hasil dari masukkan Vq dan Vd pada stator seperti pada gambar 8

3) Diagram blok fungsi VIPQ

Untuk nilai V_t , I_{gen} , P_{gen} , dan Q_{gen} didapat dengan memproses masukkan nilai V_{dt} , V_{qt} , I_d , dan I_q dapat dilihat pada gambar 9.

B. Perhitungan parameter generator sinkron PLTP lahendong unit 2

Diagram blok yang telah dibuat kemudian akan diberikan *parameter* sebagai nilai *input* untuk dijalankan pada *program* m1. *Parameter* tersebut didapatkan melalui perhitungan menggunakan data spesifikasi yang sudah ada.

1) Tahanan Armature (RS)

Untuk menghitung tahanan *armature* (R_s), maka perlu kita ketahui nilai Tegangan *armature* (V_s) dan Arus pada *armature* (I_s) dengan persamaan (4), maka didapatkan hasil sebagai berikut :

$$V_s = 171 \text{ V}$$

$$I_s = 476 \text{ A}$$

$$R_s = 171 \text{ V} / 476 \text{ A} = 0,3592 \Omega$$

2) D-axis synchronous reactance (Xd)

Untuk menghitung nilai X_d adalah dari persamaan (5) Didapatkan hasil : $X_d = 11.000 \text{ V (Vmax)} / 197 \text{ A (I min)} = 55,83 \text{ p.u}$

3) -Q-axis synchronous reactance (Xq)

Untuk menghitung nilai X_q adalah dari persamaan (5) Didapatkan hasil : $X_q = 11.000 \text{ V (Vmin)} / 540 \text{ A (I max)} = 20,37 \text{ p.u}$

4) D-axis dan Q-axis synchronous magnetic reactance (Xmd, Xmq)

Untuk menghitung nilai X_d , kita gunakan persamaan (6) dan (7). Dengan mendapatkan nilai *stator leakage resistance* (X_l) dari persamaan 2.21 sebesar 8,384 p.u dari persamaan :

Maka dapat dihitung :

$$X_{mq} = 20,37 - 8,384 = 11,986 \text{ p.u}$$

$$X_{md} = 55,83 - 8,384 = 47,446 \text{ p.u}$$

- 5) D-axis dan Q-axis *Transient reactance* ($X'd$, $X'q$)
 Nilai reaktansi *transient* dari sumbu d dan q dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (9). Dengan menggunakan nilai yang telah didapatkan sebelumnya, maka diperoleh nilai $X'd$ sebesar 0,1671 p.u, sedangkan nilai $X'q$ didapatkan dengan mensubstitusi nilai X_{md} dengan nilai X_{mq} , didapatkanlah nilai $X'q$ sebesar 0,4559 p.u.
- 6) D-axis dan Q-axis *Sub Transient reactance* ($X''d$, $X''q$)
 Nilai reaktansi *sub transient* dari sumbu d dan q dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (10). Untuk nilai $X'lf$, kita dapatkan Dengan nilai :

$$x'lf = 0,1671 - 8,384 = -8,2169 \text{ p.u}$$

Dengan menggunakan nilai yang telah didapatkan sebelumnya, maka diperoleh nilai $X''d$ sebesar 0,509 p.u, sedangkan nilai $X''q$ didapatkan dengan mensubstitusi nilai X_{md} dengan nilai X_{mq} , didapatkanlah nilai $X''q$ sebesar 0,2709 p.u

- 7) *Basic Armature constant* (K_a)
 Nilai K_a dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (8)
 Dari persamaan diatas, dapat dibuat persamaan berikut

$$E_s = K_s \Phi \omega = \frac{\Phi n Z}{60} \left(\frac{P}{A} \right); \quad (13)$$

$$K_s = \frac{ZP}{2\pi A} \quad (14)$$

Dengan menggunakan nilai impedansi (Z) yaitu 1,363 dan $A = 8$, maka didapatkan $K_a = 0,217$ p.u

- 8) D-axis *transient rotor time constant* (T_{pdo})
 Nilai *transient* waktu konstan *rotor* pada sumbu d didapatkan melalui persamaan (11).
 Dengan menggunakan nilai yang sudah didapat sebelumnya, didapatkan nilai $T'do$ yaitu 11,73 s.
- 9) Q-axis *transient rotor time constant* (T_{pqo})
 Nilai *transient* waktu konstan *rotor* pada sumbu d didapatkan melalui substitusi nilai x_{md} dengan x_{mq} dari persamaan (11).
 Dengan menggunakan nilai yang sudah didapat sebelumnya, didapatkan nilai $T'do$ yaitu 1,1277 s.
- 10) D-axis *sub transient rotor time constant* (T_{ppqo})

Nilai *sub transient* waktu konstan *rotor* pada sumbu d didapatkan melalui persamaan (12).

Nilai $X'lkd$ didapatkan dari substitusi nilai q menjadi d.

Maka didapatkan nilai :

$$X'lkd = 0,59 - 8,384 = -7,794 \text{ p.u}$$

Menggunakan persamaan 7.139 dengan $r'kd = 0,107$, didapatkan nilai T_{ppdo} yaitu 370 s

- 11) Q-axis *sub transient rotor time constant* (T_{ppqo})
 Nilai *sub transient* waktu konstan *rotor* pada sumbu d didapatkan melalui persamaan (12).
 Maka didapatkan nilai :
- $$X'lkq = 0,2709 - 8,384 = -8,1131 \text{ p.u}$$
- Menggunakan persamaan 2.32 dengan $r'kq = 0,14$, didapatkan nilai T_{ppdo} yaitu 27,66 s.

C. Grafik Hasil Simulasi Generator Sinkron 25MV Pada MATLAB

1) *Input Torsi Mekanik*

Simulasi ini akan memakai *input* berupa torsi mekanik (T_{mech}) yang merupakan *representasi* dari nilai torsi yang dihasilkan oleh dorongan uap panas bumi pada turbin dari *unit* aktual. Berikut merupakan grafik dari torsi mekanik yang diambil menggunakan aplikasi *snipping tool* pada gambar 10.

2) Nilai *Voltage Threshold* dan Arus *Generator*

Pada gambar 11, gambar 12 dan tabel 2, dapat dilihat bahwa Tegangan pada *generator* memiliki nilai ambang pada kisaran nilai 10,480 KV sampai 10,700 KV, yang dimana nilai tegangan pada *generator* mengalami pengambangan saat mencapai 10 KV hingga 11 KV. Nilai V_t dan I_{gen} memiliki data yang mendekati nilai spesifikasi *generator*. Dari data diatas juga dapat dilihat bahwa tegangan ambang pada *generator* memiliki nilai yang cenderung bertolak belakang dengan nilai I_{gen} dimana, saat nilai arus mengalami kenaikan, maka nilai tegangan ambang akan mengalami penurunan. Hasil data diatas juga menunjukkan nilai V_t yang berubah cenderung konstan karena untuk menjaga *sinkronisasi* dengan *system*.

3) Nilai Torsi *Electromagnetical*.

Pada gambar 13 dan tabel 3, dapat dilihat bahwa nilai torsi *Electromagnetic* pada *Generator sinkron* adalah bernilai *negative*, hal ini berbanding lurus dengan pernyataan bahwa torsi mekanik pada sebuah motor *sinkron* akan bernilai *positive* dalam kondisi *motoring* dan bernilai *negative* pada kondisi *generating* (Chee-Mun Ong, 1998)

4) Nilai Daya Aktif dan Reaktif

Pada gambar 14, gambar 15, dan tabel 4 dapat dilihat bahwa daya aktif dan reaktif memiliki kenaikan dan penurunan nilai yang saling berganti seiring waktu, namun tetap berbanding lurus dengan waktu menuju nilai puncak yang sedikit berbeda. Hal ini disebabkan oleh perbandingan nilai *cos* dan *sin* yang digunakan

dalam pengaplikasian pada yang dapat dilihat pada gambar 16.

Pada percobaan lainnya juga dilakukan dengan *input* nilai torsi mekanik yang lebih dinamis untuk melihat perbandingan antara torsi dan daya. Nilai daya yang cenderung dinamis juga disebabkan pengaruh torsi masukan, yang dapat dilihat melalui perbandingan grafik pada gambar 17, yang dimana nilai daya yang keluar cenderung berbanding lurus dengan nilai torsi mekanik, yang dapat disimpulkan bahwa

- Semakin Besar Torsi, maka semakin besar Daya mesin *sinkron*.
- Semakin Kecil Torsi, maka semakin Kecil Daya mesin *sinkron*.

5) Nilai Delta atau Kurva Sudut.

Nilai delta pada grafik yang dapat dilihat pada gambar 18 adalah nilai yang merepresentasikan perbandingan *output* daya dengan *load angle* atau sudut antara medan *magnet* dan resultant *air gap* dari medan *magnet* yang dapat dilihat bahwa nilai delta pada awal waktu running berada pada nilai 0.87 pu dan mengalami kenaikan sampai 83.7 pu pada $t > 1000$. Nilai ini disebabkan oleh hasil perbandingan antara nilai torsi mekanik dengan arus dan tegangan pada sumbu d dan q.

6) Nilai eksitasi berlebih pada *Exciter*

Grafik pada gambar 19 adalah Nilai eksitasi dari *exciter* pada nilai $t = 0$ sampai $t = 4000$. Dapat dilihat bahwa nilai eksitasi pada waktu awal nilainya memuncak tinggi sampai 56 V dan terus menurun hingga akhirnya menjadi stabil pada t diatas 1000, hal ini disebabkan oleh kenaikan nilai delta atau perbandingan *output* daya dengan *load angle* atau sudut antara medan *magnet* dan resultant *air gap* dari medan *magnet* dari *rotor* yang mempengaruhi nilai tegangan ambang. Dari gambar 19, didapatkan data nilai eksitasi yang dapat dilihat pada tabel 4. Eksitasi ini merupakan keluaran eksitasi dari *exciter* dengan memproses *input* tegangan DC dan juga nilai tegangan ambang.

Gambar 20 merupakan grafik perbandingan dari nilai *input* torsi mekanik dan nilai keluaran eksitasi dari *exciter* dengan nilai torsi mekanik yang dinamis dan beban menengah. Gelombang biru sebagai Tmech dan Gelombang hijau sebagai Ef. Dapat dilihat pada gambar diatas bahwa keluaran tegangan eksitasi pada *exciter* nilainya naik dan turun selaras dengan nilai torsi mekanik. Nilai yang selaras atau *sinkron* inilah yang menyebabkan terjadinya *sinkronisasi* pada putaran. sesuai dengan teori bahwa jika torsi bertambah atau berkurang secara *linear* dalam 5s limit, dan eksitasi juga berubah sejalan torsi, maka akan menyebabkan datarnya nilai putar [13]. Jika kita meningkatkan nilai arus eksitasi, mesin menahan guncangan torsi yang lebih besar tetapi tidak membatalkan *sinkronisasi* dan mempertahankan

kecepatannya secara relatif konstan dalam kisaran variasi yang dapat diterima.

7) Perbandingan torsi mekanik dan tegangan keluaran PMG

Melalui gambar 21. gambar 22, dan tabel 5 dapat dilihat bahwa *input* torsi mekanik dan tegangan keluaran PMG memiliki nilai yang berbanding lurus. Torsi mekanik yang diberikan oleh uap pada turbin akan ikut menggerakkan PMG yang terhubung pada *generator sinkron*. Nilai torsi tersebut memberikan nilai putar pada PMG yang kemudian akan menghasilkan tegangan. Tegangan yang dihasilkan oleh PMG adalah pada rentang 113 VAC – 114 VAC.

D. Perhitungan Sudut pembukaan thyristor.

Dari data eksitasi yang telah didapatkan diatas, akan dilakukan perhitungan sudut pembukaan atau penyalaan *thyristor* pada AVR dengan tujuan untuk mengatur nilai eksitasi. Menghitung sudut penyalaan *thyristor* pada rangkaian converter di AVR yang digunakan berdasarkan persamaan dari [12]

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{2\pi V_{DC}}{3\sqrt{3}V_{M-PMG}} - 1 \right) \quad (15)$$

Nilai VDC didapatkan melalui persamaan

$$V_{DC} = \frac{E_{a-exc}}{\sqrt{3}} \text{ Volt} \quad (16)$$

Dan Vm didapat dari nilai puncak keluaran PMG fasa ke tanah.

$$V_{M-PMG} = \frac{\sqrt{2}V_{L-L}}{\sqrt{3}} \quad (17)$$

Nilai VL – L = VM

Dengan contoh nilai VL – L = 114 VAC, maka didapatkan nilai VM – PMG sebesar 93.22 V.

Berikutnya akan dilakukan perhitungan sudut buka *thyristor* pada 3 kondisi beban.

1) Perhitungan Sudut buka *thyristor* saat beban rendah.

Pada percobaan ini akan dilakukan perhitungan nilai sudut buka *thyristor* pada saat *generator* berada dalam beban rendah (< 10 MW). Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan dari Rashid, 2011.

Pada tabel 7 dapat dilihat bahwa sudut penyalaan *thyristor* bekerja pada nilai 86.35939737o sampai 86.5345573o berdasarkan perhitungan. Nilai yang didapat merupakan hasil dari perbandingan derajat antara tegangan pada *exciter* dan juga tegangan puncak dari PMG ke tanah. Persamaan ini mewakili distribusi tegangan dari PMG menuju *Exciter* yang melalui *thyristor*. Dapat dilihat pula bahwa semakin besar derajat sudut penyalaan *thyristor*, maka semakin kecil pula nilai VDC yang akan dihasilkan, berlaku

pula sebaliknya. Besarnya nilai VDC akan berbanding lurus dengan nilai Ef.

- 2) Perhitungan Sudut buka thyristor saat beban menengah.

Pada percobaan ini akan dilakukan perhitungan nilai sudut buka thyristor pada saat generator berada dalam beban menengah ($> 10 \text{ MW} < 25 \text{ MW}$). Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan dari Rashid, 2011.

Pada tabel 8 dapat dilihat bahwa sudut penyalan thyristor bekerja pada nilai 89.88776213o sampai 89.89907255o berdasarkan perhitungan. Nilai yang didapat merupakan hasil dari perbandingan derajat antara tegangan pada exciter dan juga tegangan puncak dari PMG ke tanah. Persamaan ini mewakili distribusi tegangan dari PMG menuju Exciter yang melalui thyristor. Dapat dilihat pula bahwa semakin besar derajat sudut penyalan thyristor, maka semakin kecil pula nilai VDC yang akan dihasilkan, berlaku pula sebaliknya. Besarnya nilai VDC akan berbanding lurus dengan nilai Ef.

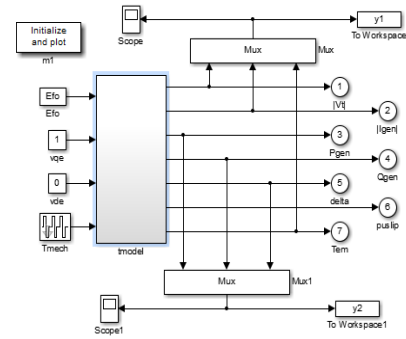
- 3) Perhitungan Sudut buka thyristor saat beban puncak.

Pada percobaan ini akan dilakukan perhitungan nilai sudut buka thyristor pada saat generator berada dalam beban puncak ($+ 25 \text{ MW}$). Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan dari Rashid, 2011.

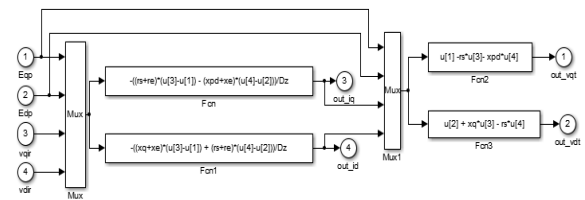
Pada tabel 9 Pada tabel hasil diatas dapat dilihat bahwa sudut penyalan thyristor bekerja pada nilai 64.92594729o sampai 73.20336439o berdasarkan perhitungan. Nilai yang didapat merupakan hasil dari perbandingan derajat antara tegangan pada exciter dan juga tegangan puncak dari PMG ke tanah. Persamaan ini mewakili distribusi tegangan dari PMG menuju Exciter yang melalui thyristor. Dapat dilihat pula bahwa semakin besar derajat sudut penyalan thyristor, maka semakin kecil pula nilai VDC yang akan dihasilkan, berlaku pula sebaliknya. Besarnya nilai VDC akan berbanding lurus dengan nilai Ef. Berbeda dengan kedua percobaan sebelumnya yang memiliki nilai sudut buka yang cukup besar, pada percobaan ini, nilai sudut buka thyristor adalah lebih kecil, hal ini bertujuan untuk mengurangi nilai tegangan yang cukup besar dari PMG ke exciter, sehingga tidak menyebabkan eksitasi yang berlebih.

E. Nilai Eksitasi Setelah Dilakukan Pengaturan Sudut Buka Thyristor

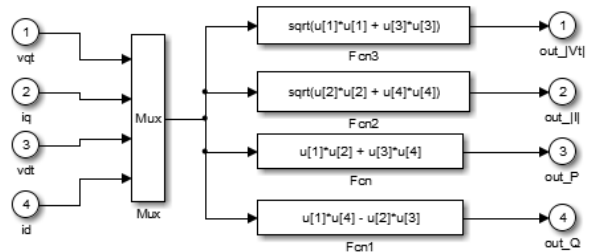
Pada Gambar 23 dan tabel 10, dapat dilihat nilai eksitasi setelah dilakukan perhitungan sudut buka thyristor. Nilai eksitasi setelah pengaturan dapat dikatakan cukup stabil dan memenuhi angka yang cukup sesuai dengan standard eksitasi pada generator.



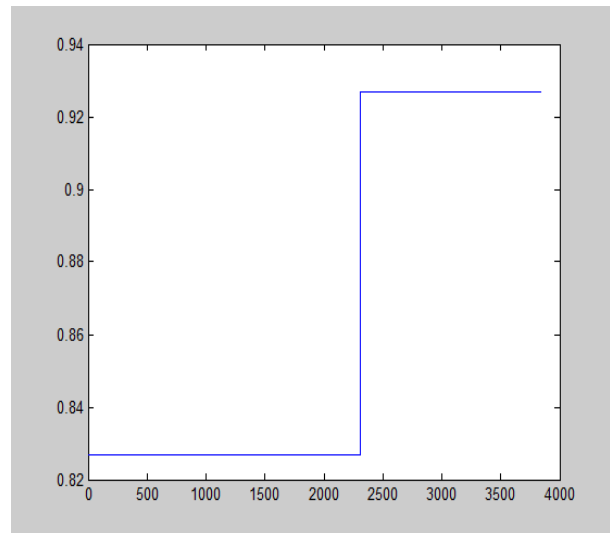
Gambar 7 Diagram blok keseluruhan Generator sinkron



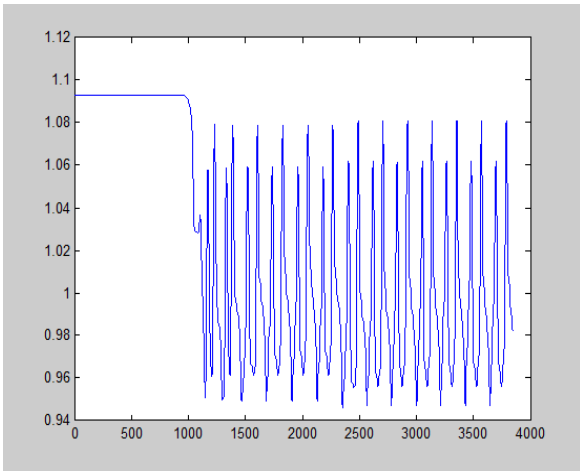
Gambar 8 design diagram blok Stator



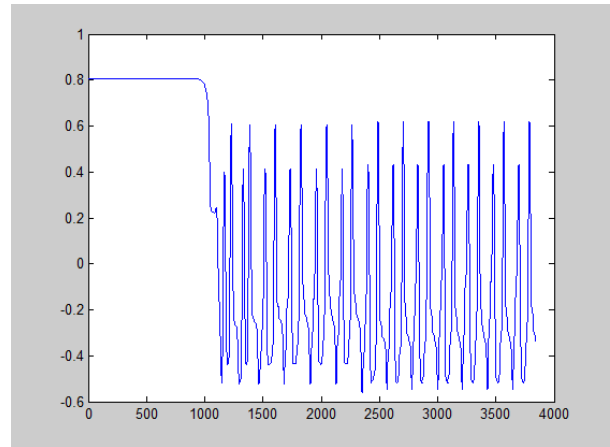
Gambar 9 Diagram blok fungsi VIPQ.



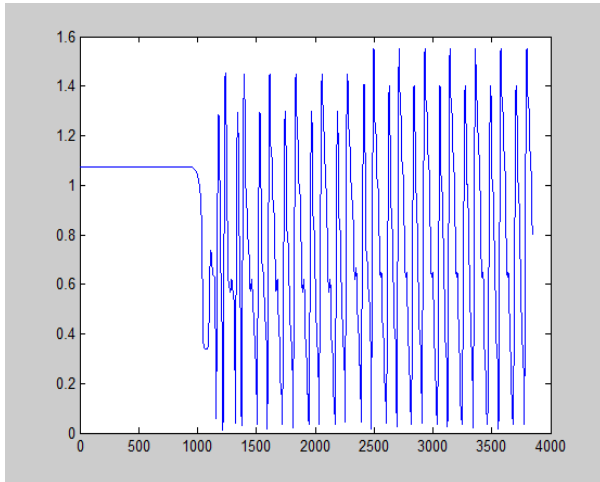
Gambar 10 Input torsi mekanik



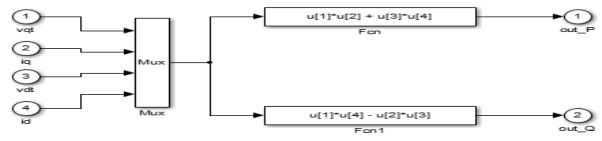
Gambar 11 Grafik nilai Vr



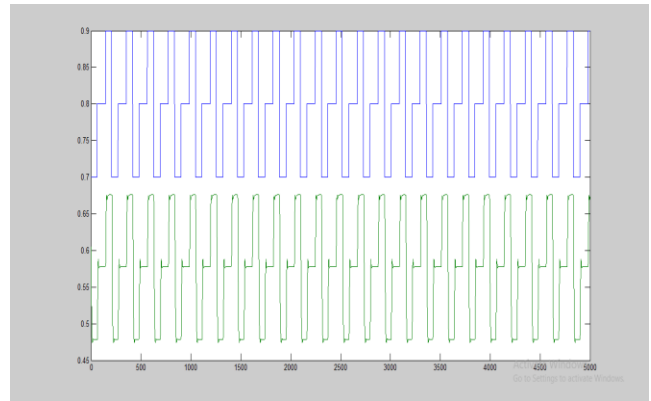
Gambar 15 Grafik Daya Reaktif



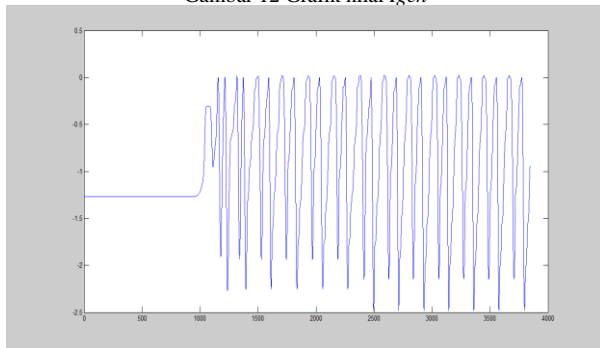
Gambar 12 Grafik nilai Igen



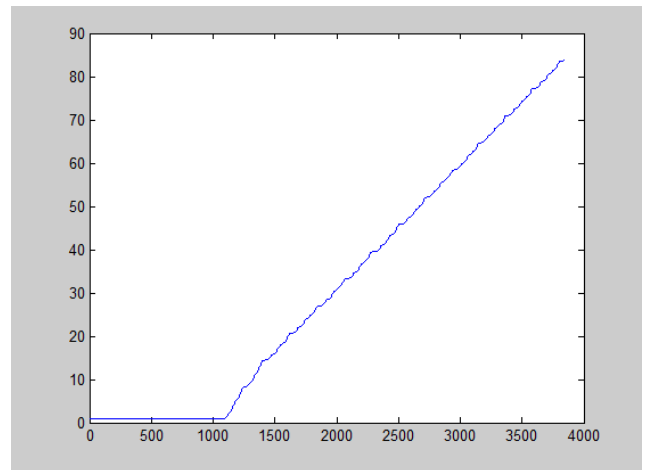
Gambar 16 Diagram Blok untuk keluaran Pgen dan Qgen



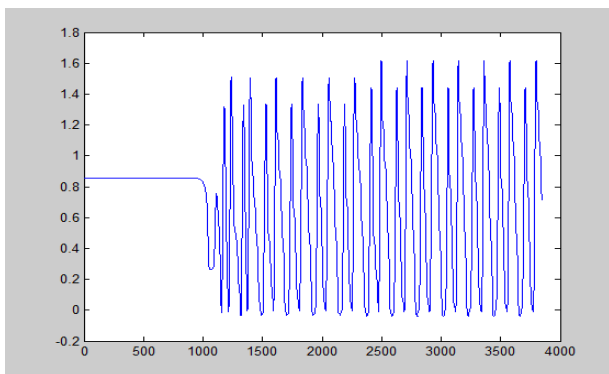
Gambar 17 Grafik Perbandingan antara torsi dan daya



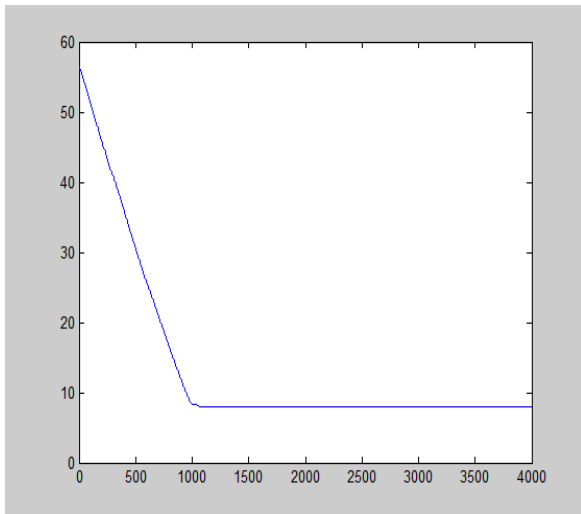
Gambar 13 Grafik Nilai Torsi Electromagnetic



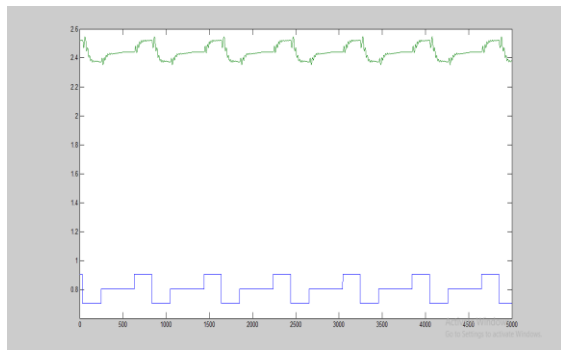
Gambar 18 Grafik Kurva Sudut



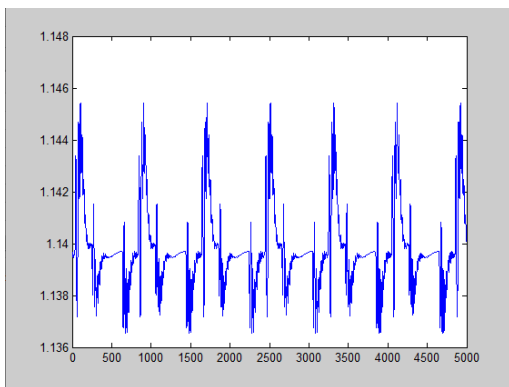
Gambar 14 Grafik Daya Aktif



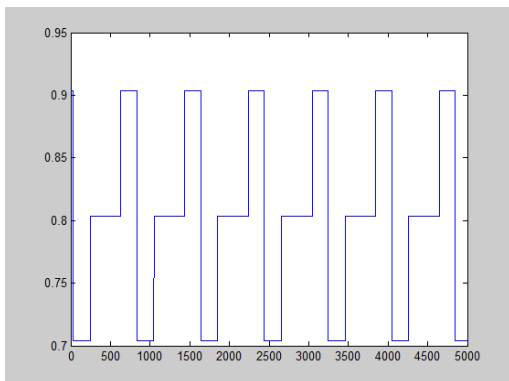
Gambar 19 Grafik nilai eksitasi berlrbih dari exciter



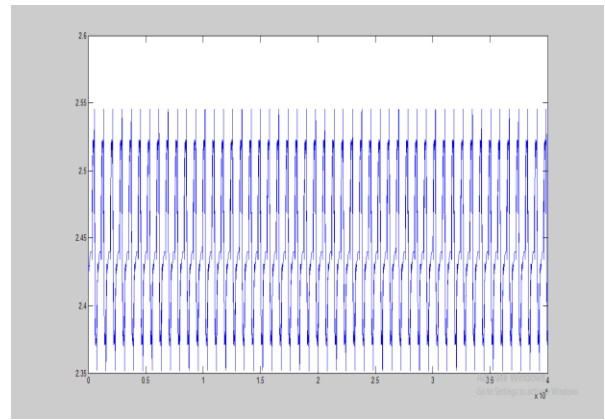
Gambar 20 Grafik nilai torsi mekanik dan eksitasi



Gambar 21 Grafik Vm



Gambar 22 Grafik Tmech



Gambar 23 Grafik Nilai Eksitasi dari Exciter

TABEL I I TABEL Nilai VT DAN IGEN

| T (waktu dalam second) | Vt (tegangan ambang dalam KV) | Igen (arus dalam KA) |
|------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 500 | 10.9315775003835 | 1.07538914848577 |
| 1000 | 10.9014550651328 | 1.04091535636709 |
| 1500 | 9.77421155209566 | 0.612680408321475 |
| 2000 | 9.64566879598805 | 0.612680408321475 |
| 2500 | 10.2990516503090 | 1.51094839722832 |
| 3000 | 9.48719903812865 | 0.632560703885044 |
| 3500 | 9.73505794224270 | 1.13214028842190 |
| 4000 | 09.81933425824334 | 0.797260475766132 |

TABEL III NILAI TORSI ELECTROMAGNETIC

| T (waktu dalam second) | Tem (Torsi Electromagnetic dalam N.M) |
|------------------------|--|
| 500 | -1.27122386513035 |
| 1000 | -1.21629285044181 |
| 1500 | 0.0160843165687857 |
| 2000 | -0.534085220149876 |
| 2500 | -2.37616364988215 |
| 3000 | -0.393567427568637 |
| 3500 | -1.46069370487198 |
| 4000 | -0.935464619830990 |

TABEL IV TABEL NILAI PGEN DAN QGEN

| T (waktu dalam second) | Pgen (Daya Aktif Generator dalam MW) | Qgen (Daya Reaktif Generator dalam MW) |
|------------------------|--------------------------------------|--|
| 500 | 0.855822779141752 | 0.805935576346703 |
| 1000 | 0.827097933781608 | 0.776894298610363 |
| 1500 | -0.0333462772089475 | -0.211657931122118 |
| 2000 | 0.399249700189320 | -0.435713978623597 |
| 2500 | 1.55612260065815 | 0.00583980320364484 |
| 3000 | 0.249839638128082 | -0.545644285690403 |
| 3500 | 1.00029211041763 | -0.462752182987152 |
| 4000 | 0.707148383405184 | -0.335865736002524 |

TABEL V TABEL NILAI TEGANGAN EKSITASI DARI EXCITER

| T (waktu dalam second) | Ef (Tegangan eksitasi dari exciter dalam Vcc) |
|------------------------|--|
| 1 | 56.5073024700958 |
| 500 | 30.6264150120881 |
| 1000 | 8.44528085115277 |
| 1500 | 8.06112163560250 |
| 2000 | 8.06112163560250 |
| 2500 | 8.06112163560250 |
| 3000 | 8.06112163560250 |
| 3500 | 8.06112163560250 |
| 4000 | 8.06112163560250 |

TABEL VI TABEL NILAI TEGANGAN PMG

| T (waktu dalam second) | V _m (Tegangan PMG dalam VAC) |
|------------------------|---|
| 500 | 113.950798974772 |
| 1000 | 113.982660605726 |
| 1500 | 113.666170140958 |
| 2000 | 113.953198829289 |
| 2500 | 114.172874303963 |
| 3000 | 113.966991583211 |
| 3500 | 113.818911465719 |
| 4000 | 113.969044188610 |

TABEL VII TABEL PERHITUNGAN SUDUT BUKA THYRISTOR SAAT

BEBAN RENDAH

| T (waktu dalam second) | Ef (Tegangan eksitasi dari exciter dalam Vcc) | V _t (tegangan ambang dalam KV) | V _{DC} (Tegangan DC dalam V) | V _m – PMG (tegangan puncak dari PMG dalam V) | α (sudut pembukaan thyristor dalam °) |
|------------------------|--|---|---------------------------------------|---|--|
| 500 | 8.44528085115277 | 1.0614 | 4.875885173 | 93.0404377 | 86.36860988 |
| 1000 | 8.445280851105277 | 1.0539 | 4.875885173 | 93.06645267 | 86.36951961 |
| 1500 | 8.445280851105277 | 1.0681 | 4.875885173 | 92.80803978 | 86.35939737 |
| 2000 | 8.06112163560250 | 1.0611 | 4.654090746 | 93.04239723 | 86.53407429 |
| 2500 | 8.06112163560250 | 1.0504 | 4.654090746 | 93.2217615 | 86.54075108 |
| 3000 | 8.06112163560250 | 1.0682 | 4.654090746 | 93.05365897 | 86.533449428 |
| 3500 | 8.06112163560250 | 1.0611 | 4.654090746 | 92.93275206 | 86.52998009 |
| 4000 | 8.06112163560250 | 1.0488 | 4.654090746 | 93.05533491 | 86.5345573 |

TABEL VIII TABEL PERHITUNGAN SUDUT BUKA THYRISTOR SAAT

BEBAN MENENGAH

| T (waktu dalam second) | Ef (Tegangan eksitasi dari exciter dalam Vcc) | V _t (tegangan ambang dalam KV) | V _{DC} (Tegangan DC dalam V) | V _m – pmg (tegangan puncak dari PMG dalam V) | α (sudut pembukaan thyristor dalam °) |
|------------------------|--|---|---------------------------------------|---|--|
| 500 | 25.2142614097023 | 1.0614 | 14.55746061 | 93.0404377 | 89.88776213 |
| 1000 | 24.3925501519780 | 1.0539 | 14.0830454 | 93.06645267 | 89.89141987 |
| 1500 | 23.7436218214968 | 1.0681 | 13.7083854 | 92.80803978 | 89.8943085 |
| 2000 | 25.0867800891686 | 1.0611 | 14.48385924 | 93.04239723 | 89.8886031 |
| 2500 | 24.2935049153100 | 1.0504 | 14.0258616 | 93.2217615 | 89.89186076 |
| 3000 | 24.0838320553660 | 1.0682 | 13.90480629 | 93.05365897 | 89.89907255 |
| 3500 | 24.3982152586705 | 1.0611 | 14.08631615 | 92.93275206 | 89.89139466 |
| 4000 | 24.0716956938682 | 1.0488 | 13.89779999 | 93.05533491 | 89.89284812 |

TABEL IX TABEL PERHITUNGAN SUDUT BUKA THYRISTOR SAAT

BEBAN PUNCAK

| T (waktu dalam second) | Ef (Tegangan eksitasi dari exciter dalam Vcc) | V _t (tegangan ambang dalam KV) | V _{DC} (Tegangan DC dalam V) | V _m – pmg (tegangan puncak dari PMG dalam V) | α (sudut pembukaan thyristor dalam °) |
|------------------------|--|---|---------------------------------------|---|--|
| 500 | 56.5073024700958 | 1.0614 | 32.62450629 | 93.0404377 | 64.92594729 |
| 1000 | 54.1664346477525 | 1.0539 | 31.27300562 | 93.06645267 | 66.03867784 |
| 1500 | 51.3823271558348 | 1.0681 | 29.66560042 | 92.80803978 | 67.27439237 |
| 2000 | 48.5336904624061 | 1.0611 | 28.02093925 | 93.04239723 | 68.65507128 |
| 2500 | 45.9099998997008 | 1.0504 | 26.03330099 | 93.2217615 | 70.2461343 |
| 3000 | 43.3679208602601 | 1.0682 | 25.03848078 | 93.05365897 | 71.02222849 |
| 3500 | 40.9201243166207 | 1.0611 | 23.62524479 | 92.93275206 | 72.106070097 |
| 4000 | 38.5376555477531 | 1.0488 | 22.2497258 | 93.05533491 | 73.20336439 |

TABEL 10 TABEL NILAI TEGANGAN EKSITASI DARI EXCITER

| T (waktu dalam second) | Ef (Tegangan eksitasi dari exciter dalam Vcc x 10 ¹) |
|------------------------|--|
| 500 | 2.52142614097023 |
| 1000 | 2.43925501519780 |
| 1500 | 2.37436218214968 |
| 2000 | 2.50867800891686 |
| 2500 | 2.42935049153100 |
| 3000 | 2.40838320553660 |
| 3500 | 2.43982152586705 |
| 4000 | 2.40716956938682 |

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan, bahwa Nilai pembukaan atau penyalaaan sudut thyristor adalah pada 86.35939737° sampai 86.5345573° untuk beban rendah, 89.88776213° sampai 89.89907255° untuk beban menengah, dan 64.92594729° sampai 73.20336439° untuk beban puncak. 4. Nilai eksitasi yang berlebih dapat dicegah dengan mengatur sudut penyalaaan thyristor dengan nilai yang lebih kecil dengan kondisi 6. semakin besar derajat sudut penyalaaan thyristor, maka semakin kecil pula nilai VDC yang akan dihasilkan, berlaku pula sebaliknya. Besarnya nilai VDC akan berbanding lurus dengan nilai Ef. Oleh karena itu, 7. Trip mendadak yang disebabkan oleh salah pembACaan DCS dapat ditanggulangi dengan mengubah secara manual nilai sudut buka thyristor dari PMG menuju Exciter.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan penulis terkait dengan penelitian yang telah dilakukan untuk pengembangan pada penelitian selanjutnya adalah bahwa 1. Penulis berharap pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode yang lebih baik dan memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi, baik dalam bentuk pengambilan data, maupun dalam pemecahan masalah, serta diharapkan dalam penentuan parameter berikutnya dapat

dilakukan pengukuran langsung pada alat dilapangan, sehingga dapat memperoleh perbandingan yang lebih banyak antara simulasi dan aktual.

I. KUTIPAN

- [1] Annas Alatas Sukmahadi, 2018. “Simulasi Pemodelan *System* Eksitasi *Statis* Pada *Generator Sinkron* Terhadap Perubahan Beban”. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- [2] Basofi, Ir.Syamsul Amien, M.S, 2014. “Studi Pengaruh Arus Eksitasi Pada *Generator Sinkron* Yang Bekerja *Paralel* Terhadap Perubahan Faktor Daya”. Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU).
- [3] R. Gerha Terimananda, 2016. “Studi Pengaturan Arus Eksitasi untuk Mengatur Tegangan Keluaran *Generator* di PT Indonesia *Power* UBP Kamojang *Unit 2*”. Teknik Elektro - Institut Teknologi Nasional Bandung
- [4] Her Sepannur Bandri, 2013. “Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap karakteristik *Generator Sinkron*”.
- [5] Cleve Moler. 2004. “the creator of *MATLAB* The Origins of *MATLAB*”.http://www.mathworks.com/company/newsletters/news_notes/clevescomr/dec04.html
- [6] Meier, Alexandra von. 2006. “*Power Systems: A Conceptual Introduction*”. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc
- [7] Eugene C. Lister. 1993. *Mesin dan Rangkaian Listrik Edisi keenam*. Erlangga.
- [8] Suad Ibrahim Shahl, 2015. “e-book *Synchronous Generators*”.
- [9] EL-SATTAR, A A 2007. “International Journal of Electronics, Vol 55”. IJE's sister publication, Int. J. Electronics Letters.
- [10] Chee Mun Ong. 1997. “Dynamic Simulations Of Electric Machinery Using *MATLAB_SIMULINK*-Prentice Hall”. School of Electrical & Computer Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- [11] Nesimi Ertugrul. 2002 “LabVIEW for Electric Circuits, Machines, Drives, and Laboratories”. Prentice Hall Professional.
- [12] Rashid, Muhammad H, 2011. “*Power Electronics Handbook*”. USA ; Jordan Hill
- [13] C Cristea & I Stroe, 2019. “Study of the mechanical and electrical characteristics of the synchronous motor with varying resistive torque”. Centre “Advanced Research on Mechatronics”, Transilvania University of Braşov, Romania

TENTANG PENULIS



Penulis bernama lengkap Aaron Kevin Sidabutar lahir di P.Siantar pada tanggal 21 Juni 1997. Penulis menempuh pendidikan pertama di TK Sarah School Medan pada tahun 2002 – 2005, kemudian melanjutkan ke SD Katolik 13 Manado 2003 – 2009, setelah itu melanjutkan studi di SMP St.Thomas 4 Medan pada tahun 2009 – 2012, kemudian melanjutkan pendidikan di SMA St.Thomas 1 Medan pada tahun 2012 – 2015. Pada tahun 2015, penulis melanjutkan studi di *Program Studi Teknik Elektro*, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi Manado.