

## **Studi Pengaturan Arus Eksitasi untuk Mengatur Tegangan Keluaran Generator di PT Indonesia Power UBP Kamojang Unit 2**

**R. GERHA TERIMANANDA, NASRUN HARIYANTO, SYAHRIAL**

Teknik Elektro - Institut Teknologi Nasional Bandung

Email : gerhaterimananda@gmail.com

### **ABSTRAK**

*Perubahan suatu beban akan mempengaruhi tegangan keluaran generator. Apabila beban naik maka tegangan keluaran generator turun dan apabila beban turun maka tegangan keluaran generator naik. Supaya tegangan keluaran generator tetap diperlukan suatu pengaturan tegangan keluaran generator. Pengaturan tegangan keluaran generator dilakukan dengan mengatur arus eksitasi generator. Sistem 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. Sudut penyalan thyristor diatur dari  $116,570^{\circ}$  hingga  $120,96^{\circ}$  untuk mendapat tegangan keluaran fasa-fasa tetap sebesar 11,8 kV untuk daya beban 55 MW. Simulasi dilakukan dengan software Simulink dari MATLAB. Didapat hasil simulasi dengan batas minimum  $100,71$  dengan beban 56,3 MW dengan tegangan keluaran generator 11,7 kV. Dan batas maksimum sudut penyalan  $127,15$  pada beban 55,2 MW dengan besarnya tegangan keluaran generator 11,8 kV.*

**Kata Kunci : semikonverter, eksitasi, sudut penyalan, thyristor, generator.**

### **ABSTRACT**

*Load variation will influence the output voltage of the generator. If the load increases, the generator output voltage will drop down, and vise versa then the generator output voltage will rise. Thus, the output voltage of the generator is still required a generator output voltage regulation. A setting the output voltage of the generator is done by adjusting the generator excitation current. The generator excitation current setting system uses Automatic Voltage Regulator (AVR). In the AVR at a power plant in PT. Indonesia Power UBP Kamojang Unit 2, it uses PMG system output voltage that rectified by semiconverter, then put into the AC-exciter field coils and the output voltage of the AC-exciter is rectified by a rectifier diodes and supplied to the main generator field winding. Thyristor firing angle is set from  $116.570^{\circ}$  to  $120.96^{\circ}$  to obtain the output voltage phases remain 11.8 kV for power load of 55 MW. A simulation was performed by using Simulink of MATLAB software. The simulation results were obtained with the minimum limit of  $100.71^{\circ}$ , with a load of 56.3 MW AND 11.7 kV generator output voltage. The maximum limit on the firing angle was  $127.15^{\circ}$  on 55.2 MW load, where the magnitude of the output generator voltage of 11.8 kV.*

**Keywords: semikonverter, excitation, firing angle, thyristor, generator**

## 1. PENDAHULUAN

Generator sinkron mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada stator. Apabila kumparan jangkar dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa akan ditimbulkan medan putar pada stator. Kumparan medan rotor diberi arus searah sehingga mendapatkan tarikan dari kutub medan stator hingga turut berputar dengan kecepatan yang sama (Zuhal, 1991).

Pada suatu pembangkit energi listrik yang menggunakan generator sinkron ada dua hal pengaturan yang harus dilakukan yaitu pengaturan tegangan keluaran yang berhubungan dengan daya reaktif dan frekuensi keluaran yang berhubungan dengan daya aktif generator. Ketika beban naik terjadi penurunan tegangan keluaran dan ketika beban turun terjadi kenaikan tegangan keluaran maka diperlukan pengaturan tegangan keluaran dengan cara mengatur arus eksitasi (*Chapman, 2002*).

Dampak penurunan dan kenaikan nilai tegangan keluaran generator dilihat dari kurva kapabilitas generator dilihat dari sisi under eksitasi dan over eksitasi. Untuk mengatur tegangan keluaran generator menggunakan AVR (*Automatic Voltage Regulator*) dengan mengatur sudut penyalan *thyristor* pada rangkaian konverter (Kundur, 1994).

PT Indonesia Power UBP Kamojang adalah unit bisnis dari PT Indonesia Power yang memakai tenaga panas bumi. Mempunyai sistem eksitasi tanpa brush (*brushless*) dengan menggunakan PMG (*Permanent Magnet Generator*) sebagai sumber eksitasi atau *pilot exciter*. Rotor generator dikopel dengan turbin sehingga ketika turbin berputar maka PMG ini akan menghasilkan tegangan tiga fasa. Tegangan keluaran itu akan diatur dan disearahkan terlebih dahulu oleh AVR kemudian diberikan ke *AC exciter* dan disearahkan kembali oleh *rotating diode* sebelum diberikan ke generator utama (Mitsubishi Electric Corporation, 1986).

Pada penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai sudut penyalan *thyristor* pada rangkaian konverter yang digunakan pada sistem eksitasi PT Indonesia Power UBP Kamojang Unit 2 terhadap perubahan nilai beban.

Dengan rumusan masalah adalah memodelkan rangkaian sistem eksitasi PT Indonesia Power UBP Kamojang Unit 2 menggunakan Simulink dari Matlab dan melihat nilai sudut penyalan *thyristor* yang aktif terhadap nilai beban berdasarkan simulasi, melihat nilai sudut penyalan *thyristor* yang aktif pada saat kondisi generator beban penuh.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

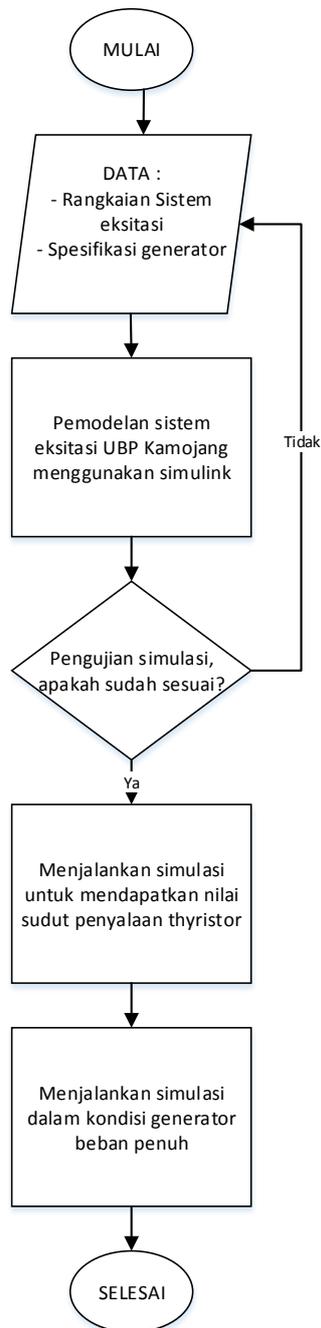
### 2.1 Langkah Penelitian

Metodologi penelitian merupakan uraian tahapan yang dilakukan dalam melaksanakan menyelesaikan penelitian ini. Secara umum, tahapan tertuang dalam Gambar 1 dimulai penelitian dengan mencari data yang berhubungan dengan penelitian.

Dari hasil data dilakukan permodelan sistem eksitasi UBP Kamojang dengan simulink. Setelah melakukan permodelan pengujian terhadap simulasi hingga mampu menghitung dan menganalisis sudut penyalan *thyristor* berdasarkan persamaan.

Untuk mendapatkan nilai sudut penyalan *thyristor* pada simulasi, blok generator disambung ke blok *load* dan memberi nilai beban sesuai dengan nilai beban dan daya buta pada tabel logsheet generator harian.

Kemudian simulasi dijalankan pada kondisi generator beban penuh ( $P = 55$  MWatt,  $Q = 41,25$  MVAR pada  $pf = 0,8$  lagging). Tegangan keluaran generator dijaga pada 11,8 kVolt sehingga sudut penyalan *thyristor* dapat ditentukan.



**Gambar 1. Bagan alur pengerjaan**

## 2.2 Diagram Blok Pembangkitan Energi Listrik UBP Kamojang Unit 2

Gambar diagram blok sistem eksitasi pembangkit listrik pada UBP Kamojang unit 2 ditunjukkan pada Gambar 2.



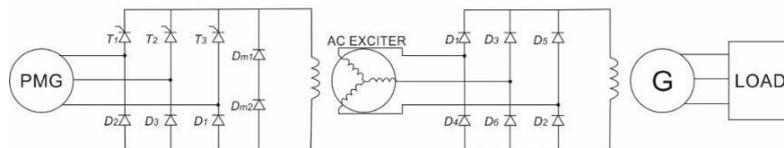
**Gambar 2** Blok diagram sistem pembangkit listrik UBP Kamojang Unit 2

Berikut penjelasan komponen yang digunakan pada sistem eksitasi UBP Kamojang Unit 2 :

1. *Permanent Magnet Generator (PMG)* adalah generator dengan magnet permanen pada sisi rotor sebagai sumber energi eksitasi.
2. Semikonverter tiga fasa adalah penyearah dan pengatur arus eksitasi untuk *AC exciter* dilihat dari pengaturan sudut penyalan *thyristor* menggunakan rangkaian *firing thyristor*.
3. *AC Exciter* adalah alternator yang digunakan sebagai pemberi eksitasi yang mendapat suplai arus eksitasi dari semikonverter tiga fasa.
4. Dioda penyearah tiga fasa adalah sebagai penyearah tegangan keluaran *AC exciter*.
5. Generator adalah penghasil tegangan kepada sistem atau jaringan.

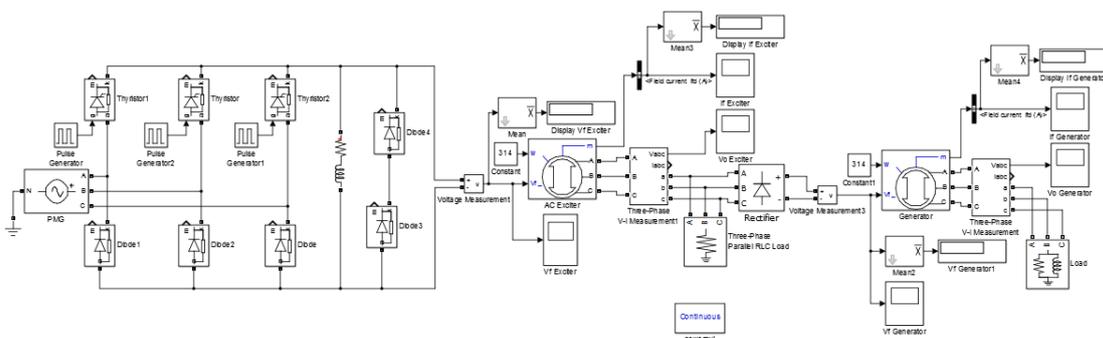
## 2.3 Sistem Eksitasi UBP Kamojang Unit 2

Sistem eksitasi pada PT Indonesia Power UBP Kamojang menggunakan alternator (*AC Exciter*) dengan sumber eksitasi adalah PMG dan menggunakan penyearah sebagai masukan untuk medan generator. PMG, *AC Exciter*, generator dan *rotating diode* dalam satu poros dengan tipe eksitasinya adalah tanpa sikat. Maka dapat digambarkan sistem eksitasi yang digunakan UBP Kamojang seperti pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Rangkaian sistem ekstasi UBP Kamojang Unit 2

## 2.4 Pemodelan Rangkaian Eksitasi UBP Kamojang Unit 2 Menggunakan Simulink



**Gambar 4.** Pemodelan Rangkaian Eksitasi UBP Kamojang Unit 2 pada Simulink

Pada model yang ditunjukkan pada Gambar 4 untuk mengetahui nilai rata-rata dari arus atau tegangan dapat dilihat pada blok display dan untuk melihat bentuk gelombang dapat dilihat pada blok scope. Pada tabel 1, tabel 2 dan tabel 3 adalah tabel spesifikasi untuk blok parameter PMG, *AC exciter* dan generator.

Pada Tabel 1 menunjukkan spesifikasi berdasarkan data yang didapat untuk blok parameter PMG pada simulink.

**Tabel 1. Spesifikasi PMG untuk blok parameter PMG pada simulink**

| PMG               |          |
|-------------------|----------|
| Tegangan Keluaran | 100 Volt |
| Frekuensi         | 300 Hz   |

Pada Tabel 2 menunjukkan spesifikasi berdasarkan data yang didapat untuk blok parameter AC exciter pada simulink.

**Tabel 2. Spesifikasi AC exciter untuk blok parameter AC exciter pada simulink**

| AC exciter        |                            |
|-------------------|----------------------------|
| Daya Semu         | 278 MVA                    |
| Daya Aktif        | 250 MWatt                  |
| Tegangan Keluaran | 190 Volt                   |
| Hambatan Stator   | 5,06 $\Omega$ (pada 75 °C) |
| Frekuensi         | 200 Hz                     |
| Kutub             | 8                          |

Pada Tabel 3 menunjukkan spesifikasi berdasarkan data yang didapat untuk blok parameter generator pada Simulink.

**Tabel 3. Spesifikasi generator untuk blok parameter generator pada simulink**

| Generator         |                               |
|-------------------|-------------------------------|
| Daya Semu         | 67,85 MVA (pada 0,8 lagging)  |
| Daya Aktif        | 55 MWatt                      |
| Tegangan Keluaran | 11800 Volt                    |
| Hambatan Rotor    | 0,1740 $\Omega$ (pada 75 °C)  |
| Hambatan Stator   | 0,00305 $\Omega$ (pada 75 °C) |
| Frekuensi         | 50 Hz                         |
| Kutub             | 2                             |

## 2.5 Perhitungan Sudut Penyalaan *Thyristor* Pada Rangkaian AVR

Untuk menghitung sudut penyalaan *thyristor* harus melakukan tahap perhitungan sebagai berikut :

1. Menghitung tegangan induksi ( $E_{a-exc}$ ) AC Exciter, dengan menghitung tegangan keluaran AC Exciter ( $V_{M-exc}$ ) berdasarkan persamaan dari (Rashid, 2011).

$$V_{M-exc} = \frac{V_{DC-gen}}{1,6548} \text{ Volt} \quad (1)$$

$V_{DC-gen}$  didapat dari tegangan penguat generator dan nilai tegangan induksi AC Exciter adalah:

$$E_{a-exc} = V_{M-exc} \text{ Volt} \quad (2)$$

2. Menghitung sudut penyalaan *thyristor* pada rangkaian konverter di AVR yang digunakan berdasarkan persamaan dari (Rashid, 2011).

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

Dengan

$$V_{DC} = \frac{E_{a-exc}}{\sqrt{3}} \text{ Volt} \quad (4)$$

Dan  $V_m$  didapat dari nilai puncak keluaran PMG fasa ke tanah.

$$V_{M-PMG} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_L - L}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

### 3. PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS

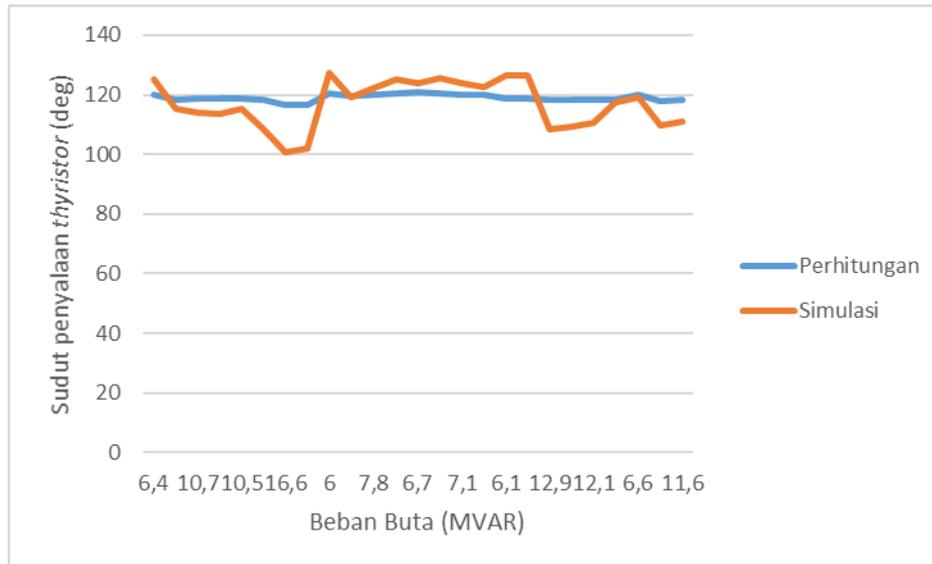
#### 3.1 Hasil Perhitungan dan Simulasi Sudut Penyalaan *Thyristor*

Pada Tabel 4 memperlihatkan logsheet generator UBP Kamojang unit 2 harian dengan hasil perhitungan dan simulasi sudut penyalaan *thyristor*.

**Tabel 4. Hasil perhitungan dan simulasi sudut penyalaan *thyristor* terhadap logsheet generator harian**

| Jam   | Penguat |       | Beban (MW) | Daya Buta (Mvar) | Tegangan (kV) | $\alpha$ (°) |          |
|-------|---------|-------|------------|------------------|---------------|--------------|----------|
|       | V (V)   | I (A) |            |                  |               | Perhitungan  | Simulasi |
| 00:00 | 97      | 419   | 56,8       | 6,4              | 11,8          | 119,93       | 125,21   |
| 01:00 | 102     | 453   | 56,2       | 11,5             | 11,8          | 118,24       | 115,13   |
| 02:00 | 101     | 448   | 56,6       | 10,7             | 11,8          | 118,58       | 114,03   |
| 03:00 | 101     | 441   | 55,7       | 10,8             | 11,7          | 118,58       | 113,46   |
| 04:00 | 100     | 437   | 55,7       | 10,5             | 11,7          | 118,91       | 115,35   |
| 05:00 | 102     | 462   | 56,3       | 13               | 11,7          | 118,24       | 108,52   |
| 06:00 | 107     | 493   | 56,3       | 16,6             | 11,7          | 116,57       | 100,71   |
| 07:00 | 107     | 489   | 56,5       | 15,9             | 11,7          | 116,57       | 101,96   |
| 08:00 | 95      | 408   | 55,2       | 6                | 11,8          | 120,62       | 127,15   |
| 09:00 | 98      | 426   | 55         | 9                | 11,8          | 119,59       | 119,07   |
| 10:00 | 97      | 419   | 54,9       | 7,8              | 11,8          | 119,93       | 122,02   |
| 11:00 | 96      | 411   | 55,4       | 6,6              | 11,8          | 120,27       | 125,37   |
| 12:00 | 94      | 400   | 55,2       | 3,7              | 11,8          | 120,96       | 124,01   |
| 13:00 | 96      | 416   | 55,3       | 6,4              | 11,8          | 120,27       | 125,57   |
| 14:00 | 97      | 420   | 55,8       | 7,1              | 11,7          | 119,93       | 123,86   |
| 15:00 | 97      | 420   | 55,9       | 7,5              | 11,8          | 119,93       | 122,80   |
| 16:00 | 100     | 440   | 56,1       | 6,1              | 11,8          | 118,91       | 126,29   |
| 17:00 | 100     | 444   | 56,2       | 6,1              | 11,8          | 118,91       | 126,29   |
| 18:00 | 102     | 448   | 56,6       | 12,9             | 11,8          | 118,24       | 108,53   |
| 19:00 | 102     | 449   | 55,6       | 12,7             | 11,8          | 118,24       | 109,22   |
| 20:00 | 102     | 449   | 55,9       | 12,1             | 11,8          | 118,24       | 110,71   |
| 21:00 | 102     | 449   | 56,3       | 9,4              | 11,8          | 118,24       | 117,27   |
| 22:00 | 97      | 420   | 56,8       | 6,6              | 11,8          | 119,93       | 119,23   |
| 23:00 | 103     | 463   | 56,4       | 12,5             | 11,8          | 117,90       | 109,54   |
| 00:00 | 102     | 454   | 56,3       | 11,6             | 11,8          | 118,24       | 111,01   |

Pada Tabel 4, nilai  $\alpha$  adalah hasil perhitungan dan simulasi. Nilai penguat, beban, daya buta dan tegangan berdasarkan pengukuran dari UBP Kamojang Unit 2.



**Gambar 5. Grafik perbandingan sudut penyalaaan *thyristor* hasil perhitungan dengan hasil simulasi**

Berdasarkan hasil perhitungan logsheet generator harian, sudut penyalaaan *thyristor* bekerja pada rentang  $116,57^\circ \leq \alpha \leq 120,96^\circ$  tetapi berdasarkan hasil simulasi sudut penyalaaan *thyristor* bekerja pada rentang  $100,71^\circ \leq \alpha \leq 127,15^\circ$ .

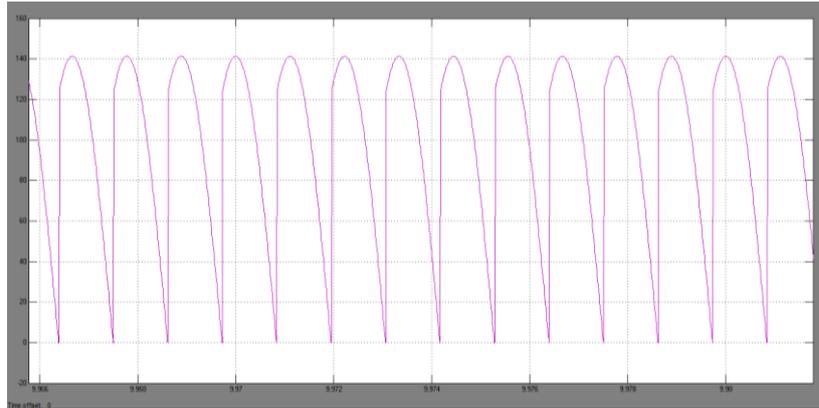
Gambar 5 memperlihatkan perbedaan karakteristik dari hasil perhitungan dengan hasil simulasi. Ketika terjadi penurunan daya reaktif maka nilai sudut penyalaaan *thyristor* dari hasil perhitungan akan lebih kecil dibanding nilai simulasi. Ketika terjadi kenaikan daya reaktif maka nilai sudut penyalaaan *thyristor* dari hasil perhitungan akan lebih besar dibanding nilai hasil simulasi.

Hal yang menyebabkan perbedaan antara hasil perhitungan dengan simulasi diantaranya adalah arus eksitasi yang dibutuhkan oleh simulasi lebih besar dibandingkan data logsheet. Pada simulasi, tegangan keluaran dilihat dari nilai arus eksitasinya sedangkan pada perhitungan hanya melihat dari nilai tegangan eksitasinya.

### 3.2 Percobaan Simulasi Saat Generator Kondisi Beban Penuh

Simulasi dijalankan pada kondisi beban penuh ( $P = 55 \text{ MW}$ ,  $Q = 41,25 \text{ MVAR}$  dan  $\text{pf} = 0,8$  lagging) untuk mendapatkan tegangan keluaran generator sebesar  $11,8 \text{ kVolt}$  membutuhkan sudut penyalaaan *thyristor* adalah  $61,73^\circ$ . Hasil gelombang berdasarkan simulasi adalah grafik tegangan (Volt) atau arus (Ampere) terhadap waktu (detik)

Gambar 6 adalah gelombang tegangan eksitasi untuk *AC exciter* yang didapat dari keluaran rangkaian semikonverter pada kondisi generator beban penuh. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai tegangan rata-rata  $V_{DC} = 99,55 \text{ Volt}$ . Berdasarkan hasil simulasi, nilai tegangan rata-rata  $V_{DC} = 99,5 \text{ Volt}$ . Hasil simulasi didapat arus rata-rata  $I_{DC} = 19,66 \text{ A}$  dilihat pada Gambar 7.



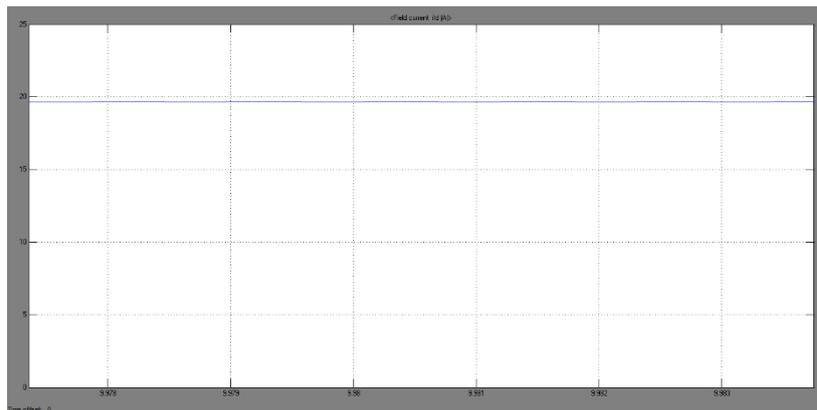
**Gambar 6. Tegangan eksitasi AC Exciter saat generator kondisi beban penuh**

Tabel 5 adalah hasil dari simulasi dan perhitungan tegangan eksitasi AC exciter yang didapat dari keluaran rangkaian semikonverter.

**Tabel 5. Hasil perhitungan dan simulasi tegangan eksitasi AC Exciter saat generator kondisi beban penuh**

| Hasil Perhitungan   | Hasil Simulasi               |
|---|------------------------------|
| $V_{DC} = \frac{3 \cdot \sqrt{3} \cdot V_M}{2.3,14} (1 + \cos 61,73^\circ)$                                 | $V_{DC} = 99,5 \text{ Volt}$ |
| $V_{DC} = \frac{3 \cdot \sqrt{3} \cdot 81,65}{2.3,14} (1 + \cos 61,73^\circ)$ $V_{DC} = 99,55 \text{ Volt}$ |                              |

Gambar 7 adalah bentuk gelombang arus eksitasi AC exciter yang didapat dari keluaran rangkaian semikonverter.



**Gambar 7. Arus eksitasi AC Exciter saat generator kondisi beban penuh**

Tabel 6 adalah hasil dari simulasi dan perhitungan arus eksitasi *AC exciter* yang didapat dari keluaran rangkaian semikonverter.

**Tabel 6. Hasil perhitungan dan simulasi arus eksitasi AC Exciter saat generator kondisi beban penuh**

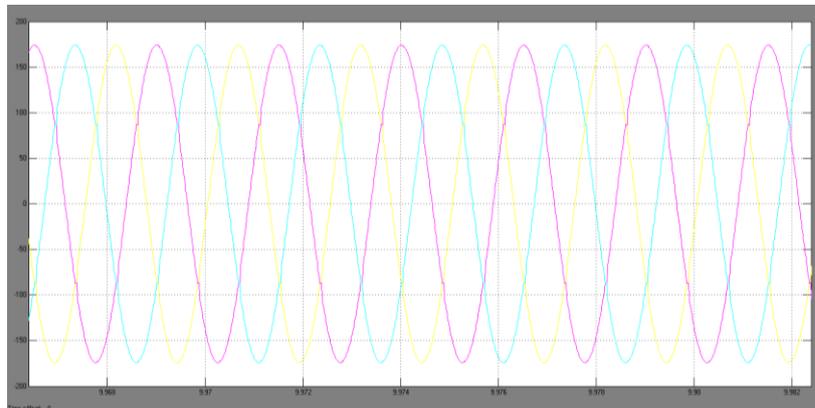
| Hasil Perhitungan   | Hasil Simulasi             |
|---|----------------------------|
| $I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R}$ $I_{DC} = \frac{99,55}{5,06} = 19,67 \text{ A}$ | $I_{DC} = 19,66 \text{ A}$ |

Gambar 8 merupakan gelombang tegangan keluaran *AC exciter* pada saat sudut penyalaan  $\alpha = 61,73^\circ$ . Berdasarkan simulasi maka didapat nilai tegangan keluaran maksimum *AC exciter*  $V_M = 301,89$  Volt, sehingga nilai tegangan efektif adalah :

$$V_{L-L} = \frac{V_M}{\sqrt{2}} = \frac{301,89}{\sqrt{2}} = 213,47 \text{ Volt}$$

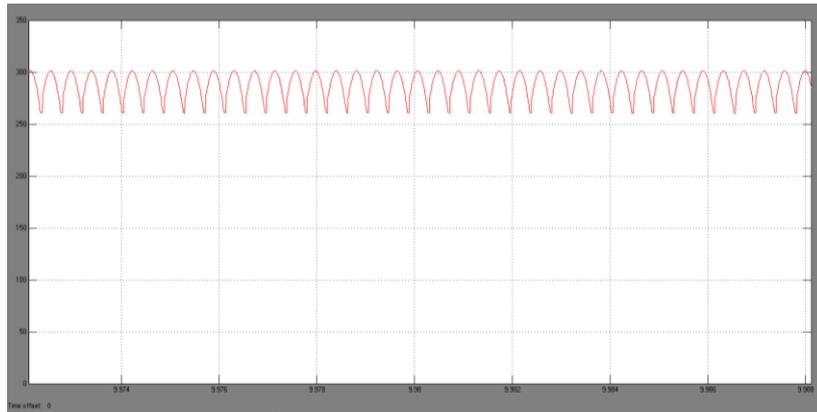
Dan nilai tegangan perfasanya adalah :

$$V_{L-N} = \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} = \frac{213,47}{\sqrt{3}} = 123,34 \text{ Volt}$$



**Gambar 8 Tegangan keluaran AC Exciter saat generator beban penuh**

Gambar 9 merupakan gelombang tegangan eksitasi untuk generator pada sudut penyalaan  $\alpha = 61,73^\circ$  yang didapat dari keluaran blok rektifier. Berdasarkan perhitungan, nilai tegangan rata-rata  $V_{DC} = 288,41$  Volt. Berdasarkan hasil simulasi, nilai tegangan rata-rata  $V_{DC} = 287,3$  Volt. Arus rata-rata  $I_{DC} = 1651$  A dilihat pada Gambar 10.

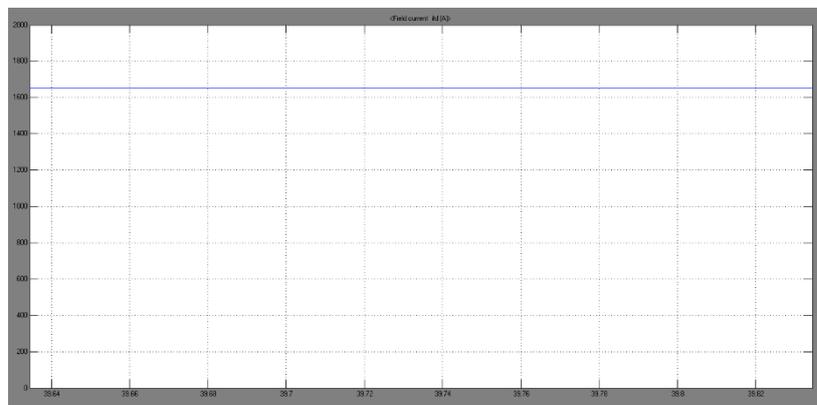


**Gambar 9** Tegangan eksitasi generator kondisi beban penuh

Tabel 7 adalah hasil perhitungan dan simulasi dari tegangan eksitasi generator kondisi beban penuh yang diambil pada rangkaian semikonverter.

**Tabel 7. Hasil perhitungan dan simulasi tegangan eksitasi generator kondisi beban penuh**

| Hasil Perhitungan  | Hasil Simulasi                |
|--|-------------------------------|
| $V_{DC} = 1,6548 \cdot V_M$<br>$V_{DC} = 1,6548 \cdot \sqrt{2} \cdot 123,24$<br>$V_{DC} = 288,41 \text{ Volt}$ | $V_{DC} = 287,3 \text{ Volt}$ |



**Gambar 10** Arus eksitasi generator kondisi beban penuh

Tabel 8 adalah hasil perhitungan dan simulasi dari arus eksitasi generator kondisi beban penuh yang diambil pada keluaran rangkaian semikonverter.

**Tabel 8. Hasil perhitungan dan simulasi arus eksitasi generator saat kondisi beban penuh**

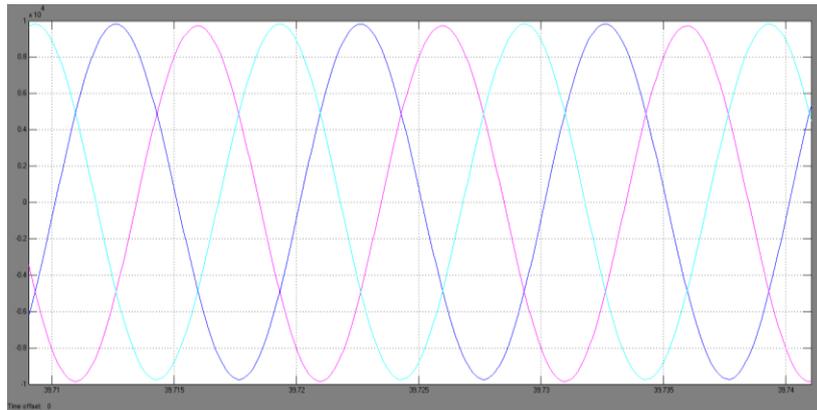
| Hasil Perhitungan  | Hasil Simulasi            |
|--|---------------------------|
| $I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R}$<br>$I_{DC} = \frac{288,41}{0,174} = 1657,53 \text{ A}$ | $I_{DC} = 1651 \text{ A}$ |

Gambar 11 adalah gambar tegangan keluaran generator pada 11,8 kVolt. Dengan nilai tegangan maksimumnya adalah :

$$V_M = \sqrt{2} \cdot V_{L-L} = \sqrt{2} \cdot 11800 = 16,68 \text{ kVolt}$$

Dan tegangan perfasanya adalah :

$$V_{L-N} = \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} = \frac{11800}{\sqrt{3}} = 6,81 \text{ kVolt}$$



**Gambar 11 Tegangan keluaran generator pada 11,8 kVolt**

Nilai tegangan keluaran generator tergantung dari besarnya nilai sudut penyalaan, hal ini dapat dilihat pada Tabel 4. Ketika terjadi perubahan beban maka nilai sudut penyalaan *thyristor* akan berubah tergantung dari permintaan nilai tegangan keluaran generator. Untuk memenuhi beban penuh maka nilai sudut penyalaan *thyristor* harus diaktifkan pada  $61,73^\circ$ .

Untuk mendapatkan tegangan sebesar 11,8 kVolt dibutuhkan arus eksitasi sebesar 1651 A. Sehingga arus eksitasi untuk *AC exciter* adalah 19,66 A dan tegangan eksitasi *AC exciter* adalah 99,5 volt sehingga sudut penyalaan *thyristor* yang harus diaktifkan sesuai dengan persamaan adalah  $61,73^\circ$ .

Hasil dari simulasi dan perhitungan tidak lebih dari 1% sehingga nilai dapat ditoleransi karena nilai dihasilkan antara perhitungan dan simulasi tidak terpaut jauh.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik adalah :

1. Berdasarkan hasil perhitungan, sudut penyalaan *thyristor* bekerja pada batas minimum  $\alpha = 116,57^\circ$  dan batas maksimum sudut penyalaan *thyristor* bekerja pada  $\alpha = 120,96^\circ$ . Berdasarkan hasil simulasi, sudut penyalaan *thyristor* bekerja pada batas minimum  $\alpha = 100,71^\circ$  dan batas maksimum  $\alpha = 127,15^\circ$ .
2. Berdasarkan hasil simulasi sudut penyalaan *thyristor* pada kondisi beban penuh adalah  $61,73^\circ$ .
3. Nilai sudut penyalaan *thyristor* berbanding terbalik dengan tegangan keluaran generator.
  - a. Semakin tinggi nilai sudut penyalaan *thyristor* pada rangkaian semi konverter akan menghasilkan nilai tegangan eksitasi pada eksiter dan tegangan keluaran generator mengecil.
  - b. Semakin kecil nilai sudut penyalaan *thyristor* pada rangkaian semi konverter akan menghasilkan nilai tegangan eksitasi pada eksiter dan tegangan keluaran generator membesar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chapman, Stephen J. 2002. "*Electric Machinery and Power System Fundamentals*". New York : McGraw-Hill.
- Kundur, Prabha. 1994. "*Power System Stability and Control*". USA : McGraw-Hill.
- Rashid, Muhammad H. (2011). *Power Electronics*. USA ; Jordan Hill
- Mitsubishi Electric Corporation*. 1986. "*Operation Manual Book, , Kamojang Geothermal Power Station 2 × 55 MW*". Nagasaki Work.
- Mitsubishi Electric Corporation*. 1986. "*Type VRG-PMH-VI Automatic Voltage Regulator System Instruction Manual*". Nagasaki Work.
- Zuhal. (1991). "Dasar Tenaga Listrik". Bandung : ITB.