

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator Sinkron

Generator sinkron adalah mesin sinkron yang mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. Dikatakan mesin sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Generator bekerja berdasarkan prinsip kerja induksi elektromagnetik atau fluksi yang kemudian mengubah energi listrik. Azas generator yang bekerja berdasarkan : Hukum Induksi Faraday :

“Apabila jumlah garis gaya yang melalui kumparan diubah, maka gaya gerak listrik dinduksikan dalam kumparan itu (Ion, 2006). Besarnya gaya gerak listrik yang dinduksikan berbanding lurus dengan laju perubahan jumlah garis gaya melalui kumparan”.

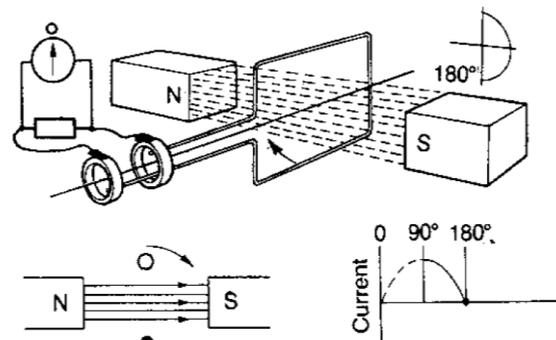
Rotor generator sinkron yang diputar dengan penggerak mula (prime mover) yang terdiri dari belitan medan dengan suplai arus searah akan menghasilkan medan magnet putar dengan kecepatan dan arah putar yang sama dengan putaran rotor tersebut (Chapman, 2012).

Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut.

2.2 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Adapun prinsip kerja dari generator sinkron secara umum adalah Kumparan medanyang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.

Penggerak mula (Prime Mover) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya. perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu (Bandri, 2013). Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut.



Gambar 2.1 Proses pembangkitan GGL
Sumber : (Chapman, 2012)

Untuk generator sinkron tiga fasa, digunakan tiga kumparan jangkar yang ditempatkan di stator yang disusun dalam bentuk tertentu, sehingga susunan kumparan jangkar yang sedemikian akan membangkitkan tegangan induksi pada ketiga kumparan jangkar yang besarnya sama tapi berbeda fasa 120^0 satu sama lain.

2.3 Reaksi Jangkar Generator Sinkron

Saat generator sinkron bekerja pada beban nol tidak ada arus yang mengalir melalui kumparan jangkar (stator), sehingga yang ada pada celah udara hanya fluksi arus medan rotor (Bandri, 2013). Namun jika generator sinkron diberi beban, arus jangkar I_a akan mengalir dan membentuk fluksi jangkar. Fluksi

jangkar ini kemudian mempengaruhi fluksi arus medan dan akhirnya menyebabkan berubahnya harga tegangan terminal generator sinkron. Reaksi ini kemudian dikenal sebagai reaksi jangkar.

Reaksi jangkar disebabkan oleh arus beban I yang mengalir pada kumparan jangkar, arus tersebut akan menimbulkan medan yang melawan medan utama sehingga seolah-olah jangkar mempunyai reaktansi sebesar X_a (Juhari, 2013). Reaktansi bocor X_L dan reaktansi karena reaksi jangkar X_a akan menimbulkan reaktansi sinkron sebesar X_S yang mengikuti persamaan sebagai berikut :

$$X_S = X_L + X_a \quad (2.1)$$

$$E = V + I(R_a + jX_a) \quad (2.2)$$

dengan ;

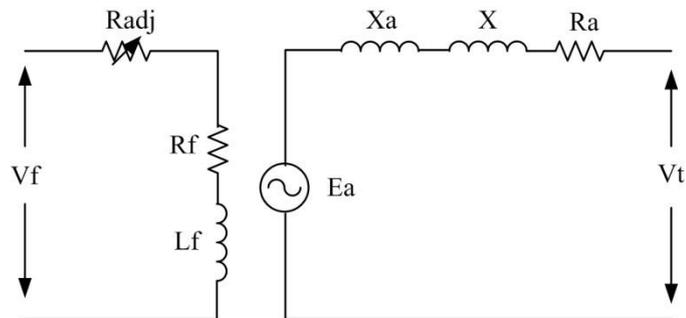
- E = GGL Jangkar (Volt)
- V = Tegangan terminal (Volt)
- I = Arus beban (Ampere)
- R_a = Resistansi jangkar (Ohm)
- X_L = Reaktansi bocor (Ohm)
- X_a = Reaktansi jangkar (Ohm)
- X_S = Reaktansi sinkron (Ohm)

Pengaruh yang ditimbulkan oleh fluksi jangkar dapat berupa distorsi, penguatan (*magnetising*), maupun pelemahan (*demagnetising*) fluksi arus medan pada celah udara. Perbedaan pengaruh yang ditimbulkan fluksi jangkar tergantung kepada beban dan faktor daya beban.

2.4 Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron

Stator merupakan grup belitan jangkar yang terbuat dari tembaga. Belitan-belitan ini diletakkan pada alur – alur (slot), dimana suatu belitan konduktor akan mengandung tahanan (R) dan induktansi (L), maka belitan stator akan mengandung tahanan stator (R_a) dan induktansi sendiri (L_f) (Chapman, 2012). Akibat adanya pengaruh reaktansi reaksi jangkar X_A dan reaktansi bocor X maka

rangkaian ekivalen suatu generator sinkron dapat dibuat seperti gambar 2.2 berikut ini :



Gambar 2.2 Rangkaian ekivalen generator sinkron
Sumber :(Bandri, 2013)

Dengan melihat Gambar 3.25.maka dapat ditulis persamaan tegangan generator sinkron sebagai berikut:

$$E_a = V_t + jX_a I_a + jX I_a + R_a I_a \quad (2.3)$$

Dan persamaan terminal generator sinkron dapat ditulis

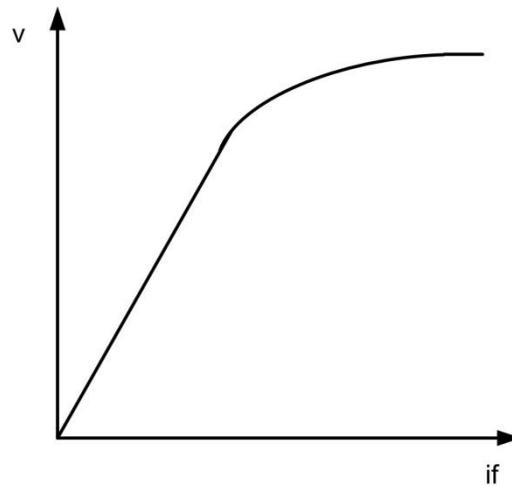
$$V_t = E_a - jX_a I_a - jX I_a - R_a I_a \quad (2.4)$$

dengan ;

- V_f = Tegangan Eksitasi (Volt)
- R_f = Tahanan Belitan Medan (Ohm)
- L_f = Induktansi Belitan Medan (Henry)
- R_{Adj} = Tahanan Varibel (Ohm)
- E_a = Ggl yang dibangkitkan generator sinkron (Volt)
- V_t = Tegangan terminal generator sinkron (Volt)
- X_t = Reaktansi Armatur (Ohm)
- X = Reaktansi Bocor (Ohm)
- X_s = Reaktansi Sinkon (Ohm)
- I_a = Arus Jangkar (Ampere)

2.5 Sistem Eksitasi Generator

Sistem eksitasi generator berfungsi membangkitkan medan magnet pada rotor generator dengan cara menginduksikan arus dc ke kumparan rotor generator, sehingga terbentuk sebuah elektro magnetik yang kuat medan sesuai dengan besarnya arus dc yang di injeksikan.



Gambar 2.3 Perbandingan antara arus eksitasi I_F dengan tegangan keluaran generator V
Sumber :(Chapman, 2012)

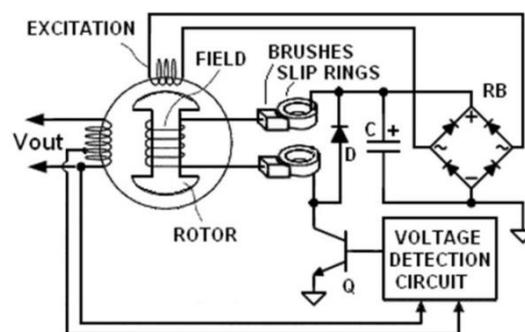
Dari gambar diatas dapat kita lihat perbandingan antara V dan iF , pada saat arus eksitasi dinaikan maka medan magnet pada rotor generator akan menguat. Hal ini mengakibatkan area pada stator yang terinduksi semakin luas sehingga mengakibatkan naiknya tegangan pada ujung kumparan stator. Namun ketika sudah mencapai titik saturasinya, walaupun besar arus eksitasinya ditambah tetap menghasilkan tegangan keluaran yang sama.

Suatu kenaikan daya reaktif pada sisi beban akan mengakibatkan penurunan magnitude tegangan terminal. Penurunan tegangan terminal ini kemudian akan disensor oleh suatu potensial transformator. Selanjutnya tegangan terminal akan disearahkan dan dibandingkan dengan suatu titik nilai acuan. Pengatur sinyal kesalahan penguat akan mengatur tegangan eksitasi sehingga tegangan eksitasi generator akan meningkat. Jika tegangan eksitasi meningkat maka daya tegangan yang dibangkitkan oleh generator akan meningkat pula.

Sistem eksitasi generator merupakan elemen penting untuk membentuk profil tegangan terminal generator yang stabil (Laksono, 2014). Sistem pengoperasian unit eksitasi generator ini 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 keluaran generator.

2.4.1 Sistem dengan sikat

Pada sistem ini arus yang digunakan untuk membangkitkan medan magnet dapat berasal dari baterai yang kemudian tegangan disuplai ke rotor penguat generator melalui cincin geser dan sikat-sikat sistem eksitasi ini berfungsi untuk penguatan medan magnet yang terdapat pada belitan medan generator. Setelah generator menghasilkan tegangan sendiri maka suplai dari baterai akan digantikan oleh tegangan keluaran dari generator itu sendiri yang terlebih dahulu disearahkan.



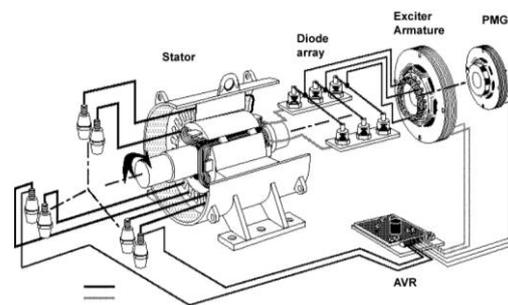
Gambar 2.4 Rangkaian sistem eksitasi dengan sikat
Sumber : (Syarif, 2018)

Penggunaan sistem penguatan pakai sikat memiliki keuntungan dan kerugian. Keuntungannya Keuntungannya antara lain lebih mudah dalam hal perbaikan bila terjadi kerusakan dan harga sistem ini lebih mudah. Sedangkan kerugiannya yaitu tegangan tidak stabil dalam setiap perubahan beban yang terjadi maka mengganti sikat-sikat secara berkala sebagai akibat gesekan yang terjadi terus menerus sehingga sikat-sikat menipis (Armansyah & Sudaryanto, 2016). Daya yang dihasilkan suplai belitan medan tidak cukup besar sehingga kemampuan daya yang dihasilkan terbatas dan perbaikan, pemeliharaan harus sering dilakukan secara berkala.

2.4.2 Sistem Tanpa Sikat

Sistem jenis ini relatif digunakan pada generator yang memiliki kapasitas besar. Penguat tanpa sikat ini adalah sebuah generator kecil dimana

rangkaian medannya berada di rotor. *output* tiga fasa dari generator penguat ini disearahkan oleh penyearah untuk mendapatkan sumber arus searah untuk mensuplai arus medan ke generator sinkron. Dengan mengatur besar arus penguat ini, memungkinkan untuk menyetel arus medan pada generator sinkron tanpa slip dan sikat.



Gambar 2.5 Rangkaian sistem eksitasi Tanpa sikat
Sumber :(Wikrama, 2013)

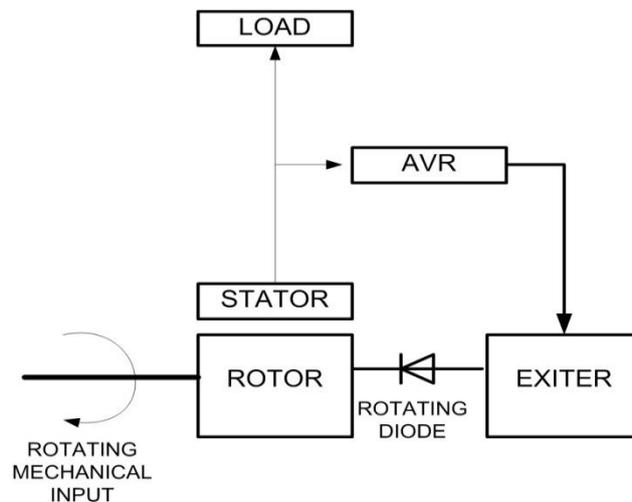
Karena tidak adanya kontak mekanis langsung maka penguatan tanpa sikat ini membutuhkan perawatan yang lebih kecil dibandingkan dengan yang menggunakan slip ring dan sikat (Armansyah & Sudaryanto, 2016). Dalam hal ini untuk mendapatkan penguatan generator secara lengkap dan tidak tergantung dari sumber daya dari luar (*external*), maka pada sistem ini biasanya dilengkapi pengendali penguat yang kecil (*Small Pilot Exiter*). Pengendali penguat yang kecil ini merupakan sebuah generator arus ac yang kecil dengan magnet yang permanen pada rotornya dan belitan tiga fasa pada statornya. Alat ini menghasilkan daya untuk rangkaian medan sebagai penguat yang mengontrol arus medan generator sinkron. Bila pengendali penguat yang kecil ini dilengkapi poros generator sinkron maka tidak diperlukan lagi sumber daya dari luar pada saat generator beroperasi.

2.6 Komponen Sistem Eksitasi Tanpa Sikat

2.6.1 Automatic Voltage Regulator (AVR)

Generator pada umumnya dilengkapi dengan pengatur tegangan untuk mengatur tegangan agar nilainya tetap konstan walaupun bebannya berubah-

ubah. Dalam mengatasi hal ini pada generator ac setelah dihubungkan ke beban diperlukan alat untuk mengatur agar tegangan generator tetap stabil. Cara yang biasa dilakukan untuk ini adalah dengan menggunakan alat bantu yang disebut dengan pengatur tegangan (*Voltage Regulator*) untuk mengendalikan besarnya eksitasi medan dc yang dicatukan pada generator.

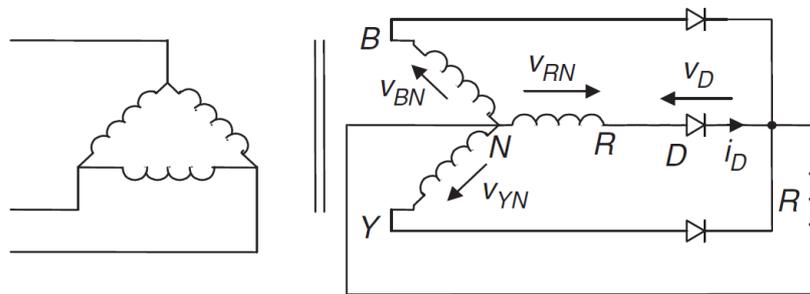


Gambar 2.6 Diagram Kerja Automatic voltage regulator
Sumber : (Chapman, 2012)

Apabila tegangan generator turun karena perubahan beban, maka pengatur tegangan secara otomatis menaikkan pembangkit medan sehingga tegangan kembali normal. Sama halnya bila tegangan terminal naik karena perubahan beban, pengatur mengembalikan tegangan normalnya dengan mengurangi eksitasi medan.

2.6.2 Konverter 3 Fasa

Untuk keperluan beban tinggi, seperti beban yang diperlukan untuk aplikasi industri, arus bolak-balik tiga fasa perlu diubah menjadi arus yang searah. Konfigurasi penyearah setengah gelombang tiga fasa seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.5 dibawah ini.

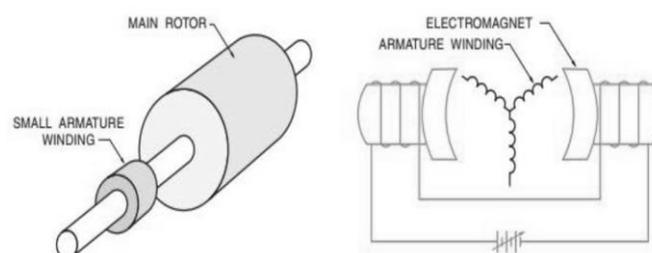


Gambar 2.7 Penyearah setengah Gelombang 3 fasa Y
Sumber :(Rashid, 2011)

Penyearah setengah gelombang fasa tunggal digabungkan bersama. Dioda diberi bias maju ketika tegangan masing-masing *line* menjadi positif, dan diberi bias mundur ketika tegangan negative. Karena tegangan dari tiap *line* tiga fasa menjadi positif, arus mengalir melalui beban ke tap pusat trafo, untuk melengkapi rangkaian. Rangkaian ini digunakan ketika tegangan keluaran dc yang dibutuhkan relatif rendah dan arus keluaran yang diperlukan terlalu besar untuk sistem fase tunggal yang praktis.

2.6.3 AC Exciter

AC Exciter adalah jenis yang sama dengan generator sinkron konvensional tapi mempunyai tipe jangkar berputar dan frekuensi tinggi. Rotor AC exciter ditempatkan pada poros yang sama dengan rotating rectifier. Kumparan jangkar adalah 3 fasa terhubung Y dan diisolasi yang diperkuat dengan pengujian tegangan tinggi.



Gambar 2.8 Kontruksi AC Exciter
Sumber :(Syarif, 2018)

2.6.4 Thyristor

Untuk rangkaian daya penyearah terkendali satu fasa jembatan penuh, dapat digunakan komponen daya sesuai dengan karakteristik pengontrolan serta kebutuhan daya yang digunakan. *Thyristor* sebagai komponen daya yang merupakan komponen yang dikendalikan oleh tegangan dan memerlukan arus masukan yang kecil. Kecepatan *switching* sangat tinggi dan waktu *switching* memiliki orde nano detik.

2.6.5 Rotating Rectifier

Penyearah berputar atau merupakan rangkaian penyearah gelombang penuh 3 fasa arus bolak balik. Setiap fasa mempunyai dua pasang *rectifier* sebagai jalur keluar masuknya arus. Dioda array ini dipasang pada shaft generator utama dan ikut berputar bersama rotor, sehingga disebut juga sebagai *rotating rectifier*.



Gambar 2.9 Dioda berputar
Sumber :(Akhdan, 2015)

2.6.6 Permanent Magnet Generator (PMG)

PMG adalah generator sinkron yang sistem eksitasinya menggunakan magnet permanen, umumnya PMG berkapasitas kecil

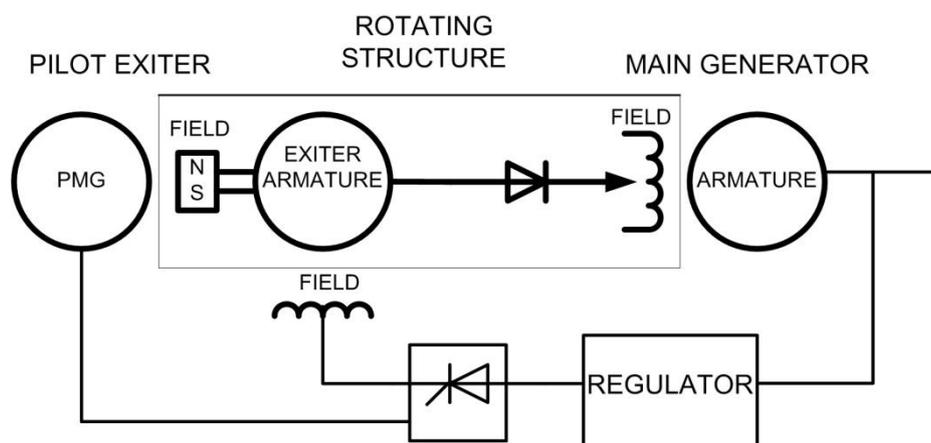


Gambar 2.10 Tampilan Permanent Magnet Generator
Sumber :(Pitera, 2016)

Pada sistem eksitasi tanpa sikat ini digunakan PMG sebagai penyedia daya untuk eksitasi AC Exciter dan komponen regulator. PMG terdiri dari magnet permanen berputar dan jangkar yang diam digulung untuk output 3 fasa. Magnet telah distabilkan selama pembuatan PMG untuk mencegah perubahan tegangan output akibat hubung singkat pada sistem.

2.7 Prinsip Kerja Eksitasi Tanpa Sikat

Berikut merupakan skema rangkaian dari sistem eksitasi tanpa sikat yang ditunjukkan pada gambar 2.3



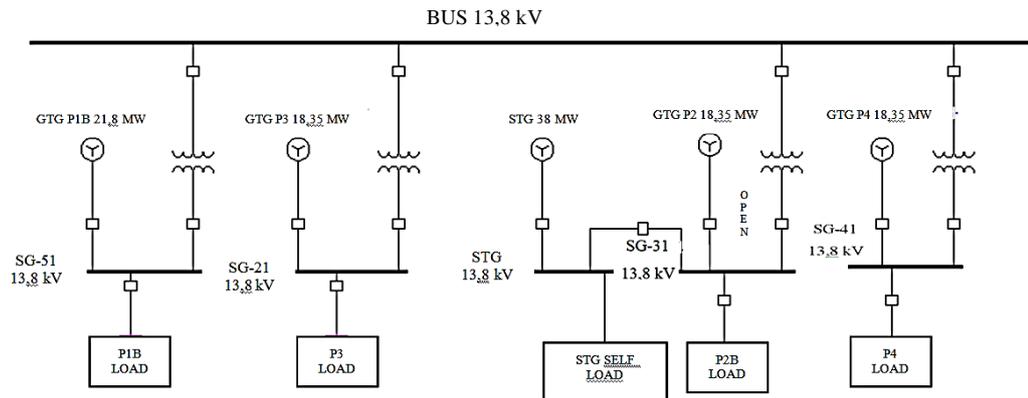
Gambar 2.11 Prinsip Kerja Sistem Eksitasi Tanpa Sikat
Sumber :(Chapman, 2012)

Generator penguat pertama disebut *pilot exciter* dan generator penguat kedua disebut *main exciter*. *Main exciter* adalah generator arus bolak-balik dengan kutub medan berada pada statornya dan rotornya menghasilkan arus bolak-balik yang kemudian disearahkan dengan dioda yang berputar pada poros *main exciter* (satu poros dengan generator utama). Arus searah yang dihasilkan oleh dioda berputar menjadi arus penguat generator utama. Pada pembahasan sebelumnya, *main exciter* ini dapat kita sebut juga dengan *exciter armature*. *Pilot exciter* pada generator arus bolak-balik dengan rotor berupa kutub magnet permanen yang berputar menginduksi pada lilitan jangkar stator, dengan kata lain merupakan *Permanent Magnet Generator* (PMG). Tegangan bolak-balik dari PMG ini disearahkan oleh penyearah dioda dan menghasilkan arus searah yang dialirkan ke kutub-kutub magnet pada stator *main exciter* atau *exciter armature*.

2.8 Sistem Kelistrikan PT. PUPUK SRIWIDJAJA

PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang memiliki sistem kelistrikan sendiri yang terpisah dari PLN (Perusahaan Listrik Negara). PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang saat ini memiliki 5 pembangkit listrik yang mampu memenuhi segala kebutuhan energi listrik di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Kebutuhan listrik di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang berupa motor-motor yang menggerakkan mesin produksi,

sistem kontrol, penerangan, komplek perumahan karyawan, gedung perkantoran dan beban-beban kecil lainnya. Kelima pembangkit yang dimiliki tersebut dihubungkan dengan sistem interkoneksi, sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu pembangkit maka beban yang disuplai oleh pembangkit itu dapat di suplai oleh pembangkit yang lain.



Gambar 2.12 Sistem kelistrikan PT. PUSRI
Sumber : (PT. PUSRI)

Pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang terdapat 5 pabrik besar, yaitu Pusri-IB, Pusri-II, Pusri-III, Pusri-IV, dan Pusri-IIB, yang masing-masing dari pabrik tersebut memiliki pembangkit listrik sendiri. Di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang memiliki 2 jenis pembangkit yang digunakan, yaitu GTG (*Gas Turbine Generator*) dan STG (*Steam Turbine Generator*), tegangan yang dihasilkan oleh generator kelima tersebut adalah sama 13800 Volt. Pada Pusri-IB, Pusri-II, Pusri-III, dan Pusri-IV jenis pembangkit yang di gunakan adalah jenis GTG (*Gas Turbine Generator*) dengan kapasitas terpasang pada Pusri-II, Pusri-III, dan Pusri-IV sama 21.588 KVA dan pada Pusri-IB 25.650 KVA, sedangkan pada Pusri-IIB menggunakan jenis pembangkit STG (*Steam Turbine Generator*) dengan kapasitas terpasang 44.706 KVA.

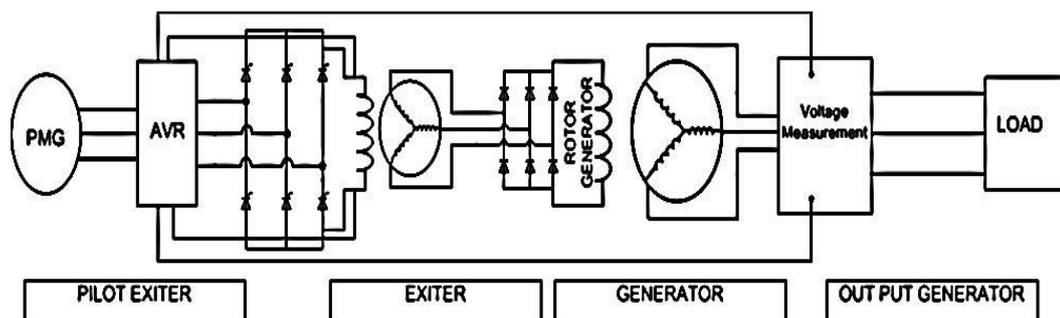
2.6.7 Steam Turbine Generator PT. PUSRI Palembang

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) atau STG (*Steam Turbine Generator*) PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang secara singkat merupakan pembangkit listrik yang menggunakan *Steam* sebagai penggerak turbin. *Steam* yang digunakan dihasilkan melalui proses pembakaran air oleh didalam *boiler* dengan bahan bakar batubara. Pembangkit ini digunakan untuk mensuplay tenaga listrik dan *steam* pada pabrik IIB dengan kapasitas daya listrik yang dihasilkan sebesar 44706 KVA.

Pada pembangkit ini, sistem eksitasi yang digunakan merupakan eksitasi yang memiliki sumber arus AC dengan penyearah berputar, dengan kata lain merupakan sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless*).

2.6.8 Sistem Eksitasi Steam Turbine Generator PT. PUSRI Palembang

Sistem eksitasi pada pembangkit STG-BB P-IIB PT. Pupuk Sriwidjaja menggunakan sistem eksitasi AC, yakni sumber arus eksitasi yang digunakan didapatkan dari PMG (*Permanent Magnet Generator*). Sedangkan dalam penyaluran arus eksitasi yang dihasilkan menuju ke generator menggunakan media tanpa sikat (*brushless*), yakni melalui *exciter armatur*



Gambar 2.13 Rangkaian Sistem Eksitasi STG PT. PUSRI

Sumber : (PT. Pusri)

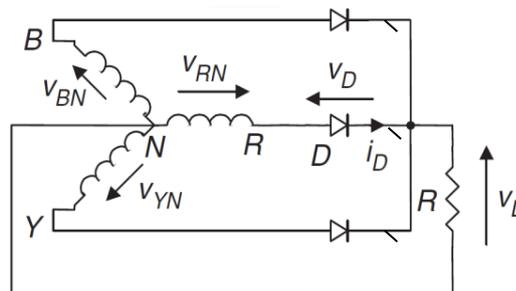
2.9 Penyearah Terkendali (*Control Rectifier*)

Penyearah adalah suatu alat yang terdiri dari saklar-saklar daya yang disusun sedemikian rupa sehingga dapat merubah energi listrik tegangan arus bolak-balik (AC) menjadi energi listrik tegangan arus searah (DC).

Terdapat beberapa jenis rangkaian penyearah, yang masing-masing jenis memberikan hasil yang berbeda-beda terhadap bentuk tegangan DC yang keluar. Salah satu jenis diode yang digunakan untuk mengkonversi arus AC menjadi arus DC adalah *silicon control rectifier (SCR)* atau yang lebih di kenal dengan *Thyristor* (Rahman, 2011). Dengan menggunakan thiristor maka waktu menghantar dan waktu padam dari saklar daya yang digunakan dapat dikontrol untuk menentukan besarnya tegangan keluarannya (Rashid, 2011).

2.9.1 Penyearah Setengah Gelombang 3 Fasa Terkendali

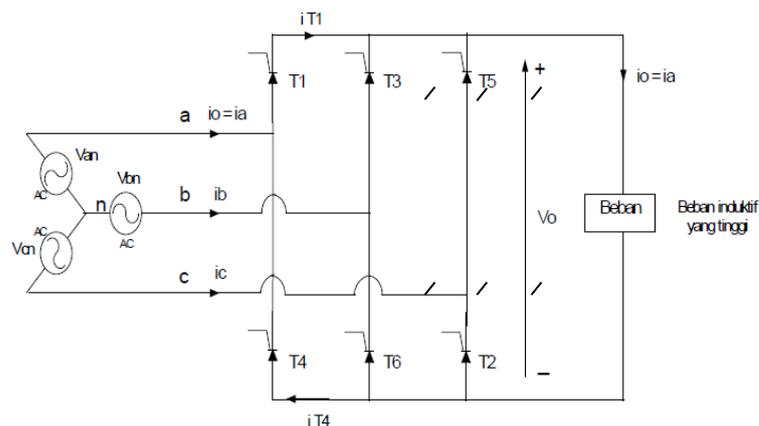
Penyearah tiga fasa terkendali setengah gelombang menggunakan tiga buah *thyristor* sebagai saklar dayanya. Rangkaian penyearah tiga fasa tidak terkendali setengah gelombang seperti ditunjukkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang 3 Fasa
Sumber : (Rashid, 2011)

2.9.2 Penyearah Gelombang Penuh 3 Fasa Terkendali

Penyearah tiga fasa tidak terkendali gelombang penuh menggunakan enam buah thyristor sebagai saklar dayanya. Skema penyearah tiga fasa tidak terkendali gelombang penuh 2.14



Gambar 2.14 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 3 Fasa
Sumber : (Rashid, 2011)

Selama interval $(\pi/6 + \alpha) \leq \omega t \leq (\pi/2 + \alpha)$, thyristor T1 dan T6 tersambung dan tegangan line to line $V_{ab} = (V_{an} - V_{bn})$ akan muncul sepanjang beban (Rashid, 2011). Jika tegangan sumber :

$$V_m = \frac{\sqrt{2} \cdot V_s}{\sqrt{3}} \quad (2.5)$$

Tegangan rata-rata keluaran di peroleh sebagai :

$$V_{dc} = \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} \sqrt{3} V_m \sin[\omega t + \frac{\pi}{6}] \quad (2.6)$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} \cos \alpha \quad (2.7)$$

Tegangan keluaran rata-rata akan menjadi maksimum bila $\alpha = 0$ dan tegangan keluaran maksimum akan menjadi

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} = 1,6548 V_m \quad (2.8)$$

Nilai rms keluaran akan diperoleh sebagai :

$$V_{dc-rms} = \left\{ \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} 3V_m^2 \sin^2[\omega t + \frac{\pi}{6}] d(\omega t) \right\}^{1/2} \quad (2.9)$$

$$V_{dc-rms} = \sqrt{3} V_m \left[\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha \right]^{1/2} \quad (2.10)$$

$$V_{dc-rms} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (2.11)$$

dengan ;

V_{dc} = Tegangan keluaran (Volt)

V_m = Tegangan puncak sumber (Volt)

α = Sudut penyalan thyristor

2.9.3 Perhitungan Sudut Penyalan Thyristor Pada Rangkaian AVR

Untuk menghitung sudut penyalan *thyristor* pada rangkaian konverter di AVR yang digunakan berdasarkan persamaan dari (Teriamanda, 2016).

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot V_{dc}}{3\sqrt{3} V_m - p_{mg}} - 1 \right) \quad (2.12)$$

Tegangan stator *ac exiter* (V_{dc}) didapat dari tegangan induksi *ac exiter* ($E_{a exc}$) yang nilainya sama dengan tegangan keluaran *ac exiter* ($V_m exc$) di bagi dengan akar tiga.

$$V_{dc} = \left(\frac{V_m exc}{\sqrt{3}} \right) \quad (2.13)$$

dengan ;

V_{dc} = Tegangan keluaran (Volt)

$V_m - p_{mg}$ = Tegangan puncak sumber (Volt)

α = Sudut penyalan *thyristor*

2.10 *Simulink Matlab*

Simulink merupakan salah satu fitur yang terdapat pada *matlab* yang membuat matlab lebih unggul dari aplikasi berbasis matrik lainnya. Dengan menggunakan *Simulink* kita dapat mensimulasikan berbagai model sistem mulai dari sistem kendali yang sederhana sampai dengan sistem yang cukup kompleks.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Skripsi ini menggunakan beberapa tahapan dan metode yaitu sebagai berikut:

3.1.1 Metode penulisan dan Pengumpulan data

a. Studi Literatur

Mempelajari teori-teori yang berkaitan dengan penelitian ini yaitu tentang bagaimana perubahan beban dapat mempengaruhi tegangan keluaran generator dan sistem eksitasi dapat menstabilkan tegangan keluaran.

b. Pengumpulan data

Tugas Akhir ini berdasarkan dari sumber data yang dikumpulkan berupa:

- Data Primer yang berupa data dari penelitian secara langsung ke lokasi dikelola guna mendapatkan perhitungan dan analisis yang sesuai dengan yang diharapkan.
- Data Sekunder berupa data yang dihasilkan dari literatur review pada penelitian sebelumnya sebagai bahan referensi yang berkaitan dengan pembahasan.

c. Diskusidan Konseling

Skripsi ini mendapatkan pengarahan dari Dosen Pembimbing guna mendapatkan tambahan pengetahuan dan masukkan atas koreksi dan kekurangan-kekurangan yang terdapat pada penulisan tugas akhir ini.

3.1.2 Metode perhitungan

Dalam menganalisis kinerja sistem eksitasi STG PT.Pusri Palembang saat menanggung beban tambahan dari generator lain ini penulis menghitung :

1. Mensimulasikan sistem eksitasi STG PT.Pusri Palembang

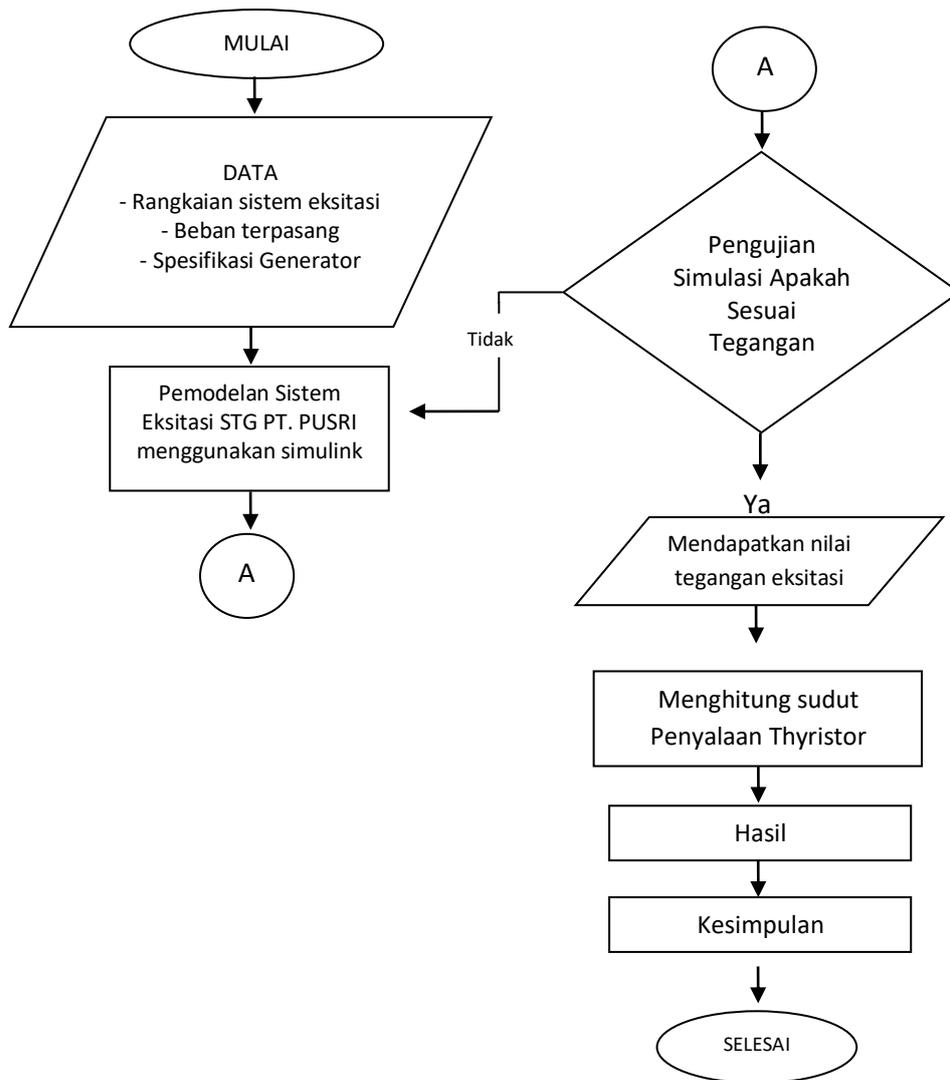
2. Menyambungkan blok generator dengan blok beban dengan memberi nilai beban utama dan beban tambahan masing-masing pabrik.
3. Menghitung sudut penyalan *thyristor* pada saat keadaan normal
4. Menghitung sudut penyalan *thyristor* pada saat GTG Pusri III mengalami trip
5. Menghitung sudut penyalan *thyristor* pada saat GTG Pusri IV mengalami trip
6. Menghitung sudut penyalan *thyristor* pada saat GTG Pusri IB mengalami trip
7. Menghitung sudut penyalan *thyristor* pada saat STG dibebani secara maksimal
8. Menghitung sudut penyalan *thyristor* pada saat GTG Pusri III dan PIV mengalami trip
9. Menganalisis kinerja sistem eksitasi STG PT.Pusri Palembang saat menanggung beban tambahan dari generator lain

3.2 Jadwal Penelitian Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada tanggal 12 november 2018 – 07 desember 2018 di PT. PUSRI Palembang.

3.3 Diagram alir

Berupa uraian tahapan langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini.



Gambar 3.1 Diagram blok

BAB 4 DATA DAN ANALISIS

4.1 Data Penelitian

Besarnya beban merupakan salah satu faktor yang menentukan perubahan tegangan keluaran pembangkit. Sebagaimana di jelaskan pada bagian sebelumnya dari penelitian ini tegangan keluaran dapat diatur melalui pengaturan eksitasi. Pengaturan eksitasi dilakukan dengan cara mengatur sudut penyalan *thyristor*. Berikut adalah data beban terpasang PT. PUSRI

Tabel 4.1 Beban terpasang PT. PUSRI
(Sumber : PT.PUSRI)

NO	ITEM	Beban Terpasang
1	<i>Self Load</i>	6 MW
2	<i>PIIBLoad</i>	17 MW
3	<i>PIBLoad</i>	13 MW
4	<i>PIIILoad</i>	9,8 MW
5	<i>PIVLoad</i>	9,8 MW

Data rinci untuk setiap beban dapat dilihat pada lampiran 2. *Self Load STG* PT. PUSRI merupakan daya yang digunakan untuk memproduksi uap dan pengendalian batubara sebagai bahan bakar pemanasan air untuk boiler.

Berikut ini Spesifikasi dari Generator STG PT. Pusri pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Spesifikasi Generator STG PT.PUSRI
(Sumber : PT.PUSRI)

Rated Output	44706 kVA
Rated Voltage	13800 V
Rated Frequency	50 Hz
Rated Speed	1500 rpm
Phase	3
Pole	4
Rater PF (Power Factor)	0.85 lagging
Resistance Rotor	0,003050 Ohm pada 45°C
Resistance Stator	0,024900 Ohm pada 45°C

Sumber arus eksitasi untuk STG dihasilkan oleh *Permanent Magnet Generator* (PMG) yang memiliki tegangan keluaran 240 V dengan frekuensi 275 Hz. Nilai puncak dari tegangan keluaran PMG dapat di peroleh dengan persamaan 2.5 :

$$V_{m-PMG} = \frac{\sqrt{2} \times 240}{\sqrt{3}} = 195,9 \text{ V}$$

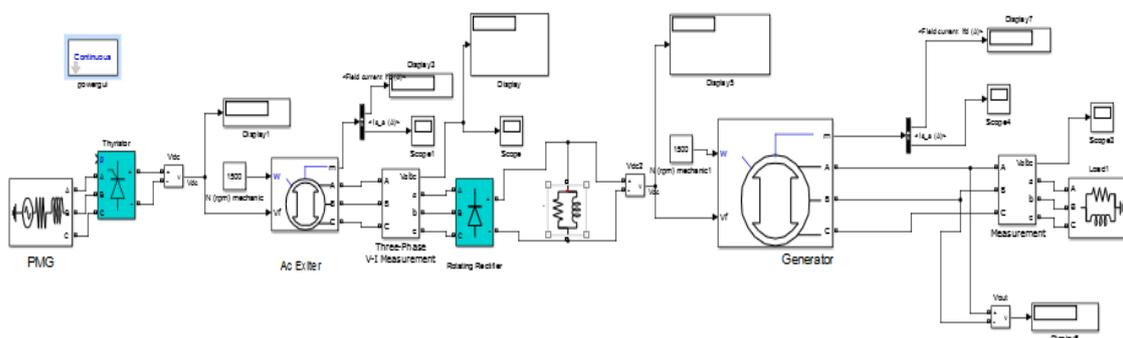
Arus eksitasi ini disalurkan ke rotor generator melalui *ac exiter* yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

**Tabel 4.3 Spesifikasi Exiter Generator STG PT.PUSRI
(Sumber : PT.PUSRI)**

Rated Voltage	100 V
Rated Output	I95,6 kVA
Frekuensi	150 Hz
Kutub	12
Hambatan Stator	0,2450 Ohm

4.2 Simulasi menggunakan *Simulink Matlab* versi R2016a

Pemodelan sistem eksitasi STG merupakan hal pertama yang dilakukan dari tahap simulasi ini



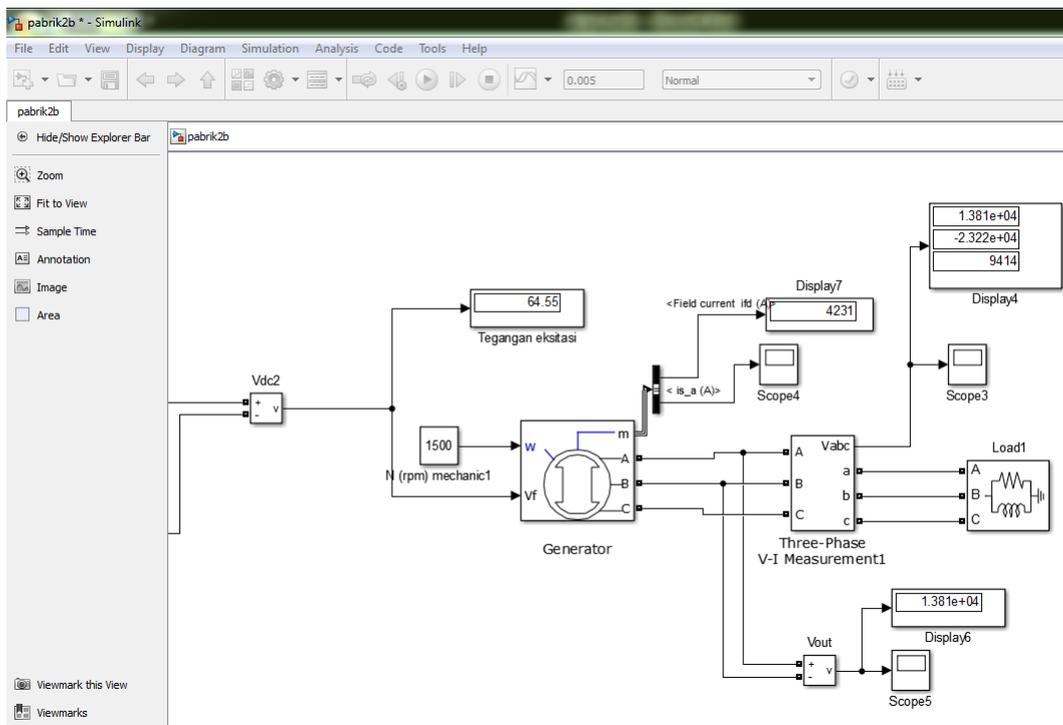
Gambar 4.2 Simulasi sistem eksitasi STG PT. PUSRI dengan *simulink*

Selanjutnya, bagian atau blok generator dihubungkan dengan beban pembangkit yang mengalami gangguan. Simulasi ini dilakukan dengan

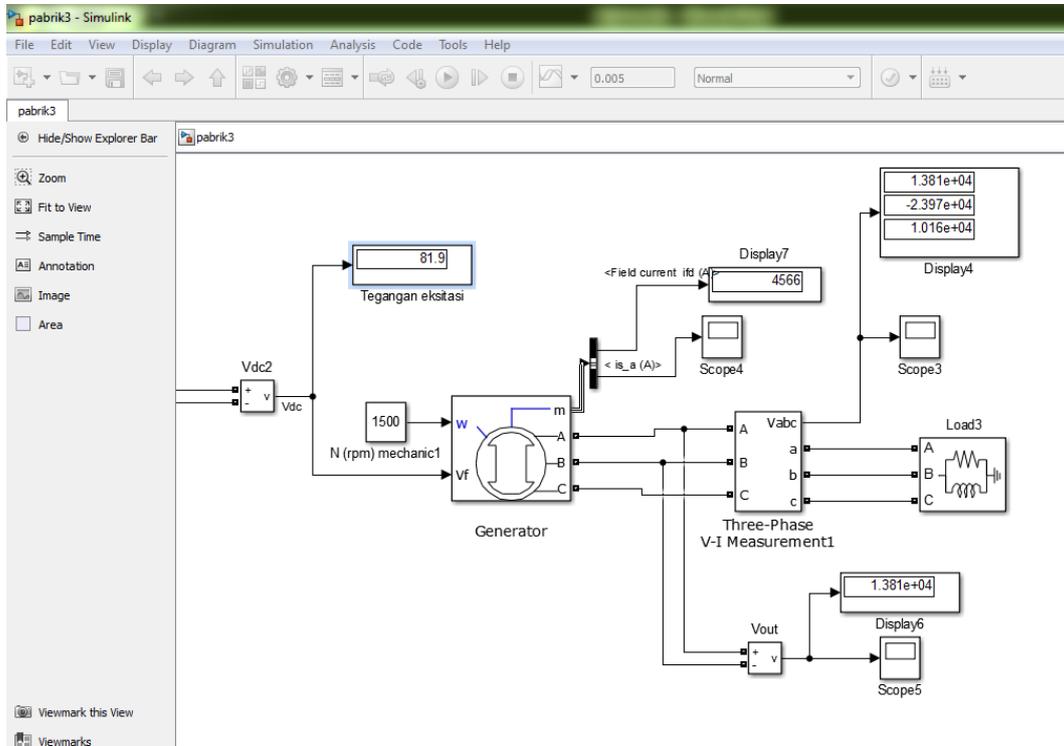
kasus-kasus yang dipilih berdasarkan pertimbangan kapasitas maksimal yang dimiliki STG PT.PUSRI sebagai berikut :

1. STG beroperasi normal dan menyuplai *self load* dan PIIB (*Self load + P2B load*)
2. GTG PIII mengalami trip, dan beban PIII dialihkan ke STG (*Self load + PIIB load + PIII load*)
3. GTG PIV mengalami trip, dan beban PIV dialihkan ke STG (*Self load + PIIB load + PIV load*)
4. GTG PIB mengalami trip, dan beban PIB dialihkan ke STG (*Self load + P2B load + PIB load*)
5. STG dioperasikan secara maksimal, dan menyuplai *self load* dan PIIB serta untuk kestabilan sistem karena pembangkit lain tidak berkerja optimal (*Self load + P2B load + cadangan 15 MW*)
6. GTG PIII dan GTG PIV mengalami trip Bersamaan, sehingga beban PIII dan PIV dialihkan ke STG (*Self load + PIIB load + PIII load + PIV load*)

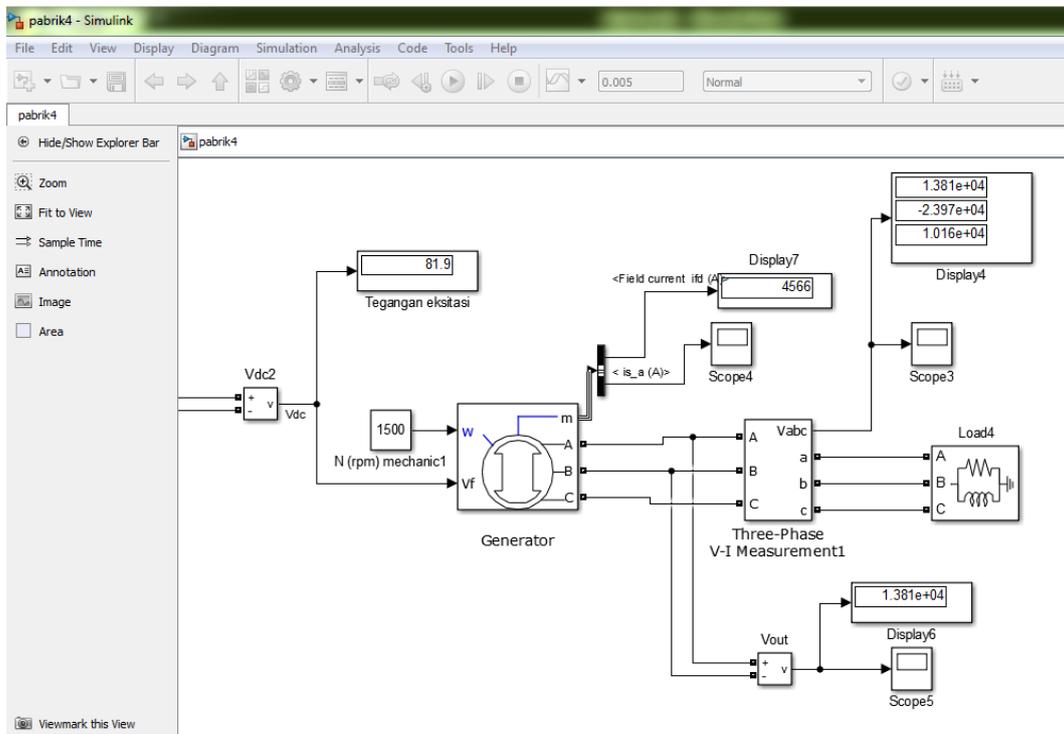
Hasil simulasi untuk kasus-kasus diatas dapat ditunjukkan pada gambar dibawah



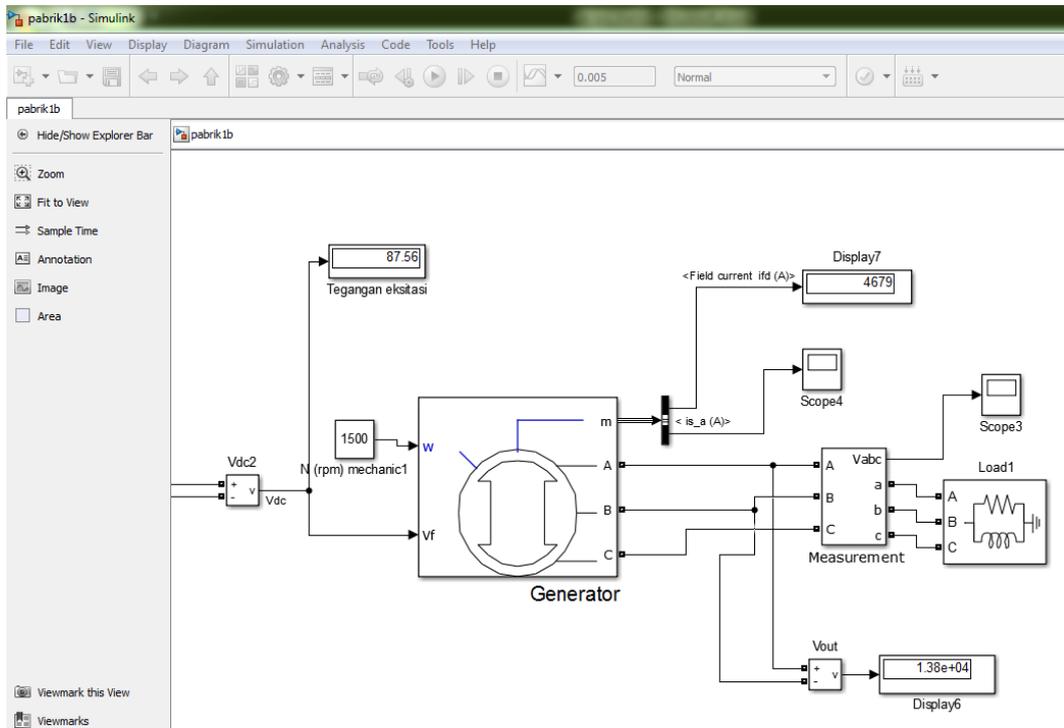
Gambar 4.3Kasus 1



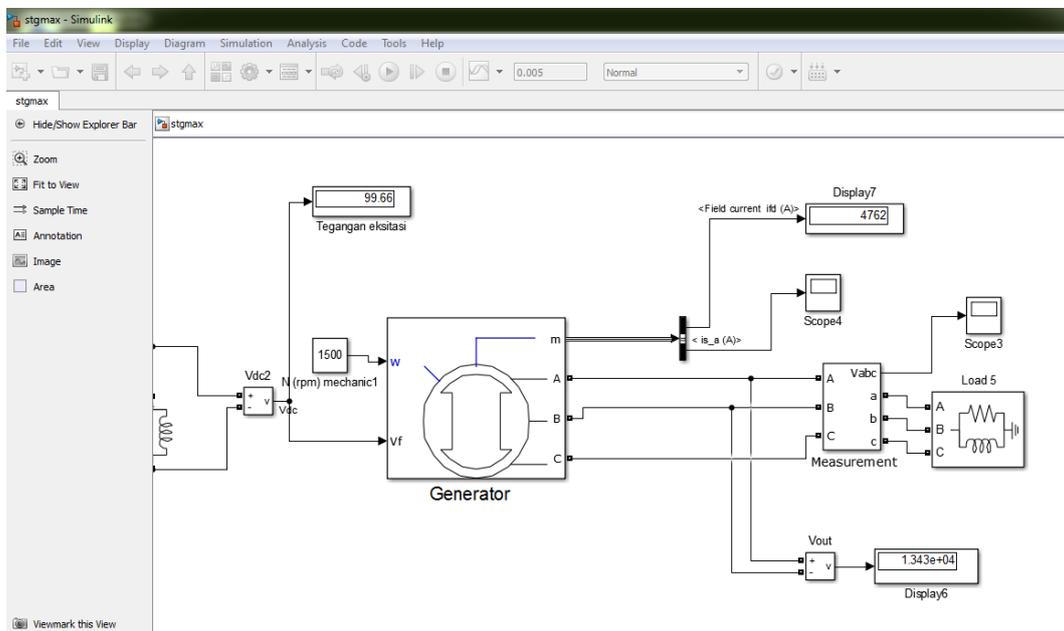
Gambar 4.4 Kasus 2



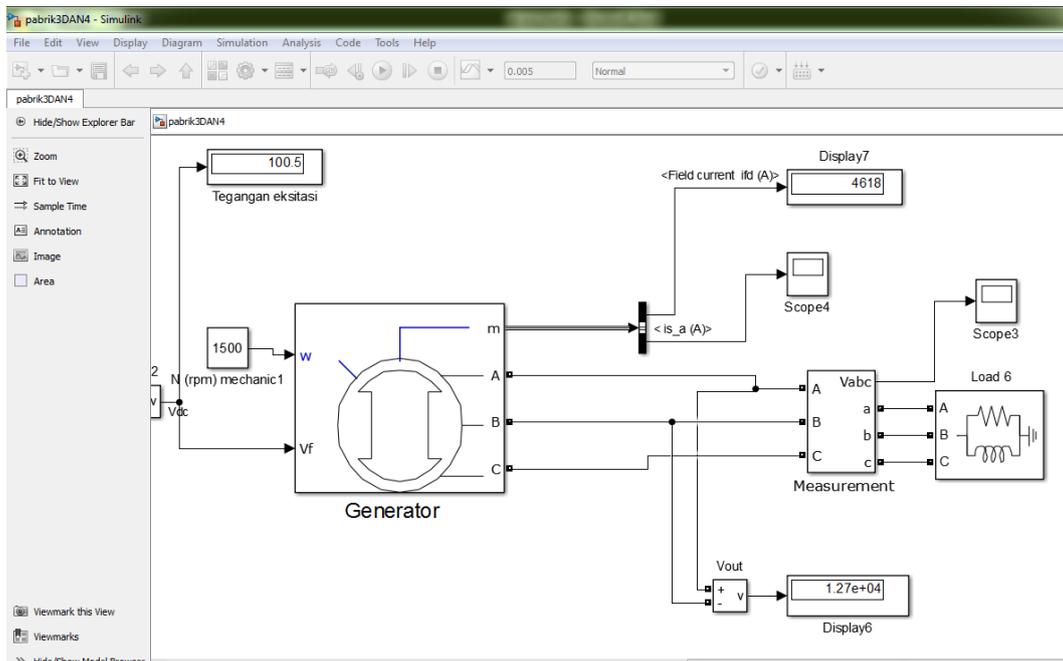
Gambar 4.5 Kasus 3



Gambar 4.6 Kasus 4



Gambar 4.7 Kasus 5



Gambar 4.8 Kasus 6

Hasil simulasi untuk setiap kasus-kasus diatas dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.3 Hasil simulasi tegangan eksitasi

Kasus	Tegangan Eksitasi
Kasus 1	64,55 Vdc
Kasus 2	81,90 Vdc
Kasus 3	81,90 Vdc
Kasus 4	87,56 Vdc
Kasus 5	99,66 Vdc
Kasus 6	100,5 Vdc

Dengan nilai tegangan eksitasi dari hasil simulasi, maka dapat dihitung tegangan keluaran *ac exiter* ($V_{m\ exc}$) dan Tegangan Stator *ac exiter* (V_{dc}) masing-masing menggunakan persamaan 2.8 dan 2.13

Kasus 1

$$64,55\ Vdc = \frac{3\sqrt{3V_{m\ exc}}}{\pi}$$

$$V_{m\ exc} = \frac{64,55}{1,6548} = 39,00\ Vac$$

Selanjutnya menghitung Tegangan Stator *ac exiter* (*Vdc*)

$$V_{dc} = \frac{39,00}{\sqrt{3}} = 22,51\ Vdc.$$

Untuk kasus selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama dengan mengganti nilai tegangan eksitasi dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil perhitungan *Vm exc*

Kasus	<i>Vm exc</i>	<i>Vdc</i>
Kasus 1	39,00 Vac	22,51 Vdc
Kasus 2	49,49 Vac	28,57 Vdc
Kasus 3	49,49 Vac	28,57 Vdc
Kasus 4	52,91 Vac	30,54 Vdc
Kasus 5	60,22 Vac	34,77 Vdc
Kasus 6	60,73 Vac	35,06 Vdc

Dari tabel 4.4 di dapat nilai tegangan *Vdc* dan nilai *Vm pmg* yang telah dihitung sebelumnya pada bagian PMG adalah 195,9 Vac, maka nilai sudut penyalan *thyristor* dapat di peroleh menggunakan Persamaan 2.12

Kasus 1

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{2\pi \times 22,51\ Vdc}{3\sqrt{3} \times 195,9\ Vac} \right) - 1 = 81,01^\circ.$$

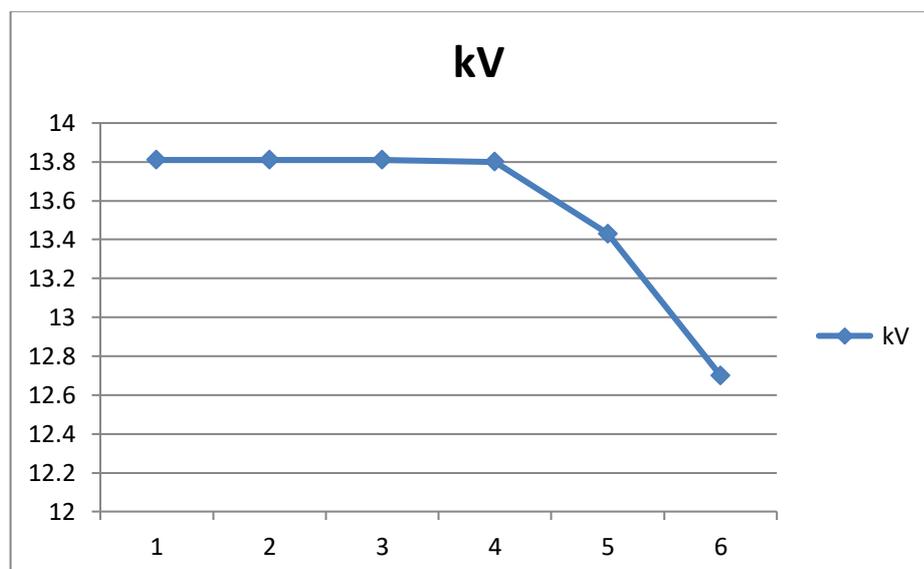
Untuk kasus selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama dengan mengganti nilai tegangan eksitasi dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil perhitungan sudut penyalaaan thyristor

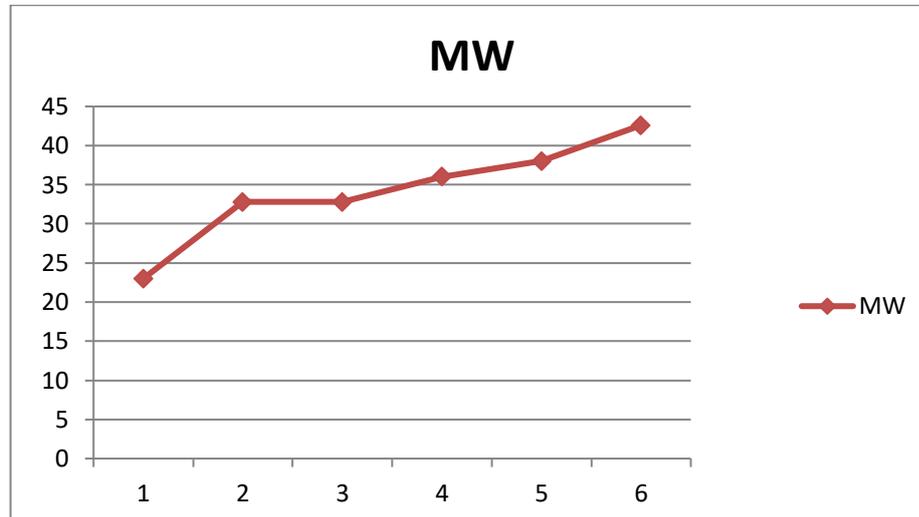
Kasus	Tegangan Eksitasi	Beban	Tegangan Generator	α	Kondisi Generator
Kasus 1	64,55Vdc	23MW	13,81kV	81,01°	Mampu
Kasus 2	81,90Vdc	32,8MW	13,81kV	78,84°	Mampu
Kasus 3	81,90Vdc	32,8MW	13,81kV	78,84°	Mampu
Kasus 4	87,56Vdc	36MW	13,80kV	78,13°	Mampu
Kasus 5	99,66Vdc	38MW	13,43kV	76,61°	Mampu
Kasus 6	100,5Vdc	42,6MW	12,70kV	76,50°	Tidak mampu

Kemampuan generator dalam setiap kasus dapat dilihat dari tegangan keluaran generator dan tegangan eksitasinya. Genarator STG PT. PUSRI dikatakan mampu apabila tegangan eksitasi generator tidak melebihi 100 Vdc dan Tegangan keluaran nya mencapai titik nominal 13,8 kV dengan toleransi 5%. Pada saat beban dinaikan maka terjadi penurunan pada tegangan keluaran generator, hal ini dapat dilihat pada grafik 4.1 dan grafik 4.2.

Grafik 4.1 Tegangan keluaran generator



Grafik 4.2 Beban yang di tanggung generator



4.3 Analisis Data Perhitungan

Hasil dari simulasi dan perhitungan menunjukkan bahwa :

1. Sudut penyalan thyristor paling besar terjadi pada saat keadaan normal yaitu $81,01^\circ$ dengan nilai beban 23MW dan tegangan eksitasi 64,55Vdc sedangkan Sudut penyalan thyristor paling kecil terjadi pada saat GTG pabrik 3 dan GTG pabrik 4 mengalami gangguan secara bersamaan $76,50^\circ$ dengan nilai beban 42,6 MW dan tegangan eksitasi 100,5Vdc.
2. Besar sudut penyalan thyristor pada saat pabrik 3 dan 4 mengalami gangguan sama yaitu $79,84^\circ$. Hal ini terjadi karena jumlah beban terpasang pada pabrik 3 dan 4 juga sama yaitu 9,8MW.
3. Semakin besar daya yang ditanggung oleh Generator sinkron menyebabkan turunya tegangan keluaran Generator tersebut Hal ini dapat dilihat dari grafik 4.1 dimana tegangan keluaran generator cenderung menurun

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Nilai sudut penyalan thyristor berbanding terbalik dengan nilai tegangan eksitasi dan beban, semakin besar nilai beban maka dibutuhkan nilai tegangan eksitasi yang besar pula agar tegangan nominal 13,8 kV dapat tercapai. Semakin besar tegangan eksitasi yang dibutuhkan semakin kecil nilai sudut penyalan thyristor yang harus diatur.

Hal ini dapat dilihat dari perbandingan kasus 1 ketika beban normal dengan tegangan eksitasi yang dibutuhkan 64,55Vdc membutuhkan sudut penyalan thyristor 81,01° sedangkan untuk kasus 7 saat GTG PIII dan GTG PIV mengalami gangguan secara Bersamaan tegangan eksitasi yang dibutuhkan 100,5 Vdc membutuhkan sudut penyalan thyristor yang lebih kecil 76,50°.

5.2 Saran

Adapun saran dalam skripsi ini adalah cakupan data penelitian belum memenuhi seluruh segmen parameter yang diinginkan, seperti nilai hambatan yang terdapat pada rotor *AC Exiter* sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk melengkapi data secara lengkap