

TUGAS AKHIR

ANALISA SISTEM EKSITASI PADA GENERATOR PLTGU BLOK 2 PT.PLN (PERSERO) SEKTOR PEMBANGKITAN BELAWAN

*Diajukan Guna Melengkapi Tugas Tugas Dan Memenuhi Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST)
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusunoleh :

ANDY DESMAWAN
1307220014



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

LEMBAR PENGESAHAN- I

TUGAS AKHIR

**ANALISA SISTEM EKSITASI PADA GENERATOR PLTGU
BLOK 2 PT.PLN (PERSERO) SEKTOR PEMBANGKITAN
BELAWAN**

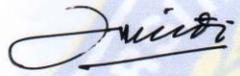
Disusun Oleh :

ANDY DESMAWAN

1307220014

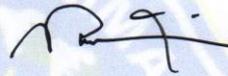
Diperiksa dan Disetujui Oleh :

Pembimbing - I



(Ir. Yusniati, M.T)

Pembimbing - II



(Rimbawati, S.T., M.T)

Penguji - I



(Ir. Abdul Azis Hutasuhut, M.M)

Penguji - II



(Muhammad Adam, S.T., M.T)

Diketahui oleh :

Ka. Program Studi Teknik Elektro



(Faisal Ihsan Pasaribu, S.T, M.T)

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

ABSTRAK

PT.PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan adalah salah satu unit pembangkit di Sumatera utara yang mempunyai tugas pokok mengoperasikan dan memelihara.proses pembangkit tenaga listrik yang memutar generator sinkron sehingga menghasilkan listrik,namun untuk membangkitkan medan listrik yang besar maka dibutuhkan sistem eksitasi atau penguat medan magnet, dimana sistim eksitasi ini menggunakan sikat arang, tetapi tidak sering juga timbulnya percikan api pada sikat arang yang apabila percikan api ini dibiarkan dan semakin membesar akan berdampak buruk pada komutator slipring eksitasi. Untuk mengetahui penyebab timbulnya percikan api tersebut maka dilakukan perhitungan besar kemampuan hantar arus pada sikat arang, dari data – data eksitasi dan data – data sikat arang yang dikumpulkan dari sumber PT. PLN (persero) sektor pembangkitan Belawan, ternyata setelah melakukan perhitungan besar kemampuan hantar arus maksimum pada sikat arang tersebut ialah 32A Dc, dan pada saat timbul percikan api dengan besar kapasitas eksitasi 300V Dc dan 550ADc maka arus yang mengalir ke sikat arang 34.2A Dc dan ini lebih besar 2.2A Dc, dari data dan hasil perhitungan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan ,bahwa besarnya arus eksitasi yang mengalir pada sikat arang tidak sesuai dengan kapasitas arus maksimum sikat arang yang digunakan maka terjadilah percikan api tersebut. untuk menannggulangi hal tersebut maka sebaiknya di tambahkan jumlah sikat arang pada posisi positif dan negatif, masing – masing posisi 2 pada positif dan 2 pada negatif.

Kata kunci : generator, eksitasi, sikat arang

KATA PENGHANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Segala puji dan syukur dipanjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmatnya telah memberikan kesehatan dan kelapangan sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini diajukan untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Adapun judul dari tugas akhir ini adalah “**ANALISA SYSTEM EKSITASI PADA GENERATOR PLTGU BLOK 2 PT.PLN(PERSERO) SEKTOR PEMBANGKITAN BELAWAN**”.

Selama penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa tanpa bantuan kedua orang tua penulis dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua **Sumariawan** dan **Sumarni**, adik **Rendy Irawan**, yang selalu mendukung dalam do'a dan selalu setia menemani dalam suka dan duka.
2. Bapak **Rahmatullah,ST., M.Sc.** selaku dekan fakultas teknik universitas muhammadiyah sumatera utara.
3. Bapak **Faisal Irsan Pasaribu, ST. S.Pd, M.T.** selaku ketua Program Studi Teknik Elektro

4. Bapak **Partaonan Harahap, ST** selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro.
5. Ibu **Ir. Yusniati, M.T.** selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikirannya di dalam mengarahkan penulisan dalam penyusunan skripsi ini.
6. Ibu **Rimbawati ST.MT**, selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikirannya di dalam mengarahkan penulisan dalam penyusunan skripsi ini.
7. Kepada adinda **Ena Syahfitri S.Pd.I** yang selalu memberi semangat dan motivasi
8. Seluruh **Staf Administrasi dan Dosen – Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UMSU**, yang telah membantu dalam memberikan informasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini..
9. Kepada **Teman – Teman Teknik Elektro Stambuk 2013 Malam dan Rekan Rekan Mahasiswa Teknik Elektro Lainnya**, yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga segala bantuan yang saya terima mendapat balasan yang layak dari Allah SWT. Akhir kata saya mengharapkan semoga tulisan ini bermanfaat bagi kita semua, Amin.

Medan, 18 September 2017

Penulis

ANDY DESMAWAN

1307220014

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGHANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	5
2.2 Landasan Teori.....	8
2.2.1 Pengertian PLTGU.....	8
2.2.2 Prinsip Kerja PLTGU.....	9
2.2.2.1 Proses Produksi Listrik Pada PLTGU.....	10
2.2.2.2 Siklus Tertutup (Closed Cycle).....	12

2.2.2.3	Komponen Sistim PLTGU.....	16
2.2.2.4	Kelebihan Dan Kekurangan PLTGU.....	24
2.2.3	Generator 3 Phasa.....	25
2.2.4	Prinsip Kerja.....	26
2.2.5	Sistim Sambungan Kumparan Generator.....	27
2.2.6	Hubungan Frekuensi Dan Nilai Arus Bolak Balik.....	28
2.2.7	Generator Singkron.....	29
2.2.8	Pengertian Sistim Eksitasi.....	31
2.2.8.1	Eksitasi Dengan Sikat.....	32
2.2.8.2	Eksitasi Tanpa Sikat.....	33
2.2.9	Bagian – Bagian Sisitim Eksitasi Pada Generator PLTGU Sicanang.....	33
2.2.9.1	Thiristor Rectifier.....	34
2.2.9.2	Trafo Eksitasi.....	35
2.2.9.3	Unit AVR (Automatic Voltage Regulator).....	35
2.2.10	Prinsip Kerja Sistim Eksitasi Generator Unit 2 Pada PLTGU Sicanang.....	36
2.2.11	Keuntungan Dan Kerugian Sisitim Eksitasi Tanpa Sikat Arang.....	38
2.2.12	Alarm Dan Trip SistimEksitasi.....	38
2.2.13	Fungsi Sikat Arang Pada Motor Listrik Dan Generator.....	40
2.2.14	Cara Pembuatan Sikat Arang.....	40

BAB III. METODELOGI PENELITIAN

3.1	Lokasi Penelitian.....	43
3.2	Alat Dan Bahan Penelitian.....	43

3.3 Data Penelitian.....44

3.4 Jalannya Penelitian.....46

BAB IV. ANALISA DATA

4.1 Menentukan Nominal Arus Pada Sikat Arang (Carbon Brush).....48

4.2 Mengetahui Dampak Dari Percikan Api Yang Ditimbulkan Oleh Sikat Arang Terhadap Generator.....52

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....54

5.2 Saran.....54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus PLTGU.....	8
Gambar 2.2 Cara Kerja PLTGU.....	9
Gambar 2.3 Skema Sebuah Blok Pltgu Yang Terdiri Dari 3 Unit PLTG Dan Sebuah PLTU.....	10
Gambar 2.4 Sklus Terbuka.....	11
Gambar 2.5 Diagram Alir PLTGU.....	13
Gambar 2.6 Diagram Alir GTG Sicanang Belawan (Siklus) Terbuka.....	17
Gambar 2.7 Sistim Hrsg.....	21
Gambar 2.7 Lilitan Stator Generator 3 Fasa.....	25
Gambar 2.8 Pembangkitan Gaya Gerak Listrik (GGL).....	26
Gambar 2.9 Sisitim Sambungan Kumparan Generator.....	27
Gambar 2.10 Sistim Terjadinya GGL.....	30
Gambar 2.11 Bentuk Sederhana Sistim Eksitasi Pada Generator.....	32
Gambar 2.12 Sisitim Eksitasi Dengan Sikat.....	33
Gambar 2.13 Sistim Eksitasi Tanpa Sikat.....	33
Gambar 2.14 Single Line Diagram Excitation Pltgu Sicanang.....	34

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hambatan Jenis Penghantar.....	41
Tabel 3.1 Data Beban Pada PLTGU Blok 2.....	44
Tabel 3.2 Data Generator Pada PLTGU Blok 2.....	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan yang penting bagi kehidupan manusia, dimana listrik tersebut dihasilkan dari proses konversi sumber energi primer seperti, potensial air, energi angin, minyak bumi, gas dan batubara sebagai sumber pembangkitnya.

PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan adalah salah satu unit pembangkit di Sumatera bagian utara yang mempunyai tugas pokok mengoperasikan dan memelihara mesin pembangkit. Mulai berproduksi pada tahun 1984 dengan kapasitas awal 130 MW. Saat ini sudah berkembang menjadi 1.156,3 MW yang terdiri dari 4 unit PLTU, 2 Unit Blok PLTGU dan 5 Unit PLTG.

Proses pembangkitan tenaga listrik yang banyak dilakukan adalah dengan cara memutar generator sinkron sehingga menghasilkan tenaga listrik dengan arus bolak-balik tiga fasa. Tenaga mekanik yang dipakai untuk memutar generator listrik berasal dari mesin penggerak generator listrik atau biasa disebut turbin. Mesin penggerak generator listrik ini melakukan konversi tenaga primer (seperti air, angin, surya dan sebagainya) menjadi tenaga mekanik yang selanjutnya akan dihasilkan energi listrik oleh generator listrik.

Generator sinkron adalah salah satu komponen terpenting dalam sebuah industri pembangkitan listrik. Didalam instalasi generator untuk menghasilkan tenaga listrik dengan arus bolak-balik, diperlukan sebuah teknologi berupa sistem penguatan atau yang lebih sering disebut sebagai sistem

eksitasi. Sistem eksitasi ini adalah sebuah teknik penguatan arus medan magnet yang dibangkitkan pada generator dengan menggunakan prinsip elektromagnetis.

Tujuan dari sistem eksitasi pada generator adalah untuk mengendalikan output dari generator agar tetap stabil pada beban sistem yang berubah – ubah dan sebagai penguat eksitasi.

Sistem eksitasi sendiri tidak lepas juga dari komponen penunjang lainnya seperti carbon brush (sikat arang) yang dimana sikat arang ini berfungsi sebagai penghantar arus eksitasi pada belitan rotor yang nantinya akan menjadi penguat medan magnet pada rotor tersebut. Tidak sering juga timbulnya percikan api pada sikat arang tersebut yang dikarenakan tidak bagusnya sebuah sikat arang dan terlalu besarnya arus eksitasi atau MVAR.

Berdasarkan penjelasan diatas maka tugas akhir ini akan membahas analisa sistem eksitasi pada generator PLTGU blok 2 PT.PLN (PERSERO) Sektor Pembangkitan Belawan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan ditetapkan didalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana hubungan luas penampang pada sikat arang terhadap timbulnya percikan api pada eksitasi generator ?
2. Bagaimana dampak resiko yang terjadi pada sikat arang yang menimbulkan percikan api terhadap sistim eksitasi generator ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian skripsi ini adalah :

1. Melakukan perhitungan untuk menentukan besar kemampuan hantar arus maksimum pada sikat arang yang digunakan eksitasi generator PLTGU blok 2.
2. Mengetahui dampak dari percikan api yang di timbulkan oleh sikat arang terhadap generator

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan skripsi ini tidak terlalu meluas maka penulis akan membatasi tulisan penulis sebagai berikut :

1. Pandangan umum tentang generator.
2. Memahami sistem kerja dari eksitasi generator PLTGU block 2 PT.PLN sektor pembangkitan belawan.
3. Memperhitungkan kapasitas arus maksimum sikat arang yang digunakan pada sistem eksitasi PLTGU block 2.

1.5 Metodologi Penelitian

a. Metode Literatur

Penulis melakukan studi teoritis diperpustakaan dan internet untuk mendapatkan bahan – bahan teori yang dibutuhkan dalam penyusunan skripsi.

b. Metode Riset

Penulis melakukan riset di pembangkit listrik tenaga gas sektor pembangkitan belawan pulau sicanang untuk mendapatkan bahan yang dibutuhkan dalam penyusunan skripsi ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang akan dipakai agar mencerminkan isi dari skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini mencakup latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, metode penulisan, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAU PUSTAKA

Bab ini membahas teori teori yang merupakan penunjang didalam perencanaan dan pembuatan tugas akhir.

BAB III METODELOGI PENELITIAN

Pada bagian bab iii ini akan dipaparkan tentang lokasi penelitian, alat dan bahan penelitian, data penelitian, jalannya penelitian, jadwal penelitian.

BAB IV ANALISA DAN HASIL PENGUJIAN

Bab ini membahas mengenai analisis berupa data dan hasil dari data yang diteliti.

BAB V PENUTUP

Bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran dari penyusunan skripsi ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Studi pengaturan arus exitasi untuk mengatur tegangan keluaran generator di PT. Indonesia power ubp kamojang unit 2. perubahan suatu beban akan mempengaruhi tegangan keluaran generator. apabila tegangan 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. maka dibutuhkan sistem pengaturan arus exitasi generator memakai automatic voltage generator (AVR). (Nanda, 2016)

Analisa pengaruh eksitasi terhadap efek harmonisa pada hubungan belitan generator sinkron dengan beban Lampu. Harmonisa arus generator sinkron belitan delta dengan beban Lampu 5 watt belitan bintang terjadi mulai pada pengaturan 50% dari arus exitasinya. (Priyadi, 2013)

Perilaku tegangan system eksitasi generator dengan metoda penempatan kutub dalam domain waktu. dengan menggunakan perangkat lunak matlab diperoleh bahwa dengan menggunakan metoda penempatan kutub perilaku tegangan sistem eksitasi generator menunjukkan performansi yang lebih baik dibandingkan performansi perilaku tegangan system eksitasi tanpa metoda penempatan kutub dengan stabilizer. (Heru, 2013)

Analisa kekokohan tanggapan tegangan sistem eksitasi generator terhadap perubahan parameter konstanta penguatan generator dengan berbagai pengendali. Kekokohan tanggapan tegangan sistem eksitasi generator merupakan kemampuan dari sistem eksitasi generator untuk meredam derau pada frekuensi

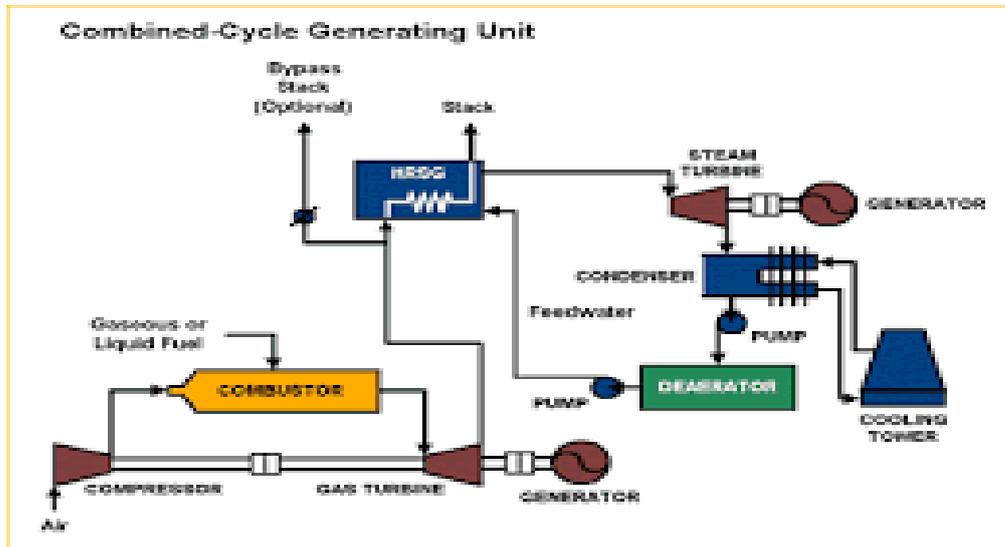
tinggi, mempunyai tanggapan yang cepat terhadap masukan tertentu dan mampu menghilangkan gangguan pada saat beroperasi. Pada analisa kekokohan ini juga akan diamati tingkat kekokohan tanggapan tegangan sistem eksitasi generator terhadap perubahan parameter dari komponen – komponen sistem eksitasi. Adapun perubahan parameter yang diamati adalah perubahan konstanta penguatan generator terhadap tanggapan tegangan sistem eksitasi. Analisa kekokohan dilakukan dengan menggunakan nilai kriteria puncak maksimum. Nilai kriteria puncak maksimum ini terbagi atas 2 bahagian yaitu nilai kriteria puncak maksimum sensitivitas dan nilai kriteria puncak maksimum sensitivitas komplementer. Adapun jenis – jenis pengendali yang digunakan diantaranya pengendali Proporsional (P), pengendali Proporsional Integral (PI), pengendali Proporsional Diferensial (PD), pengendali Proporsional Integral Diferensial (PID), pengendali Proporsional Diferensial dengan filter orde pertama pada bagian diferensial (PDF) dan pengendali Proporsional Integral Diferensial dengan filter orde pertama pada bagian diferensial (PIDF). Hasil yang diperoleh bahwa tanggapan tegangan sistem eksitasi generator dengan pengendali Proporsional (P), pengendali Proporsional Integral (PI), pengendali Proporsional Diferensial (PD), pengendali Proporsional Integral Diferensial (PID), pengendali Proporsional Diferensial dengan filter orde pertama pada bagian diferensial (PDF) dan pengendali Proporsional Integral Diferensial Dengan Filter Orde Pertama (PIDF) bersifat kokoh terhadap gangguan, mampu meredam derau pada frekuensi tinggi dan mempunyai tanggapan yang cepat terhadap masukan tertentu. Selain itu tanggapan tegangan sistem eksitasi dengan generator dengan berbagai pengendali

ini juga bersifat kokoh terhadap perubahan parameter konstanta penguatan generator. (Laksono, 2016)

Sistim eksitasi tanpa sikat pada generator turbin gas dengan menggunakan matlab di job pertamina – talisman jambi merang. Pada sistem pengaturan tegangan generator, eksitasi memegang peranan penting dalam mengendalikan kestabilan suatu pembangkit karena apabila terjadi fluktuasi beban maka eksitasi sebagai pengendali akan berfungsi mengontrol keluaran generator seperti tegangan, arus dan factor daya dengan cara mengatur kembali besaran – besaran input guna mencapai titik keseimbangan baru. eksitasi tanpa sikat pada generator berasal dari sumber tegangan AC yang kemudian disearahkan menggunakan *rotating rectifier* sehingga menghasilkan arus searah (DC) untuk dialirkan ke kutub – kutub magnet yang ada pada stator *main exciter* yang kemudian diatur oleh pengatur tegangan otomatis (*automatic voltage regulator*). Tegangan searah yang dihasilkan oleh *rectifier* dimanfaatkan sebagai catu (*supply*) tegangan DC kerangkain eksitasi pada generator utama sebagai penguat tegangan yang dibangkitkan oleh generator. Dari hasil analisa sistem eksitasi pada generator turbin gas sebesar 118,2 Vdc menghasilkan tegangan yang dibangkitkan generator utama sebesar 4067 Vac ketika dalam keadaan tanpa beban. Ketika diberi beban sebesar 2917 kW maka tegangan yang dibangkitkan menjadi 3954 Vac. Ini mengindikasikan bahwa tegangan eksitasi mempengaruhi kestabilan tegangan yang dibangkitkan oleh generator turbin gas. Semakin besar beban yang digunakan maka tegangan yang dibangkitkan akan semakin kecil sehingga harus dilakukan penguatan dengan menggunakan sistem eksitasi. (rahman,2014)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian PLTGU



Gambar 2.1 Siklus PLTGU

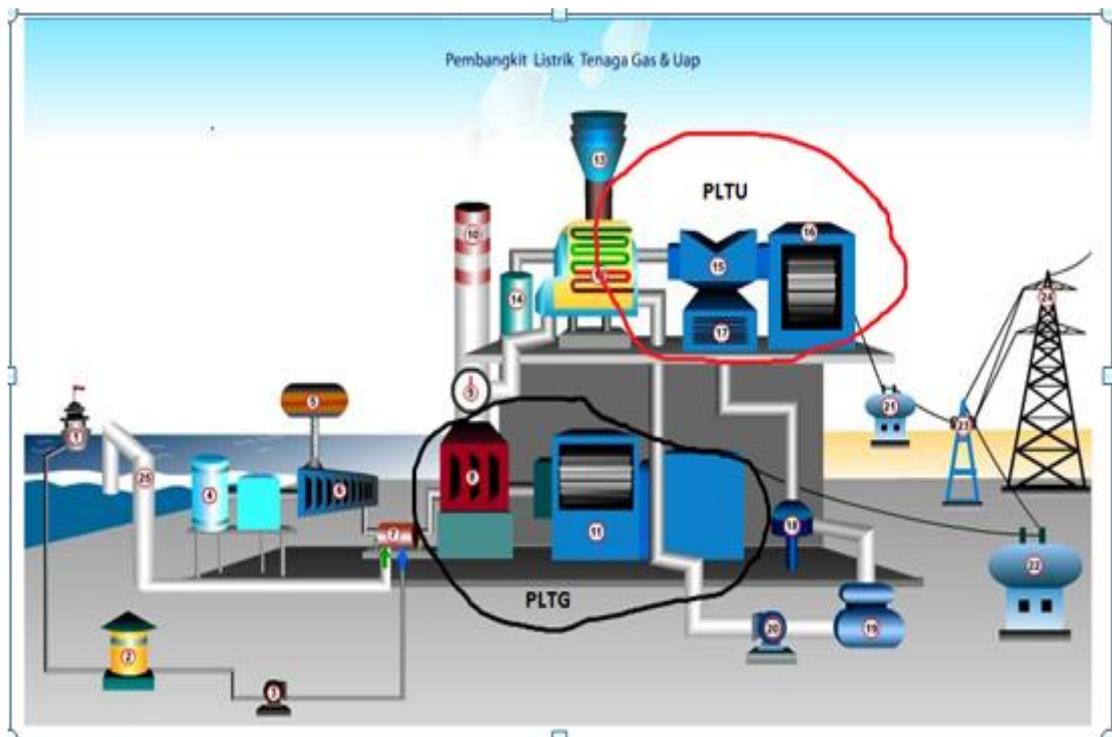
PLTGU merupakan suatu instalasi peralatan yang berfungsi untuk mengubah energi panas (hasil pembakaran bahan bakar dan udara) menjadi energi listrik yang bermanfaat. Pada dasarnya, sistem PLTGU ini merupakan penggabungan antara PLTG dan PLTU. PLTU memanfaatkan energi panas dan uap dari gas buang hasil pembakaran di PLTG untuk memanaskan air di HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*), sehingga menjadi uap jenuh kering. Uap jenuh kering inilah yang akan digunakan untuk memutar sudu (baling-baling). Gas yang dihasilkan dalam ruang bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) akan menggerakkan turbin dan kemudian generator, yang akan mengubahnya menjadi energi listrik. Sama halnya dengan PLTU, bahan bakar PLTG bisa berwujud cair (BBM) maupun gas (gas alam).

PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap) merupakan aplikasi dari siklus Brayton dan siklus Rankine pada teori termodinamika. Siklus Brayton

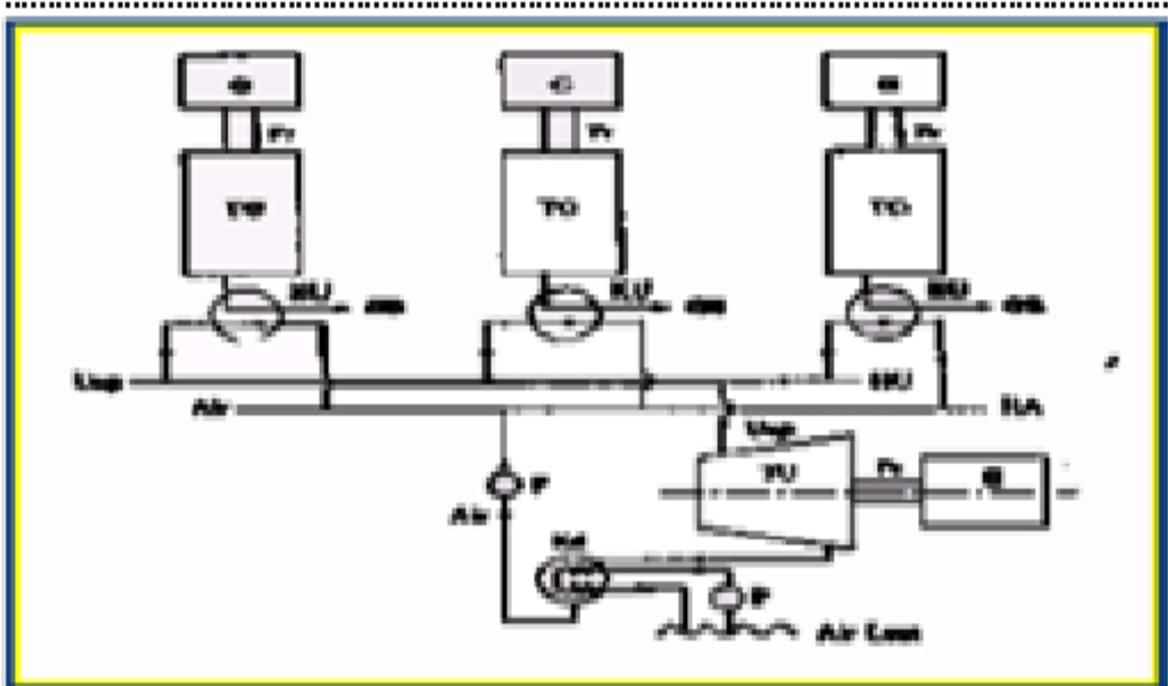
memanfaatkan gas untuk memutar turbin yang kemudian menggerakkan generator. Sedangkan siklus Rankine memanfaatkan panas uap (*steam*) untuk memutar turbin. Perpaduan dua siklus ini dalam menghasilkan listrik pada PLTGU dikenal dengan istilah *combined cycle power plant*

2.2.2 Prinsip Kerja PLTGU

Dalam operasinya, unit turbin gas dapat dioperasikan terlebih dahulu untuk menghasilkan daya listrik sementara gas buangnya berproses untuk menghasilkan uap dalam ketel pemanfaat gas buang. Kira-kira 6 (enam) jam kemudian, setelah uap dalam ketel uap cukup banyak, uap dialirkan ke turbin uap untuk menghasilkan daya listrik. Cara kerja PLTGU



Gambar 2.2 Cara Kerja PLTGU



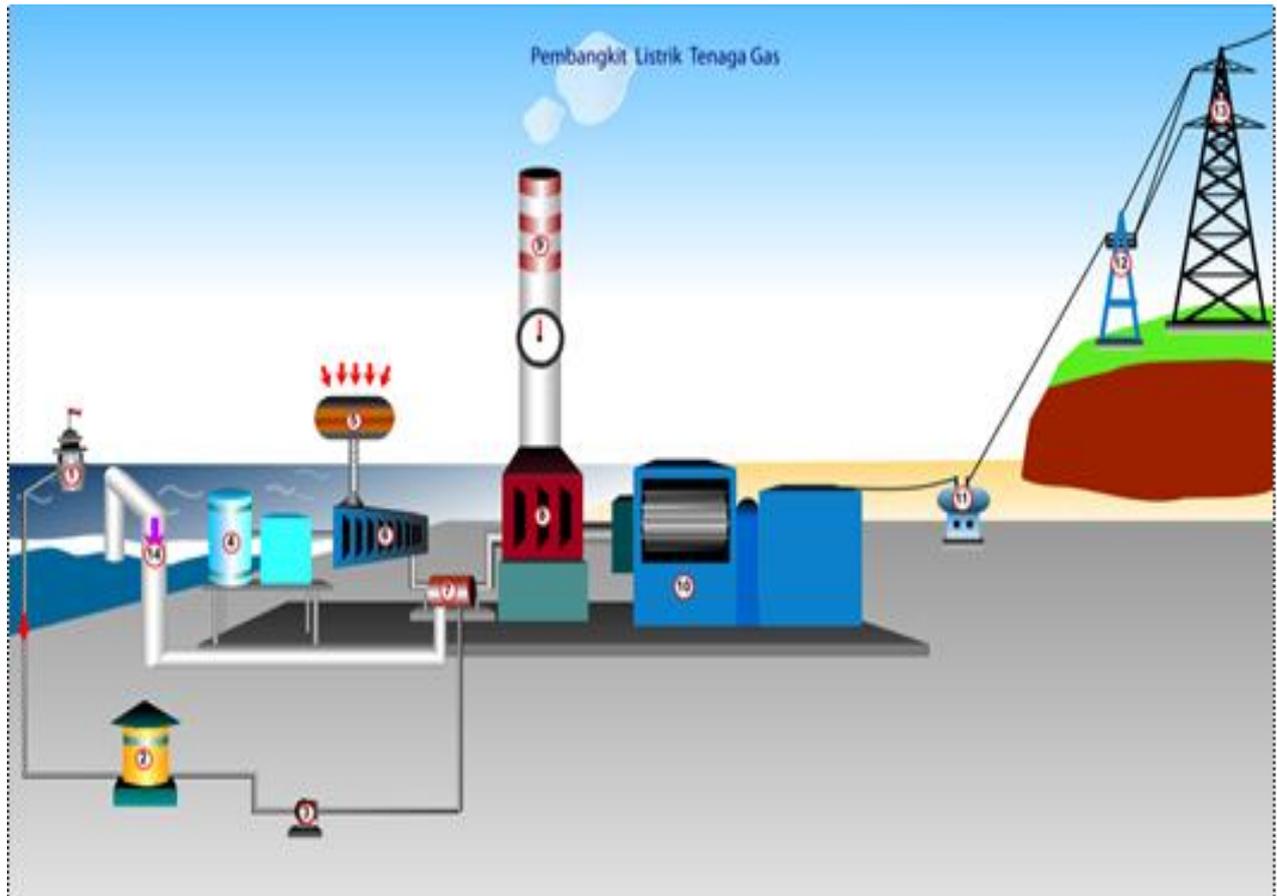
Gambar 2.3 Skema sebuah Blok PLTGU yang terdiri dari 3 unit PLTG dan sebuah unit PLTU

2.2.2.1 Proses Produksi Listrik Pada PLTGU

Secara umum sistem produksi tenaga listrik pada PLTG/U dibagi menjadi dua siklus, yaitu sebagai berikut :

a. Siklus Terbuka (*Open Cycle*)

Siklus Terbuka merupakan proses produksi listrik pada PLTGU dimana gas buangan dari turbin gas langsung dibuang ke udara melalui cerobong saluran keluaran. Suhu gas buangan di cerobong saluran keluaran ini mencapai 550°C. Proses seperti ini pada PLTGU dapat disebut sebagai proses pembangkitan listrik turbin gas yaitu suatu proses pembangkitan listrik yang dihasilkan oleh putaran turbin gas. Proses produksi listrik pada PLTGU ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Siklus Terbuka (PLTGU)

Ketrerangan Gambar

1. Barge/Kapal, alat pengangkut bahan bakar minyak (BBM)
2. Pumping house
3. Fuel Pump
4. Electric/diesel motor
5. Air filter, penyaring udara agar partikel debu tidak masuk ke dalam compressor
6. Compressor, menaikkan tekanan udara untuk dibakar bersama bahan bakar

7. Combustion system, Membakar bahan bakar dan udara serta menghasilkan gas dengan suhu dan tekanan dan energi tinggi.
8. Gas turbine, mengubah energi gas menjadi energi gerak yang memutar generator.
9. Stack/Cerobong asap, membuang sisa gas panas dari turbine
10. Generator, menghasilkan energi listrik
11. Main transformer

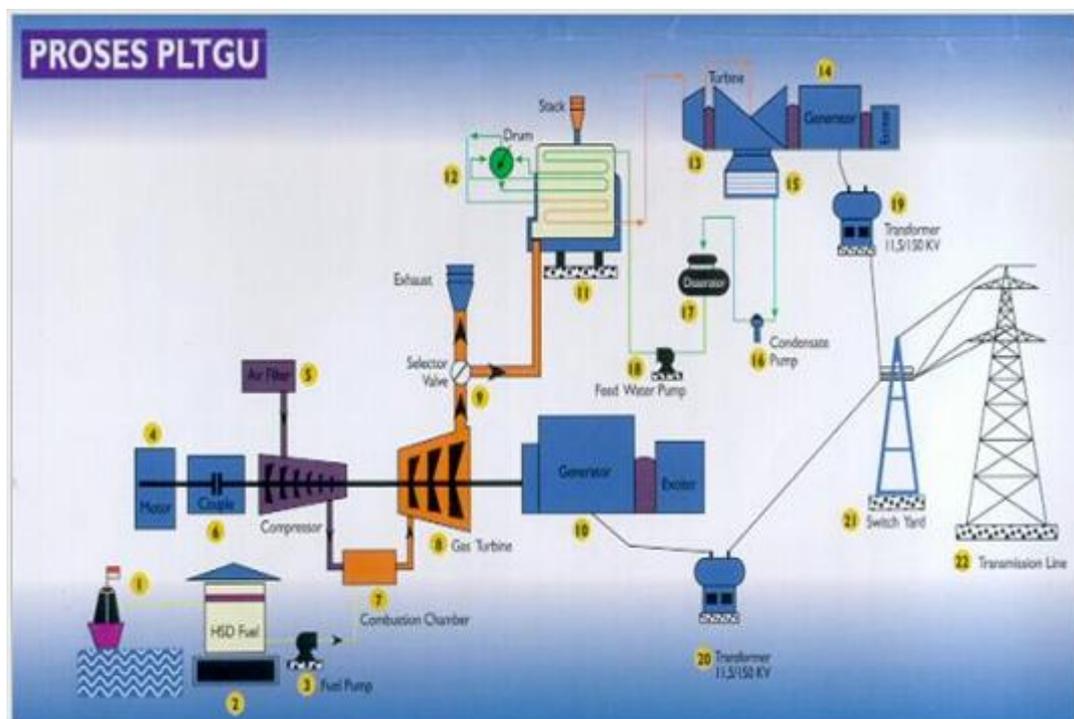
2.2.2.2. Siklus Tertutup (*Closed Cycle*)

Jika pada Siklus Terbuka gas buang dari turbin gas langsung dibuang melalui cerobong saluran keluaran, maka pada proses Siklus Tertutup, gas buang dari turbin gas akan dimanfaatkan terlebih dahulu untuk memasak air yang berada di HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*). Kemudian uap yang dihasilkan dari HRSG tersebut akan digunakan untuk memutar turbin uap agar dapat menghasilkan listrik setelah terlebih dahulu memutar generator. Jadi proses Siklus Tertutup inilah yang disebut sebagai proses Pembangkitan Listrik Tenaga Gas Uap yaitu proses pembangkitan listrik yang dihasilkan oleh putaran turbin gas dan turbin uap.

Daya listrik yang dihasilkan pada proses Siklus Terbuka tentu lebih kecil dibandingkan dengan daya listrik yang dihasilkan pada proses produksi listrik Siklus Tertutup. Pada prakteknya, kedua siklus diatas disesuaikan dengan kebutuhan listrik masyarakat. Misalnya hanya diinginkan Siklus Terbuka karena pasokan daya dari Siklus Terbuka sudah memenuhi kebutuhan listrik masyarakat. Sehingga damper (*stack holder*) yang membatasi antara cerobong gas dan HRSG

dibuat close, dengan demikian gas buang dialirkan ke udara melalui cerobong saluran keluaran. Dan apabila dengan Siklus Terbuka kebutuhan listrik masyarakat belum tercukupi maka diambil langkah untuk menerapkan Siklus Tertutup. Namun demikian dalam sistem mekanik elektrik, suatu mesin akan lebih baik pada kondisi selalu beroperasi, karena apabila mesin berhenti akan banyak mengakibatkan korosi, perubahan pengaturan (*setting*), mur atau baut yang mulai kendur dan sebagainya. Selain itu dengan selalu beroperasi lebih mengefektifkan daya, sehingga daya yang dihasilkan menjadi lebih besar. Jadi secara garis besar untuk produksi listrik di Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap dibagi menjadi 2 proses berikut ini :

- 1) Proses Pembangkitan Listrik Turbin Gas.
- 2) Proses Pembangkitan Listrik Turbin Uap



Gambar 2.5 Diagram Alir PLTGU

Keterangan Gambar:

1. Kapal Tongkang
2. Rumah Pompa
3. Pompa Bahan Bakar (*fuel pump*)
4. Motor Cranking
5. Filter Udara (*air filter*)
6. Penghubung (*Couple*)
7. Ruang Bakar (*combustion chamber*)
8. Turbin Gas (*gas turbine*)
9. katup pengatur (katup seleksi)
10. generator
11. HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*)
12. Drum
13. Turbin Uap (*steam turbine*)
14. generator
15. Kondensor (*Condenser*)
16. Pompa Condenser
17. deaerator (pemisah gelembung udara)
18. Pompa penyedia air (*feed water pump*)
19. Trafo Step-up (11.5/150 kV)
20. Trafo Step-up (11.5/150 kV)
21. switch yard
22. Saluran Transmisi (*transmission line*)

1) **Proses Pembangkitan Listrik Turbin Gas**

Pada proses pembangkitan listrik turbin gas, motor cranking digunakan sebagai pemutar awal saat turbin belum menghasilkan tenaga dengan menggunakan energi listrik yang diambil dari jaringan listrik 150 kV / 500 kV Jawa-Bali. Motor cranking ini berfungsi memutar compressor sebagai penghisap udara luar. Udara luar ini akan diubah menjadi udara berpartikel (*atomizing*) untuk sebagian kecil pembakaran dan sebagian besar sebagai pendingin turbin.

Bahan bakar berupa solar/HSD dialirkan dari kapal tongkang ke dalam rumah pompa BBM HSD kemudian di pompa lagi dengan pompa bahan bakar (fuel pump) yang akan dialirkan ke dalam ruang bakar (*combustion chamber*). Pada saat bahan bakar yang berasal dari pompa bahan bakar dan udara atomizing yang berasal dari compressor bercampur di dalam combustion chamber, secara bersamaan busi (*spark plug*) memercikkan api untuk menyulut pembakaran. Gas panas yang dihasilkan dari proses pembakaran inilah yang akan digunakan sebagai penggerak turbin gas, sehingga listrik dapat dihasilkan oleh generator. Daya yang dihasilkan mencapai 100 MW untuk tiap Generator Turbin Gas. Karena tegangan yang dihasilkan dari generator masih rendah maka pada tahap selanjutnya tegangan ini akan disalurkan ke trafo utama untuk dinaikkan menjadi 150 KV. Pada proses Siklus Terbuka gas buangan dari turbin gas yang temperaturnya berkisar 500-5500C akan langsung dibuang melalui cerobong saluran keluaran.

2) **Proses Pembangkitan Listrik Turbin Uap**

Gas bekas yang ke luar dari turbin gas dimanfaatkan lagi setelah terlebih dulu diatur oleh katup pengatur (*selector valve*) untuk dialirkan ke dalam boiler/ HRSG untuk menguapkan air yang berasal dari drum penampung air. Uap yang dihasilkan dipakai untuk memutar turbin uap yang terkopel dengan generator sehingga dapat menghasilkan tenaga listrik. Uap bekas dari turbin uap diembunkan lagi di condenser, kemudian air hasil kondensasi di pompa oleh Pompa Kondensat, selanjutnya dimasukkan lagi ke dalam deaerator dan oleh feed water pump dipompa lagi ke dalam drum untuk kembali diuapkan. Inilah yang disebut dengan Siklus Tertutup/*combined cycle*. Jadi secara singkat dapat dikatakan bahwa Siklus Tertutup merupakan rangkaian Siklus Terbuka ditambah dengan proses pemanfaatan kembali gas buang dari proses Siklus Terbuka untuk menghasilkan uap sebagai penggerak turbin uap.

2.2.2.3 Komponen Sistem PLTGU

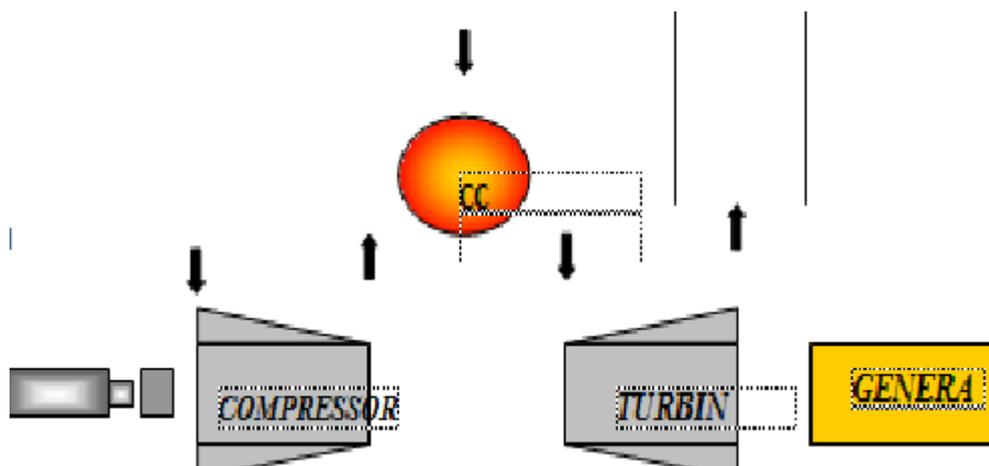
Sistem PLTGU dapat dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu: sistem GTG, HRSG dan STG.

a. Sistem Generator Turbin Gas (Gas Turbine Generator)

Turbin adalah suatu pesawat pengubah daya dari suatu media yang bergerak misalnya air, udara, gas dan uap, untuk memutar generator sehingga menghasilkan tenaga listrik. Pada PLTG/U, media yang digunakan untuk memutar turbin adalah gas panas yang didapatkan dari pembakaran bahan bakar yang sudah dicampur udara dalam ruang bakar.

Udara pembakaran didapat dari kompresor yang terpasang satu poros dengan turbin. Karena konstruksinya yang demikian, maka daya yang dihasilkan tidak sepenuhnya untuk memutar generator, tetapi sebagian besar untuk memutar kompresor sehingga menyebabkan efisiensi PLTG/U rendah.

Pada prinsipnya turbin gas di PLTG Muara Karang menggunakan sistem terbuka. Pada sistem ini gas buang yang telah dipakai untuk memutar turbin masih mempunyai suhu 514 0C dan tekanan yang tinggi sekitar 1 atm, yang nantinya pada sistem tertutup digunakan untuk memanaskan HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*).



Gambar 2.6. Diagram Alir GTG (Gas Turbin Generator) Sicanang Belawan (Siklus Terbuka).

Mula-mula rotor (kompresor dan turbin) di putar oleh alat penggerak awal yaitu motor listrik. Kemudian kompresor menghisap udara atmosfer dan menaikkan tekanan beberapa kali lipat (1-8) tekanan semula. Udara bertekanan tinggi tersebut masuk ke dalam ruang bakar dimana ruang bakar itu pula ditempatkan sejumlah bahan bakar dan dinyalakan oleh busi. Untuk ruang bakar lainnya cukup dengan disambung penyalanya dan busi hanya menyala beberapa detik saja. Akibat dari

pembakaran akan menaikkan suhu dan volume dari gas bahan bakar tersebut, sekali terjadi percikan maka terjadi pembakaran selama bahan bakar disemprotkan ke dalamnya.

Gas yang yang dihasilkan mempunyai tekanan dan temperatur tinggi kemudian berekspansi dalam sebuah turbin dan selanjutnya ke atmosfer (melalui saluran keluaran) untuk Siklus Terbuka. Pembakaran akan terus berlangsung selama aliran bahan bakar tidak berhenti. Pada saat gas panas masuk ke dalam turbin gas, gas tersebut memutar turbin, kompresor, alat bantu dan generator. Diagram Alir GTG ditunjukkan oleh gambar 2.6. Komponen-komponen utama sistem GTG adalah sebagai berikut:

- 1 Cranking Motor adalah motor yang digunakan sebagai penggerak awal atau start up sistem GTG (Gas Turbin Generator). Motor cranking mendapat suplai listrik tegangan 6 kV yang berasal dari switch gear.
- 2 Filter Udara merupakan filter yang berfungsi untuk menyaring udara bebas agar udara yang mengalir menuju ke kompresor merupakan udara yang bersih.
- 3 Kompresor berfungsi mengkompresi udara dalam turbin gas.
- 4 Ruang bakar, berfungsi sebagai tempat pembakaran di dalam sistem turbin gas. Dapat berupa ruang bakar tunggal atau terdiri dari ruang – ruang bakar yang banyak.
- 5 Turbin, berfungsi untuk mengekspansi gas panas hingga menghasilkan energi mekanis untuk menggerakkan generator.

- 6 Generator berfungsi sebagai pembangkit energi listrik dimana di dalamnya terjadi proses perubahan dari energi mekanik ke listrik.

Sedangkan untuk peralatan pendukung sistem turbin gas, adalah sebagai berikut :

- 1) Sistem Pelumas (*Lube Oil System*)

Fungsi utama sistem pelumas ini adalah untuk melumasi bearing-bearing baik untuk bearing turbin gas maupun bearing generator. Di samping itu juga digunakan sebagai penyuplai minyak untuk sistem hidrolik pada Pompa Minyak Hidrolik (*hydraulic Oil Pump*). Mula-mula sebelum turbin gas dioperasikan, maka Pompa Minyak Pembantu (AOP = *Auxiliary Oil Pump*) dihidupkan untuk menyuplai minyak pelumas ke dalam bearing turbin gas dan generator untuk selanjutnya diputar pada putaran turning gear atau dalam keadaan pendinginan (*on cooldown*) pada putaran lebih dari 30 rpm, dengan tujuan agar ketika pengidupan (*start up*), gaya geser (*friction force*) yang terjadi antara metal bearing dengan poros turbin gas dan generator dapat dikurangi. Kemudian setelah turbin gas mulai berjalan dan putaran mulai naik sampai putaran normal, maka suplai minyak pelumas akan diambil alih dari AOP ke *Main Lube Oil Pump* (MOP), di mana pompa ini diputar melalui hubungan antara *Accessories gear* atau *Load Gear* dengan poros turbin gas.

- 2) Sistem bahan Bakar (*Fuel Oil System*)

Sistem pembakaran untuk PLTG/U ini menggunakan minyak HSD (*High Speed Diesel*). Pada proses penyaluran bahan bakar, dilakukan melalui instalasi perpipaan yang menghubungkan tangki penampungan sampai ke ruang bakar. Aliran bahan bakar dari tangki penampung dipompa

dengan transfer pump melalui flowmeter untuk perhitungan pemakaian. Kemudian untuk mendapatkan hasil pembakaran yang maksimal maka dipasang *Main Oil Pump* yang terpasang dan berputar melalui hubungan dengan poros turbin gas dengan *Accessories Gear*. Dan untuk mengatur jumlah aliran bahan bakar yang masuk ke ruang bakar diatur dengan Katup Kendali (*control valve*) yang berfungsi sebagai governor.

3) Sistem Pendingin (*Cooling System*)

Ketika minyak pelumas digunakan untuk melumasi bearing – bearing pada turbin gas dan generator, mengakibatkan temperatur dari minyak pelumas ini menjadi lebih tinggi, sehingga minyak pelumas tersebut perlu pendinginan. Adapun sebagai media pendingin minyak pelumas digunakan air melalui sirkulasi di dalam heat exchanger dan untuk mendinginkan air yang bertemperatur lebih tinggi akibat transfer panas di dalam *heat exchanger*, maka air pendingin ini akan didinginkan dengan dihembuskan di kisi – kisi radiator. Demikian sirkulasi ini berlangsung secara tertutup dan untuk mensirkulasi air pendingin digunakan *Water Cooling Circulating Pump*.

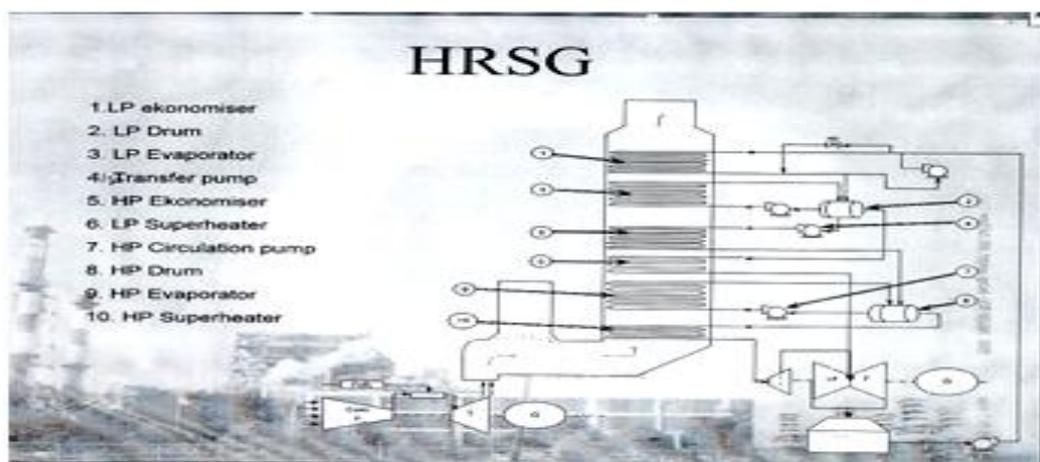
4) Sistem Hidrolik (*Hydraulic System*)

Sistem hidrolik digunakan untuk menggerakkan *Main Stop Valve*, di mana didalam mekanisme operasinya untuk membuka dan menutup *main stop valve* diperlukan hidrolik yang diambil dari Piping Sistem pelumas turbin gas kemudian dipompa dengan hydraulic oil pump. Adapun fungsi dari *main stop valve* adalah untuk menghentikan laju aliran bahan

bakar minyak saat unit terjadi gangguan atau untuk membuka saluran bahan bakar pada sistem perpindahan bahan bakar (katub utama bahan bakar).

b. HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*)

Energi panas yang terkandung dalam gas buang/saluran keluaran turbin gas yang temperaturnya masih cukup tinggi (sekitar 5630C) dialirkan masuk ke dalam HRSG untuk memanaskan air di dalam pipa-pipa pemanas (evaporator), selanjutnya keluar melalui cerobong dengan temperatur sekitar 1500C. Air di dalam pipa-pipa pemanas yang berasal dari drum mendapat pemanasan dari gas panas tersebut, sebagian besar akan berubah menjadi uap dan yang lain masih berbentuk air. Campuran air dan uap selanjutnya masuk kembali ke dalam drum. Di dalam drum, uap dipisahkan dari air dengan menggunakan pemisah uap yang disebut Separator. Uap yang sudah terpisah dari air selanjutnya dipanaskan lebih lanjut, sehingga kemudian dapat digunakan untuk menggerakkan turbin uap, sedangkan air yang tidak menjadi uap disirkulasikan kembali ke pipa-pipa pemanas, bersama-sama dengan air pengisi yang baru. Demikian proses ini berlangsung terus menerus selama unit beroperasi.



Gambar 2.7 Sistem HRSG(*Heat Recovery Steam Generator*)

c. Sistem Generator Turbin Uap (*Steam Turbine Generator*)

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi kinetik, energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakannya. Tergantung dari jenis mekanik yang dipisahkan, turbin uap dapat digerakan pada berbagai bidang industri, dan untuk pembangkit listrik.

Pengubahan energi potensial menjadi energi kinetik dalam bentuk poros dilakukan dalam berbagai cara. Turbin uap secara umum diklasifikasikan ke dalam tiga jenis, impuls, reaksi dan gabungan, tergantung pada cara perolehan pengubahan energi potensial menjadi energi kinetik akibat semburan uap.

Komponen utama Sistem STG adalah sebagai berikut.

- 1 Turbin Uap (*Steam Turbine*), berfungsi untuk mengekspansi uap superheat hingga menghasilkan energi mekanis untuk menggerakkan generator.
- 2 Generator, berfungsi untuk menghasilkan energi listrik di mana di dalamnya terjadi proses perubahan energi mekanis menjadi energi listrik.
- 3 Kondensor (*Condenser*), berfungsi sebagai penampung air condensate sekaligus sebagai tempat pendinginan uap bekas hasil ekspansi turbin uap dimana media air laut digunakan sebagai media pendinginnya.
- 4 Tangki air Pengisi (*Feed Water Tank*), tangki ini berisi air murni sebagai tandon pengisi air kondensor.
- 5 Pompa air Pengisi (*Feed Water Pump*), pompa ini memindahkan air pengisi dari tangki air pengisi ke condenser dan menjaga level condenser tetap pada kondisi normal.

Peralatan Pendukung Sistem Turbin Uap adalah sebagai berikut.

- 1 Sistem minyak pelumas turbin uap digunakan untuk melumasi bearing turbin uap dan bearing generator, dimana pada sistem ini terdapat peralatan *Main Lube Oil Pump (MOP)*, *Lube Oil Pump (LOP)*, *Emergency Oil Pump (EOP)* dan *Lube Oil Cooler*. Mula-mula pada kondisi dimana turbin uap masih dalam putaran turning gear, maka sistem pelumasan akan didistribusikan dan disirkulasi minyak, dengan main lube oil pump. Selanjutnya setelah turbin uap berputar dan sampai kondisi berbeban, maka seluruh sistem pelumasan akan didistribusikan dan disirkulasikan minyak pelumas ini dengan menggunakan *main lube oil pump (MOP)* dan *lube oil pump (LOP)*.
- 2 Sistem Pendingin Minyak Pelumas digunakan untuk mendinginkan temperatur minyak pelumas yang tinggi setelah digunakan untuk melumasi bearing – bearing turbin uap dan generator yang kemudian dialirkan masuk ke dalam lube oil cooler, di mana media pendingin yang digunakan adalah air (*Closed Cycle Cooling Water*). Air yang bertemperatur tinggi setelah digunakan untuk mendinginkan minyak pelumas akan didinginkan di dalam heat exchanger dengan media pendinginnya diambil dari air laut melalui Pompa Sirkulasi Air (*discharge circulating water pump*).
- 3 Sistem Hidrolik pada sistem turbin uap digunakan untuk membuka maupun menutup Katup Penghenti Utama (*main stop valve*) dan menggerakkan control valve (Governor) pada pipa suplai uap superheat untuk memutar turbin. Di mana yang digunakan untuk sistem hidrolik ini

merupakan minyak hidrolik yang tertampung di dalam tangki dan disuplai dengan menggunakan pompa minyak hidrolik (hydraulic oil pump).

- 4 Sistem Pendingin Siklus Tertutup ini terdiri dari *Closed Cycle Cooling Water Heat Exchanger (CCCW)*, *Closed Cycle Cooling Water Pump (CCCWP)*. Sirkulasi air pendingin ini digunakan untuk mendinginkan turbin uap *Lube Oil Cooler (LOC)*, turbin uap Generator *Hydrogen Cooler (GHC)* dan *Hydraulic Oil Cooler* serta bearing – bearing pompa di HRSG. Air dari sisi outlet CCCW yang bertemperatur lebih rendah setelah didinginkan dengan air laut yang diambil dari sisi discharge CWP akan digunakan sebagai media pendingin di dalam LOC dan GHC selanjutnya dari sisi outlet peralatan ini, air yang bertemperatur lebih tinggi dipompa menggunakan CCCWP masuk ke dalam CCCW, demikian siklus air ini berlangsung secara tertutup.

2.2.2.4 Kelebihan dan Kekurangan PLTGU

a. Keuntungan PLTGU

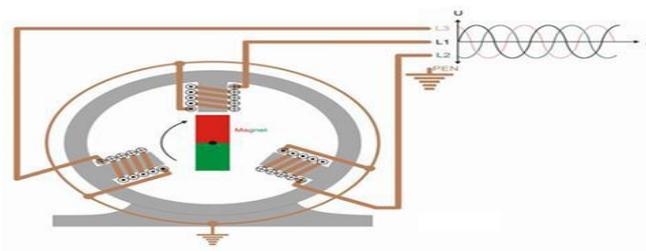
1. Gas panas keluaran dari turbin gas dapat digunakan untuk memanaskan air sehingga menjadi uap untuk menggerakkan turbin uap
2. Meningkatkan efisiensi menjadi sebesar 40-50%
3. Efisiensi bahan bakar

b. Kekurangan PLTGU

1. Peningkatan biaya
2. Peningkatan luas area yang dibutuhkan

2.2.3 Generator 3 Phasa

Jika sebuah kumparan diputar pada kecepatan konstan pada medan magnet homogen, maka akan terinduksi tegangan sinusoidal pada kumparan tersebut. Medan magnet bisa dihasilkan oleh kumparan yang dialiri arus DC atau oleh magnet tetap. Pada mesin tipe ini medan magnet diletakkan pada stator (disebut generator kutub eksternal / *external pole generator*) yang mana energi listrik dibangkitkan pada kumparan rotor. Hal ini dapat menimbulkan kerusakan pada slip ring dan karbon sikat, sehingga menimbulkan permasalahan pada pembangkitan daya tinggi. Untuk mengatasi permasalahan ini, digunakan tipe generator dengan kutub internal (*internal pole generator*), yang mana medan magnet dibangkitkan oleh kutub rotor dan tegangan AC dibangkitkan pada rangkaian stator. Tegangan yang dihasilkan akan sinusoidal jika rapat fluks magnet pada celah udara terdistribusi sinusoidal dan rotor diputar pada kecepatan konstan. Tegangan AC tiga fasa dibangkitkan pada mesin sinkron kutub internal pada tiga kumparan stator yang diset sedemikian rupa sehingga membentuk beda fasa dengan sudut 120° . Pada Internal pole generator, suplai DC yang dihubungkan ke kumparan rotor melalui slip ring dan sikat untuk menghasilkan medan magnet merupakan eksitasi daya rendah. Jika rotor menggunakan magnet permanen, maka slip ring dan sikat karbon tidak diperlukan.



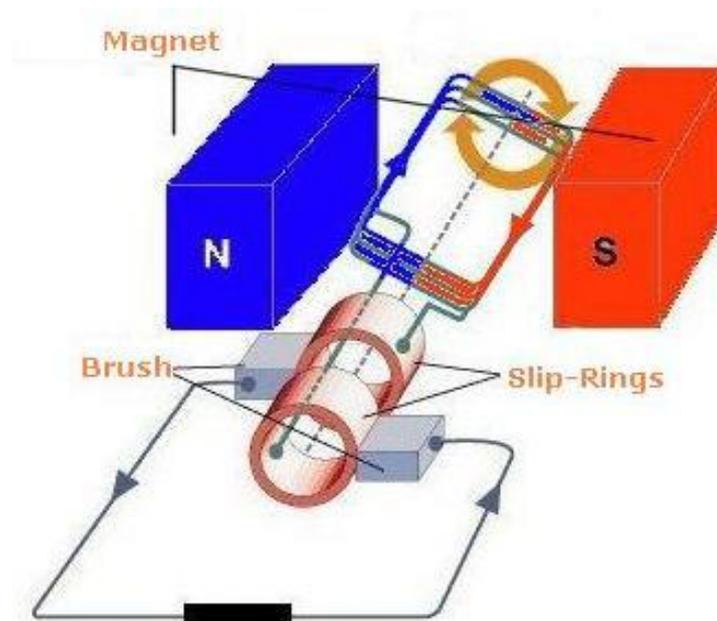
Gambar2.7: Lilitan stator Generator 3 fasa

2.2.4 Prinsip Kerja

Generator atau generator menerapkan prinsip pembangkitan listrik berdasarkan induksi magnet. Unsur utama untuk membangkitkan listrik secara induksi adalah :

- a. Medan magnet
- b. Penghantar (kumparan)
- c. Kecepatan relatif

Menurut hukum Faraday, apabila kumparan berputar didalam medan magnet atau sebaliknya medan magnet berputar didalam kumparan, maka pada ujung-ujung kumparan tersebut akan timbul gaya gerak listrik (tegangan).



Gambar 2.8 Pembangkitan Gaya Gerak Listrik (GGL)

Besarnya tegangan yang diinduksikan pada kumparan tergantung pada :

- a. Kuat medan magnet.
- b. . panjang penghantar dalam kumparan.

- c. kecepatan putar (gerakan).

Oleh karena itu formula dari pembangkitan tegangan secara induksi adalah :

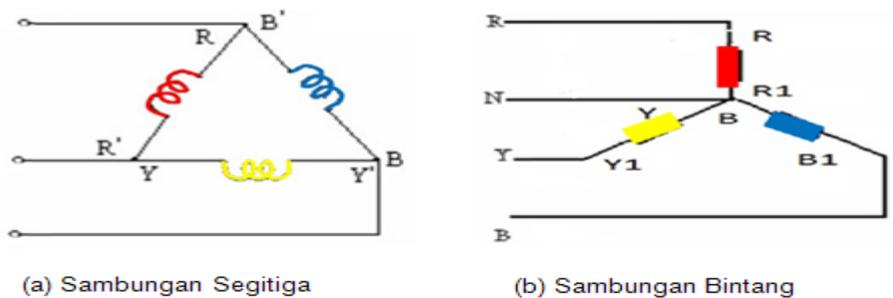
$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \text{ Volt} \dots\dots\dots (2.1)$$

2.2.5 Sistim Sambungan Kumparan Generator

Ujung dan pangkal tiap kumparan generator diberi kode angka berbeda. Tetapi karena beban pelanggan terletak cukup jauh dari generator maka penyambungan dengan enam kawat menjadi rumit dan mahal. Untuk mengatasi hal ini, maka dibuat suatu metode penyambungan yang praktis dan hemat, yaitu:

- a. Sambungan bintang (star).
- b. Sambungan segi tiga (delta).

Sambungan segi tiga adalah apabila tiap ujung kumparan dihubungkan ke pangkal kumparan yang lain, sehingga terbentuk suatu segi tiga. Kawat keluarannya diambil dari tiap titik sambungan. Jumlah kawat keluaran ada tiga, Metode penyambungan cara ini biasanya digunakan dalam trafo atau motor. Hal ini sesuai karena jumlah pengaruh dari tiap tegangan fasasama dengan nol pada tiap saat.



Gambar 2.9: Sistem sambungan Kumparan Generator

Sambungan bintang adalah apabila semua pangkal kumparan dihubungkan menjadi satu membentuk titik umum disebut sebagai titik bintang atau titik netral. Sementara ketiga ujung kumparan merupakan sambungan keluar. Sambungan cara ini dapat disederhanakan karena pada titik bintang ternyata arusnya sama dengan nol. Oleh karena itu titik ini biasanya dihubungkan ke tanah, kadang kala dengan melewati suatu tahanan atau trafo. Metode sambungan ini selalu digunakan di generator, motor dan trafo.

2.2.6 Hubungan Frekuensi dan Nilai Arus Bolak Balik

Generator yang bekerja berdasarkan induksi magnet terdiri dari medan magnet dan kumparan. Pada umumnya generator pada pusat pembangkit menerapkan kumparan sebagai bagian yang diam (stator) sedangkan medan magnet sebagai bagian yang berputar (rotor) atau magnet putar. Generator merupakan mesin sinkron, artinya kecepatan putar medan magnet rotor (mekanik) sama dengan kecepatan putar medan magnet stator. Besarnya frekuensi yang dibangkitkan oleh generator ditentukan oleh kecepatan putar medan magnet dan banyaknya kutub atau pasang kutub magnet. Atau dapat ditulis dengan formula :

$$F = \frac{n \times p}{60} Rpm \dots \dots \dots (2.2)$$

- Dimana :
- f = frekuensi
 - p = banyak pasang kutub
 - n = banyaknya putaran
 - 60 = jumlah detik dalam satu menit

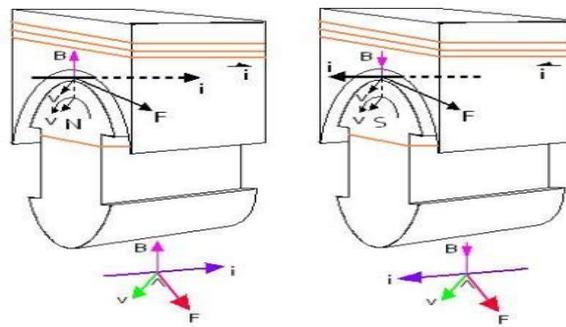
Frekuensi adalah banyaknya siklus (gelombang) dalam setiap detik (f). Satuannya Hertz (Hz) atau cycle per second (c/s). Didalam sistem kelistrikan frekuensi hanya terdapat pada arus bolak-balik (AC). Standar frekuensi listrik di Indonesia adalah 50 Hz. Oleh karena itu apabila generator unit pembangkit diputar oleh turbin dengan kecepatan 3000 rpm, maka jumlah kutub magnetnya adalah 2 atau satu pasang. Jumlah kutub magnet suatu generator ditentukan berdasarkan putaran kerja dan frekuensi generator yang diinginkan. Frekuensi listrik harus dijaga konstan sepanjang waktu, karena perubahan frekuensi akan menyebabkan berubahnya putaran motor atau clock waktu. Indikator kualitas listrik yang baik salah satunya ditunjukkan dengan frekuensi yang stabil. Arus bolak balik mempunyai bentuk gelombang sinus dan kurva nya disebut sinusoida.

2.2.7 Generator Sinkron

Prinsip kerja generator sinkron secara umum adalah kumparan medan magnet yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan magnet maka akan menimbulkan fluks.

Pemgerak mula yang telah terkopel dengan rotor akan berputar dengan kecepatan nominal. Perputaran rotor akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak pada stator akan menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan GGL induksi pada ujung kumparan tersebut.

Hal paling tampak yang membedakan antara generator sinkron dari generator induksi/asinkron adalah generator sinkron dieksitasi dua kali. Pada generator asinkron energi listrik dihasilkan hanya oleh putaran rotor terhadap stator, sedangkan pada generator sinkron energi listrik dihasilkan oleh putaran rotor terhadap stator dan lilitan rotor yang diumpani sumber arus dc. Sebuah generator sinkron memberikan torsi pada satu laju yaitu laju sinkron. Pada laju di luar laju sinkronnya torsi rata-rata akan bernilai nol.



Gambar2.10 : Sistem terjadinya GGL

Asumsikan bahwa perputaran rotor diam pada awalnya, jika tiba-tiba rotor berputar berlawanan dengan arah jarum jam pada kutub N-nya maka sesuai aturan tangan kiri fleming, pada konduktor yang melilit stator akan timbul arus yang mengarah menuju ke dalam generator dan gaya yang terjadi pada konduktor mengarah ke kanan, kemudian jika putaran rotor mencapai 180° mekanis maka kutub S akan mencapai lilitan stator dan mempengaruhi medan magnet untuk menimbulkan arus menuju ke arah luar generator dan sekali lagi menggunakan aturan tangan kiri fleming maka gaya yang terjadi mengarah ke kanan, saat inilah torsi mula ($2\pi F \times$ setengah panjang antara dua kutub rotor) terjadi yang berlawanan arah putaran V .

Jika rotor telah bergerak pada kecepatan sinkronnya, rotor akan berputar sebesar 180° listrik selama satu setengah siklus dan arus di dalam konduktor akan berbalik arah. Hal ini berarti bahwa setelah satu setengah siklus, satu kutub yang memiliki polaritas berlawanan akan melawan arah konduktor yang sama yang arusnya telah berbalik arah; dengan satu pembalikan baik dari arus i dan medan magnet \mathbf{B} , arah dari gaya \mathbf{F} dan putaran \mathbf{v} di dalam dua setengah siklus akan tetap sama, dan generator menghasilkan torsi positif.

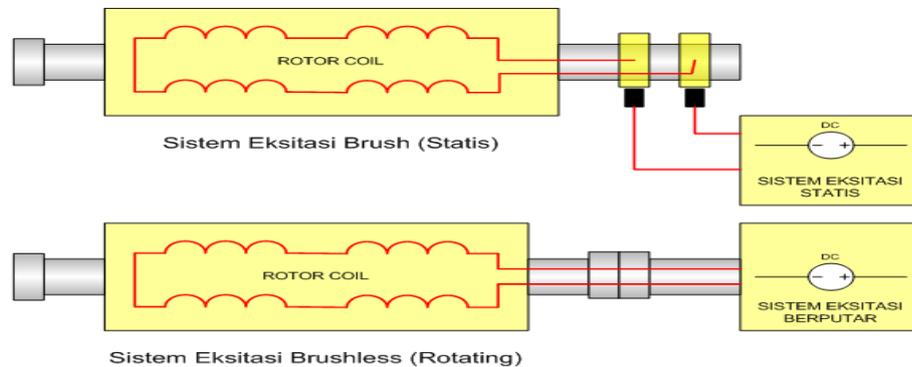
2.2.8 Pengertian Sistem Eksitasi

Adapun pengertian dari pada sistem eksitasi adalah sistem pasokan listrik DC sebagai penguat pada generator atau sebagai pembangkit medan magnet, sehingga suatu generato dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan, keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasi, Apabila arus eksitasi berubah tegangan generator juga berubah. Perubahan arus eksitasi merubah tegangan, faktor kerja ($\cos \mu$) dan daya reaktif (Var). Ada beberapa jenis sistem eksitasi yaitu Sistem

Eksitasi Statik dan Sistem Eksitasi Dinamik.

- a. Sistem Eksitasi Statik adalah sistem eksitasi generator tersebut disuplai dari eksiter yang bukan mesin bergerak, yaitu dari sistem penyearah yang sumbernya disuplai dari output generator itu sendiri atau sumber lain dengan melalui transformator.
- b. Sistem Eksitasi Dinamik adalah sistem eksitasi yang sumber suplai arus eksitasi diambil dari mesin yang bergerak, dan mesin yang bergerak

tersebut disebut Eksiter. Biasanya eksiter tersebut sebagai tenaga penggerak dipasangi pada poros dengan generator.



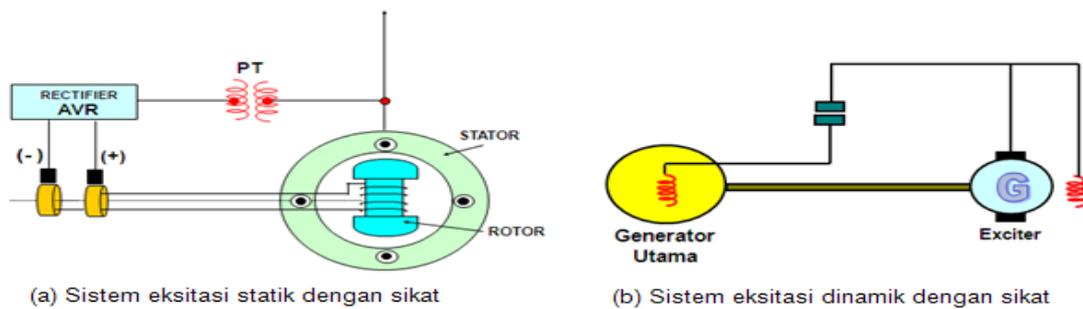
Gambar 2.11: Bentuk sederhana sistem eksitasi pada Generator

Seperti diketahui bahwa untuk arus eksitasi adalah arus searah, maka sebagai eksiternya adalah mesin arus searah (generator DC) atau dapat juga dengan mesin arus bolak-balik (generator AC) kemudian disearahkan dengan rectifier. Terdapat dua cara mengalirkan arus eksitasi ke rotor generator yaitu :

- a. Sistem eksitasi dengan sikat (Brush).
- b. Sistem eksitasi tanpa sikat (brushless).

2.2.8.1 Eksitasi dengan sikat

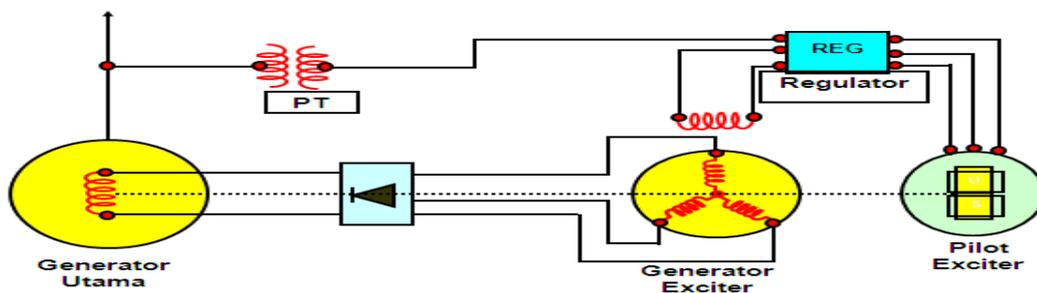
Sistem eksitasi dengan sikat terdiri dari Generator DC atau Generator AC yang arusnya disearahkan yang berfungsi sebagai *main eksiter*, *slipring*, pilot eksiter atau generator frekuensi tinggi, penyearah dan pengatur tegangan otomatis. Didalam sistem ini pilot eksiter atau permanen magnet generator (PMG) atau HFG, medan magnetnya adalah magnet permanen. Banyaknya kutub biasanya 16, sehingga menghasilkan frekuensi 400 Hz. Keluaran dari pilot eksiter adalah AC dan dialirkan.



Gambar 2.12: Sistem eksitasi dengan sikat

2.2.8.2 Eksitasi tanpa sikat

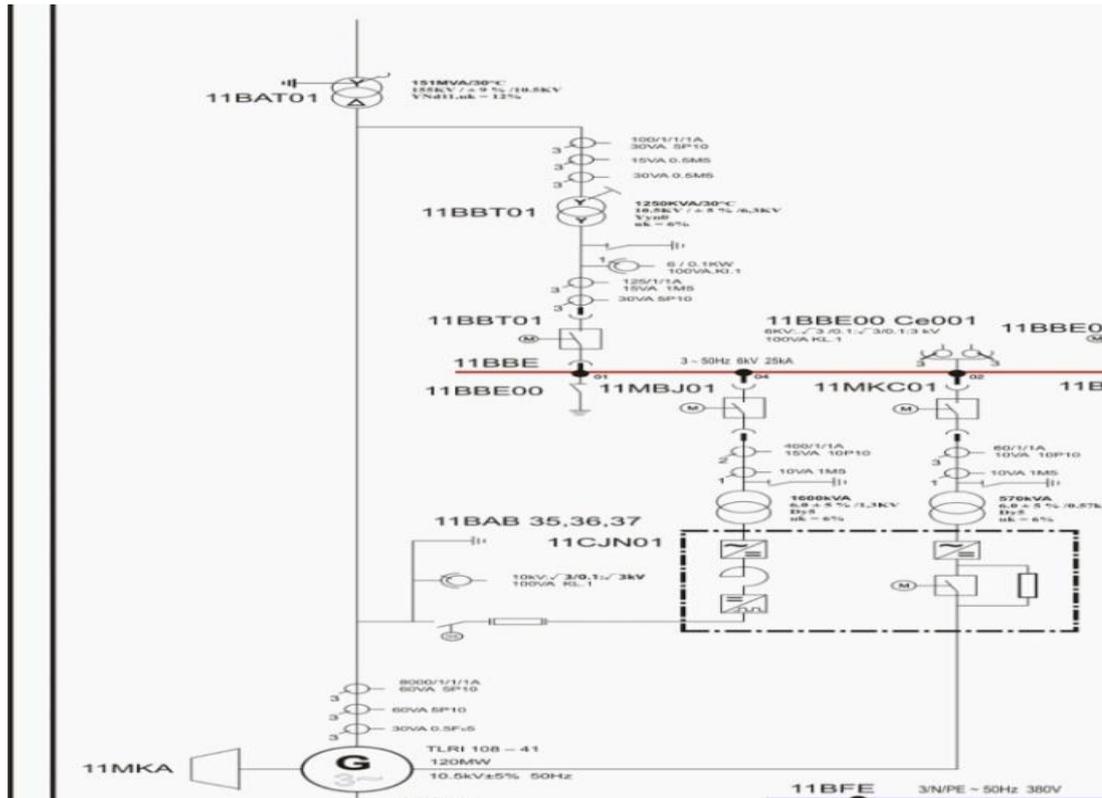
Penggunaan sikat dan slipring untuk menyalurkan arus eksiter kerotor generator mempunyai kelemahan, karena besarnya arus yang dapat dialirkan oleh sikat arang relatif kecil. Oleh karena itu Generator dengan kapasitas yang besar tidak mampu lagi mengalirkan arus eksitasi dengan sikat dan slipring, sehingga digunakan sistem eksitasi tanpa sikat.



Gambar 2.13: Sistem eksitasi tanpa sikat

2.2.9 Bagian-Bagian Sistem Eksitasi Pada Generator PLTGU Sicanang.

Pada gambar single line diagram *excitation* PLTGU Sicanang dibawah ini terdapat beberapa bagian-bagian yang mendukung proses terjadinya eksitasi, yaitu:



Gambar 2.14: Single Line Diagram Excitation PLTGU Sicangang

- a. Thyristor Rectifier
- b. Trafo Eksitasi
- c. AVR

2.2.9.1 Thyristor Rectifier

thyristor berfungsi sebagai inverter, Untuk kebutuhan arus eksitasi, sistem rangkaian thyristor yang digunakan disini adalah tersusun dari 6 buah thyristor dan 6 buah fuse.

Untuk melindungi thyristor dari kerusakan yang disebabkan gangguan lonjakan arus karena kegagalan kerja AVR maka pada setiap thyristor dipasang fuse secara seri. Fuse ini berjenis fuse kecepatan tinggi (*High Speed Fuse*).

Konstruksi fuse ini terdiri dari suatu resin melanin dan terminal metal pada kedua ujung, disekitarnya digunakan lempengan porselen untuk meredam busur api.

2.2.9.2 Trafo Eksitasi

Transformator (trafo) adalah alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan bolak-balik (AC). Pada PLTGU Sicanang sistem trafo yang digunakan dalam eksitasi, yaitu:

Kode : TGEJ 6041K

Tegangan : 6000 V / 654 V

Daya : 100.0 A / 934 A

2.2.9.3 Unit AVR (*Automatic Voltage Regulator*)

Unit AVR (*Automatic Voltage Regulator*) berfungsi untuk menjaga agar tegangan generator tetap konstan dengan kata lain generator akan tetap mengeluarkan tegangan yang selalu stabil tidak terpengaruh pada perubahan beban yang selalu berubah-ubah dikarenakan beban sangat mempengaruhi tegangan output generator..

Maksud penggunaan AVR pada generator serempak yang tersambung pada sistem tenaga adalah :

- a. Mengatur agar tegangan pada keadaan kerja normal konstan
- b. Mengatur besarnya daya reaktif
- c. Mempertinggi kapasitas pemuat (*charging capacity*) saluran transmisi tanpa beban dengan mengontrol eksitasi sendiri
- d. Menekan kenaikan tegangan pada pembuangan beban (*load ejection*)

- e. Menaikkan batas daya stabilitas peralihan

2.10 Prinsip Kerja Sistem Eksitasi Generator Unit 2 Pada PLTGU Sicanang

Prinsip kerja sistem eksitasi generator Sicanang dapat dilihat pada gambar single line diagram excitation dibawah ini:

- a. Pada saat start up pertama, tegangan masuk dari common bus melalui CB ke trafo eksitasi, dari tegangan 6,0 KV menjadi 0,57 KV.
- b. Eksitasi dan SFC masuk setelah putaran generator 100 rpm.
- c. Dari 100 rpm s/d 2100 rpm generator diubah menjadi motor sinkron menggunakan eksitasi rotor dan SFC pada stator.
- d. Setelah putaran 2100 eksitasi dan SFC dilepas.
- e. SFC mengubah tegangan AC ke DC dan di ubah lagi dari DC ke AC
- f. Pada saat putaran mencapai 3000 rpm eksitasi di suplai kembali untuk membangkitkan ggl pada stator.
- g. Tegangan AC di konverter dengan thyristor rectifier untuk eksitasi.
- h. Tegangan DC yang keluar dari thyristor menuju ke rotor berfungsi sebagai penguat medan magnet sehingga generator menghasilkan GGL.
- i. GGL yang keluar dari generator masuk kedalam CT dan PT dimana keluaran dari CT (current transformer) dan PT (potensial transformer) menuju ke unit control (AVR), AVR berfungsi mengatur tegangan di thyristor agar eksitasi tetap terjaga. Pada exiter utama, karena dicatu arus medan, maka kumparan medannya akan menghasilkan fluks. Sesuai dengan prinsip generator kembali, maka

pada exiter utamaakan dibangkitkan kembali tegangan AC tiga fhasa yang mempunyai frekuensi 50 HZ.

Tagangan AC yang dihasilkan kemudian di searahkan dengan menggunakan penyearah yang berputar (*rotary rectifier*), mengikuti putaran rotor generator utama. *Rotary rectifier* ini terdiri dari 18 dioda silikon. Dari proses penyearah inilah akan dihasilkan arus searah sebagai arus medan bagi generator pembangkit.

Arus medan akan dicatukan ke kumparan medan yang terdapat pada rotor generator pembangkit sehingga pada generator akan dibangkitkan tegangan AC 11,5 KV, 50 HZ.

Medan exiter utama yang diam atau sebagai stator mandapat arus penguatan pertama dari batrai, yang kemudian diambil dari trafo.

Cara pengaturan dapat dilakukan dengan 3 cara :

1. Pengaturan sendiri, artinya AVR mendapat perintah dari tegangan dan arus generator utama melalui trafo tegangan dan trafo arus, kemudian AVR menaikkan dan menurunkan arus penguat, sesuai dengan perintah yang diterima oleh trafo tegangan dan trafo arus.
2. Pengaturan kombinasi dimana selain pengaturan sendiri maka dapat dibantu oleh operator tanpa melapas hubungan diatas.
3. Pengaturan manual, artinya arus penguat hanya diatur oleh operator. Dimana rangkain (1) dilepas atau dipindah keposisi manual.

2.2.11. Keuntungan dan Kerugian Sistem Eksitasi Tanpa Sikat Arang.

Penggunaan sistem eksitasi tanpa sikat arang mempunyai beberapa keuntungan :

- a. Keandalan tinggi dan kontinuitas operasinya terjamin karena menggunakan penyearah silikon yang keandalannya cukup tinggi.
- b. Dalam pengoperasian nya tidak menghasilkan bunga api.
- c. Dapat digunakan pada generator yang terletak pada daerah berbahaya, seperti daerah yang mengandung bahan kimia pemicu terjadinya kebakaran seperti pengilangan minyak.
- d. Pemeliharaan dan pemeriksaan lebih mudah. Sistem ini menggunakan komponen yang tidak begitu penting untuk diperiksa tiap hari, cukup secara periodik.

Adapun kerugian pemakain sistem ini adalah :

- a. Diperlukan biaya investasi awal yang besar karena peralatannya banyak.
- b. Karena banyaknya peralatan, maka akan memperluas beban pemeliharaan dan pemeriksaan.

2.2.12 Alarm Dan Trip Sistim Eksitasi

Dalam pengoperasian sistim eksitasi perlu diperhatikan alarm dan tripsSistim eksitasi. Pada waktu alarm dan trip sinyal informasi dikirim ke kontrol level 1, 2 ,dan 3. Pada waktu sistim eksitasi trip maka Field CB eksitasi dengan cepat membuka dan menginformasikan sistim eksitasi trip.

Hal – hal yang menyebabkan sistim eksitasi alrm sebagai berikut :

1. Transformer eksitasi overheating

2. Sensor tegangan generator (VT) mengalami gangguan
3. Supply AC mengalami gangguan
4. Proteksi Overvoltage bekerja
5. Rotor Overvoltage
6. MCB trip
7. Thyristor fuse putus
8. Thyristor fan mengalami kegagalan
9. Limiter AVR tercapai
10. Urutan menuju kondisi siap sinkron overtime
11. AVR mengalami gangguan
12. Medan Breaker mengalami gangguan

Hal – hal yang menyebabkan sistem eksitasi trip sebagai berikut :

1. Transformer eksitasi overheating melampaui maksimum
2. Rotor Over Voltage
3. Sistem Thyristor dan AVR mengalami gangguan
4. Urutan menuju kondisi siap sinkron overtime
5. Medan Breaker mengalami gangguan

Untuk selanjutnya apabila unit trip dari sistem eksitasi maka peralatan unit yang bekerja adalah :

- a. Medan Breaker dan CB trip seketika
- b. Stop sequence unit

2.2.13 Fungsi Sikat Arang Pada Motor Listrik Dan Generator

Fungsi sikat arang pada motor listrik dan generator adalah sebagai penerus tegangan dari bagian statis ke bagian yang bergerak. Kelebihan sikat arang adalah mampu menghantarkan listrik tanpa menimbulkan percikan api yang menyebabkan mencairnya bagian tersebut. Sebuah sikat arang biasanya disambung dengan sebuah per untuk memastikan permukaan sikat arang terus menempel atau menyentuh permukaan bagian yang berputar tanpa terjadi putusannya listrik, sehingga peralatan dapat terus berputar dan bekerja.

Supply listrik dilakukan melalui sebuah kabel listrik atau tembaga yang dihubungkan ke inti sikat arang. Pemasangan kabel tersebut melibatkan penggunaan resin maupun tekanan. Alasan dipilihnya sikat arang karena komponen tersebut mampu menghantarkan listrik tanpa menyebabkan kerusakan pada penghantar itu sendiri. Sikat tidak mencair akibat percikan api saat berputar mengelilingi permukaan listrik yang bersentuhan.

Namun, karena terbuat dari carbon dan bekerja secara terus menerus terhadap gesekan, komponen tersebut dapat aus dan bahkan habis, sehingga memerlukan penggantian.

2.2.14 Cara Pembuatan Sikat Arang

Sikat arang terdiri dari bubuk carbon dengan komposisi campuran tertentu yang didapatkan dengan menggunakan tekanan tinggi. Hampir semua bor, motor, bahkan stabilizer yang bekerja dengan motor yang berputar sepanjang lilitan trafo menggunakan sikat arang sebagai penghantar listrik pada bagian tersebut.

Pembuatan sikat arang didahului dengan pembentukan awal untuk mendapatkan dimensi yang diinginkan. Produk tersebut kemudian harus diproses dengan suhu tinggi sekitar 1200°C untuk menyatukan struktur dari carbon. Sikat arang dirancang dengan menentukan kekerasan dan komposisinya untuk tujuan yang berbeda. Fungsi sikat arang pada motor listrik dan generator sifatnya hanya terbalik, namun memiliki prinsip kerja dan fungsi yang sama. Untuk mengetahui nilai hambatan pada sikat arang dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.1 : hambatan jenis penghantar

Jenis bahan	Hambatan jenis ($\Omega \cdot m$)	Jenis bahan	Hambatan jenis ($\Omega \cdot m$)
Perak	$5,9 \times 10^{-8}$	Wolfram	$5,5 \times 10^{-5}$
Tembaga	$1,68 \times 10^{-8}$	Germanium	$4,5 \times 10^{-1}$
Aluminium	$2,65 \times 10^{-8}$	Silikon	$2,0 \times 10^{-1}$
Platina	$10,6 \times 10^{-8}$	Kayu	$10 - 10^{11}$
Baja	$4,0 \times 10^{-7}$	Karet	$1,0 \times 10^{13}$
Mangan	$4,4 \times 10^{-7}$	Kaca	$10^{12} - 10^{13}$
Nikrom	$1,2 \times 10^{-6}$	Mika	$2,0 \times 10^{15}$
Karbon	$3,5 \times 10^{-5}$	Kuarsa	$1,0 \times 10^{18}$

Berdasarkan banyak percobaan, para ahli menyimpulkan bahwa makin panjang dan makin besar hambatan jenis kawat, maka hambatan kawatpun akan makin besar. Tetapi, hambatan kawat logam tersebut akan berkurang jika luas penampang kawat logam tersebut makin besar. Hubungan ini dipenuhi oleh

$$\text{persamaan : } R = \frac{\rho \cdot l}{A} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan :

R : hambatan kawat logam (ohm)

P : hambatan jenis kawat (ohm m)

L : panjang kawat (m)

A : luas penampang kawat (m²)

Dari rumus diatas dapat disimpulkan bahwa hambatan pada suatu penghantar sebanding dengan hasil kali hambatan jenis kawat dengan panjang penghantar dan hambatan listrik berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar.

Untuk menentukan besar kemampuan hantar arus pada sikat arang dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_{nc} = I_d \times A_c \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

I_{nc} = Kemampuan nominal arus pada carbon brush (ampere)

I_d = Current density (kepadatan) (A/cm^2)

A_c = Luas penampang carbon brush (cm^2)

$$I_d = \frac{I_{Gn}}{N_c \times A_c} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

I_{nc} = Kemampuan nominal arus pada carbon brush (ampere)

I_d = Current density (kepadatan) (A/cm^2)

A_c = Luas penampang carbon brush (cm^2)

I_{Gn} = Arus medan generator

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Adapun lokasi penelitian ini dilaksanakan di pembangkit listrik tenaga gas uap PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan Pulau Sicanang. Medan Sumatera Utara.

3.2 Alat& Bahan penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Laptop

Merk : Tosiba
Memori : 1 Gb
Layar : 14" Hd Led
Hard Disk : 150 Gb

Alat ini digunakan untuk mengerjakan laporan tugas akhir, selain itu juga laptop dapat juga digunakan untuk berbagai keperluan computing seperti mengetik, mengelola data, online internet, dan dapat juga untuk menyimpan data (file, gambar, video, dll) selain itu masih banyak kegunaan lainnya.

2. Flasdisk

Merk : Tosiba
Memori : 4 GB

Alat ini digunakan untuk menyimpan data, memindahkan file/data untuk keperluan dari laporan tugas akhir penulis.

3. Sigmat

Alat ini digunakan sebagai pengukur besar diameter pada sikat arang yang digunakan pada generaor PLTGU Blok 2.

Sedangkan bahan penelitian ini berdasar data primer (terlampir)

3.3 Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data – data yang diambil dari PT.PLN (persero) sektor pembangkitan belawan, pembangkit listrik tenaga gas uap (PLTGU).

Yang mana dari data – data tersebut akan membantu penulis untuk menyelesaikan skripsi ini

Data untuk PLTGU BLOK 2 di PT.PLN (persero) sektor pembangkitan belawan.

Table 3.1 Data Beban Pada PLTGU BLOK 2

ST 20 (STEAM TURBIN) BLOK 2							
Beban 10MKA01CE003	MVAR 10MKA01CE004	Tegangan 10MKA01CE001	Arus 10MKA01CE002A	Suhu winding rata - rata		Suhu air pendingin	
				Atas	Bawah	Atas	Bawah
MW	MVAR	KV	KA	°C	°C	°C	°C
135	14	16	8	90	90	37	50

Generator Merk SIMENS Type M127638 adalah generator yang digunakan pada PLTG blok 2.dengan kapasitas beban yang dikeluarkan 150 MW dan tegangan 16 KV.

Data generator tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.2 Data Generator Pada PLTGU blok 2

SPESIFIKASI		
GENERATOR	M 127638	1994
TLRI 108 / 48	$50 s^{-1}$	LEFT
3 PHASA	U1 V1 W1	→
15750 V +5% - 5%	7441A	S1
203000KVA	$\text{COS } \mu = 0.8$	
EXTERNAL EXCITATION	485 V	889 A
CLASS. OF. INSUL. MAT. F	IM 1105	IP 44
AIR COOLING	COOLING AIR 43 °C	
STATOR TRANSPORT WEIGHT 215 MG		
ROTOR TRANSPORT WEIGHT 44 MG		

Besar arus dan tegangan yang digunakan pada sistim eksitasi PLTGU blok 2 adalah :

Arus : 550 VDC

Tegangan : 300 VDC

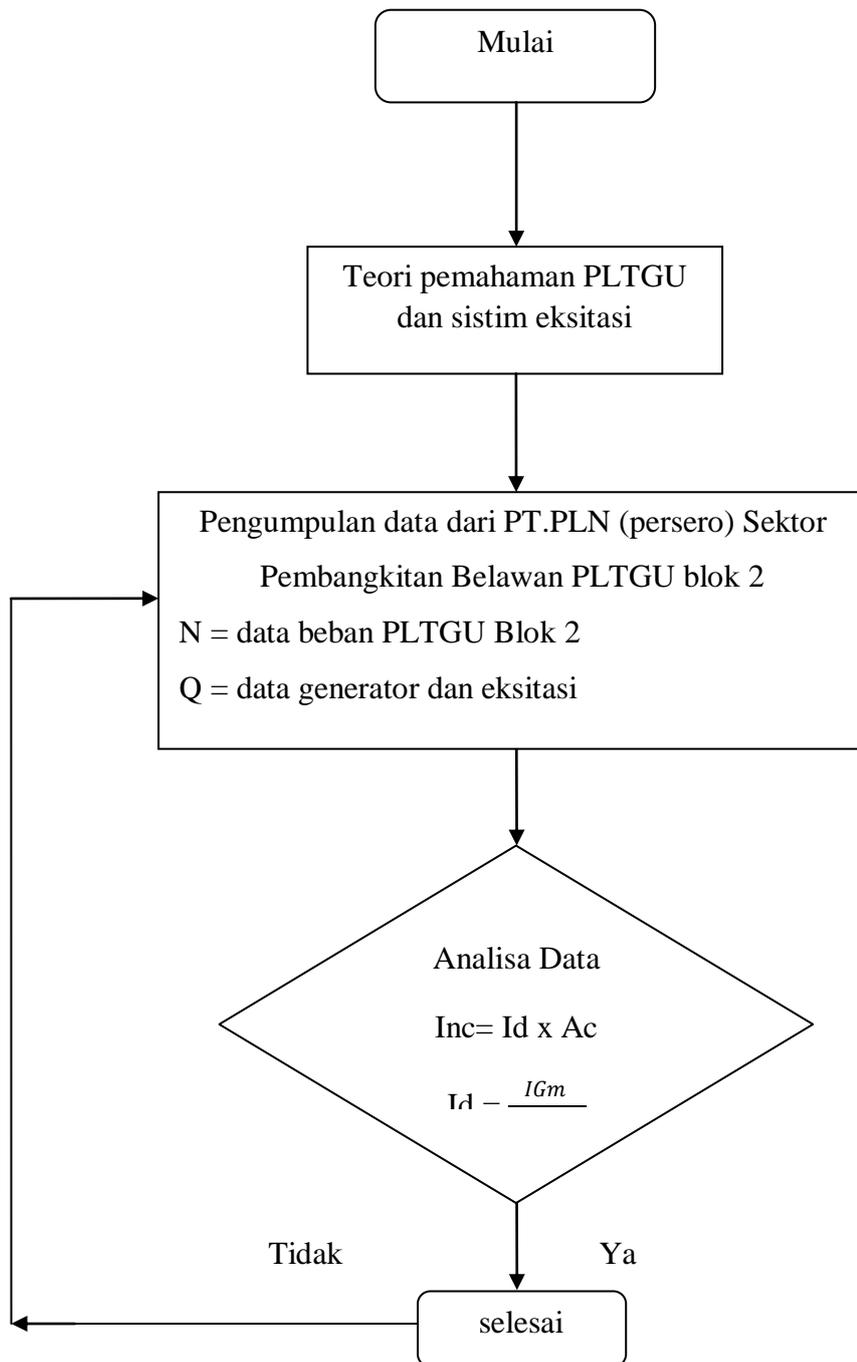
Banyaknya sikat arang yang digunakan 8 sikat arang untuk posisi positif (+) dan delapan sikat arang untuk posisi negative (-). Diameter untuk sikat arang tersebut 32 x 64 mm.

Kapasitas *current density* 10 A/Cm².

3.4 Jalanya Penelitian

Penelitian ini penelitian lapangan dengan mengambil data primer dari PT.PLN (persero) Sektor Pembangkitan Belawan dengan persamaan (2.3) dimana persamaan ini digunakan untuk mengetahui nilai tahanan pada sikat arang tersebut sebagai penghantar arus eksitasi pada generator, juga digunakan persamaan (2.4) sebagai penentu luas penampang pada sikat arang yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mencari permasalahan yang disebabkan sering terjadinya percikan api pada sikat arang yang digunakan sebagai penghantar arus eksitasi pada generator PLTGU BLOK 2.

Maka dari itu untuk lebih jelas lagi maka peneliti melampirkan diagram alir dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

ANALISA DATA

4.1 Menentukan Nominal Arus Pada Sikat Arang (*Carbon Brush*)

Berdasarkan data lapangan spesifikasi carbon brush adalah *current density* 10 A/cm^2 dan luas penampang sikat arang yang digunakan 3.2 cm^2 . Dari persamaan (2.4) maka dapat ditentukan besarnya kemampuan arus nominal pada sikat arang yang digunakan..sehingga dapat ditentukan sebagai berikut

$$I_{nc} = I_d \times A_c$$

Dimana :

I_{nc} = kemampuan nominal arus pada sikat arang (ampere)

I_d = *current density* (kepadatan) (A/cm^2)

A_c = luas penampang kabel brush (cm^2)

$$I_{nc} = I_d \times A_c$$

$$I_d = 10 \text{ A/cm}^2$$

$$A_c = 3.2 \text{ cm}^2$$

$$I_{nc} = 10 \times 3.2$$

$$I_{nc} = 32 \text{ Ampere}$$

Maka besar Nilai nominal arus pada *carbon brush* adalah 32 Ampere

Apabila di tinjau berdasarkan *name plate* generator dengan spesifikasi arus 899A.

$$I_{\text{Gen}} = 899\text{A}$$

N_c = 8 buah posisi positif, 8 buah posisi negatif : total 16 buah

$$A = 3,2\text{cm}^2$$

Maka di dapatkan :

$$I_d = \frac{I_{Gen}}{nc \times A}$$

$$I_d = \frac{899A}{16 \times 3.2\text{Cm}^2}$$

$$I_d = \frac{899A}{51.2}$$

$$I_d = 17.5 \text{ A/Cm}^2$$

Maka didapatkan kerapatan arus pada sikat arang 17.5 A/Cm². nilai ini sudah melebihi batas dari nilai kapasitas yang ada pada sikat arang yang digunakan yaitu 10 A/Cm², dan selisihnya 7.5 A/Cm². Dan nilai arus maksimum pada sikat arang tersebut.

$$I_{nc} = I_d \times A_c$$

$$I_{nc} = 17.5 \text{ A/Cm}^2 \times 3.2 \text{ Cm}^2$$

$$I_{nc} = 56 \text{ A}$$

Nilai arus maksimum juga melebihi nilai maksimum yang ada pada sikat arang, yaitu 32 A.

Dan apabila ditinjau dari data arus eksitasi yang digunakan oleh generator PLTGU blok 2.

$$I_{nc} = I_d \times A_c$$

Dimana :

I_{nc} = kemampuan nominal arus pada sikat arang (ampere)

I_d = *current density* (kepadatan) (A/cm²)

$A_c = \text{luas penampang sikat arang (cm}^2\text{)}$

$I_d = 10 \text{ A/cm}^2$

$A_c = 3.2 \text{ cm}^2$

$I_{nc} = I_d \times A_c$

$I_{nc} = 10 \times 3.2$

$I_{nc} = 32 \text{ Ampere}$

Nilai nominal arus pada sikat arang adalah 32 Ampere

$I_{\text{Gen eksitasi}} = 550 \text{ A}$

$N_c = 8 \text{ buah posisi positif, } 8 \text{ buah posisi negatif : total } 16 \text{ buah}$

$A = 3,2 \text{ cm}^2$

Maka di dapatkan :

$$I_d = \frac{I_{\text{Gen}}}{n_c \times A_c}$$

$$I_d = \frac{550 \text{ A}}{16 \times 3.2 \text{ cm}^2}$$

$$I_d = \frac{550 \text{ A}}{51.2}$$

$I_d = 10.7 \text{ A/cm}^2$

Maka didapatkan kerapatan arus pada sikat arang 10.7 A/cm^2 .

nilai ini sudah melebihi batas dari nilai kapasitas yang ada pada sikat arang yang digunakan yaitu 10 A/cm^2 , dan selisihnya 0.7 A/cm^2 . Dan nilai arus maksimum pada sikat arang tersebut.

$I_{nc} = I_d \times A_c$

$I_{nc} = 10.7 \text{ A/cm}^2 \times 3.2 \text{ cm}^2$

$$I_{nc} = 34.2 \text{ A}$$

Nilai arus maksimum juga melebihi nilai maksimum yang ada pada sikat arang, yaitu 32 A. selisih lebih besar 2.2 A

Dari perhitungan diatas besar arus yang mengalir pada sikat arang tidak sesuai dengan kapasitas sikat arang tersebut, sehingga sering timbulnya percikan api pada sikat arang. Dan sering timbulnya percikan api ini pada saat beban puncak arus 550 A, tegangan 400 Vdc, dan beban 135 MW.

Apabila dilakukan penambahan jumlah sikat arang pada sistim eksitasi generator PLTGU blok 2 maka di dapatkan.

$$I_{nc} = I_d \times A_c$$

Dimana :

I_{nc} = kemampuan nominal arus pada sikat arang (ampere)

I_d = *current density* (kepadatan) (A/cm^2)

A_c = luas penampang sikat arang (cm^2)

$I_d = 10 \text{ A/cm}^2$

$A_c = 3.2 \text{ cm}^2$

$$I_{nc} = I_d \times A_c$$

$$I_{nc} = 10 \times 3.2$$

$$I_{nc} = 32 \text{ Ampere}$$

Nilai nominal arus pada sikat arang adalah 32 Ampere

$$I_{\text{Gen eksitasi}} = 550 \text{ A}$$

$N_c = 10$ buah posisi positif, 10 buah posisi negatif :
total 20 buah

$$A = 3,2cm^2$$

Maka di dapatkan :

$$I_d = \frac{I_{Gen}}{nc \times A_c}$$

$$I_d = \frac{550A}{20 \times 3.2Cm^2}$$

$$I_d = \frac{550A}{64}$$

$$I_d = 8.6 A/Cm^2$$

Maka didapatkan kerapatan arus pada sikat arang $8.6 A/Cm^2$. nilai ini lebih kecil dari dari nilai kapasitas sikat arang yang digunakan yaitu $10 A/Cm^2$, dan selisihnya $1.4 A/Cm^2$. Dan nilai arus maksimum pada sikat arang tersebut.

$$I_{nc} = I_d \times A_c$$

$$I_{nc} = 8.6 A/Cm^2 \times 3.2 Cm^2$$

$$I_{nc} = 27.5 A$$

Nilai arus maksimum juga lebih kecil dari nilai maksimum yang ada pada sikat arang, yaitu $32 A$. selisih lebih kecil $4.5 A$

4.2 Mengetahui dampak dari percikan api yang di timbulkan oleh sikat arang terhadap generator

Dampak yang kemungkinan akan terjadi akibat timbulnya percikan api ialah flash over, setiap kondisi yang menimbulkan percikan api, harus dicurigai sebagai keadaan yang akan menyebabkan terjadinya suatu *flash over*. Setiap bunga api yang besar, akan

menyebabkan udara diatas permukaan komutator menjadi konduktif karena udara disitu terionisasi. Konduktifnya udara diatas permukaan komutator ini akan menyebabkan adanya loncatan muatan listrik besar dari satu *brush holder* ke brush holder yang lain dan terjadilah apa yang disebut *flash over* pada permukaan komutator, Nampak adanya percikan tembaga pada ujung – ujung segmen pada *brush holder* dan sekitar isolasi, bahkan pada *frame*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis maka penelitian ini menyimpulkan :

1. Setelah dilakukan analisis untuk menentukan nilai kapasitas pada sikat arang maka ditemukan bahwa besar arus eksitasi dengan kapasitas sikat arang tidak sesuai, dimana arus yang mengalir lebih besar 0,7 ampere dari kapasitas sikat arang. Hal ini menyebabkan timbulnya percikan api pada sikat arang dan peristiwa ini selalu terjadi saat unit PLTGU Blok 2 melakukan penaikan beban puncak sebesar 135 MW dengan arus eksitasi 550 ampere dan tegangan 400 Vdc.
2. Dampak dari percikan api tersebut dapat menyebabkan terjadinya *flash over* pada permukaan komutator.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang di lakukan penulis menyarankan sebaiknya menambahkan 4 buah sikat arang pada generator PLTGU Blok 2 untuk meminimalisir terjadinya percikan api, saat penaikan beban puncak, 2 buah sikat arang pada posisi positif, 2 buah pada posisi negative.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A dan Kuwahara. 1991. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Heru Dibyo Laksono, 2016 “*Analisa Kekokohan Tanggapan Tegangan Sistem Eksitasi Generator Terhadap Perubahan Parameterkonstanta Penguatan Generator dengan Berbagai Pengendali*” Artikel Jurnal Universitas Eka Sakti
- Imam Mardahatillah, 2015 “*Pengaruh tingkat keausan brush generator padakapal*”. Artikel jurnal Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- Marsudi, Djiteng. 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta : Erlangga Kadir, Abdul. 1999. *Mesin Sinkron*. Jakarta: Djambatan..
- Nanda, 2013 “*Studi Pengaturan Arus Eksitasi Untuk Mengatur Tegangan Keluaran Generator Di Pt.Indonesia Power UBH Kamojang Unit 2*” Artikel Jurnal Universitas Andalas, Padang
- Noris Fredi Yulianto, 2013 “*analisa perilaku tegangan sistem eksitasi generator terhadap perubahan parameter konstanta penguatan generator dengan berbagai pengendali*” Artikel Jurnal Universitas Andalas, Padang
- Priyadi, 2015 “*analisa pengaruh eksitasi terhadap efek harmonisa pada hubungan belitan generator sinkron beban LHE 5 Watt*” Artikel Jurnal Universitas Eka Sakti
- Rahman, 2015 “*analisa sisitem eksitasi anpa sikat pada generator turbin gas dengan menggunakan matlab di job pertamina – talisman jambi merang*” Artikel Jurnal Universitas Bung Hatta