

**LAPORAN PRAKTEK LAPANGAN INDUSTRI  
PT. PLN (PERSERO) UNIT PELAKSANA PEMBANGKITAN  
BUKITTINGI  
PLTA BATANG AGAM  
SISTEM EKSITASI GENERATOR SINKRON UNIT 2 PLTA BATANG  
AGAM**

*Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Dari Persyaratan Praktek Lapangan  
Industri (PLI) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang*



Oleh:  
Syahroni Arby  
NIM/BP : 19130115/2019

**PRODI TEKNIK ELEKTRO INDUSTRI DIV  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**LAPORAN PRAKTEK LAPANGAN INDUSTRI (PLI)**

**SISTEM EKSITASI GENERATOR SINKRON UNIT 2**

**PLTA BATANG AGAM**

Pada tanggal 25 Juli – 30 September 2022

Disusun oleh:

**SYAHRONI ARBY**

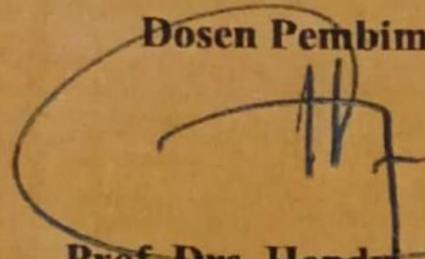
**2019.19130115**

Departemen Teknik Elektro

Program Studi Teknik Elektro Industri

**Diperiksa dan Disahkan oleh :**

**Dosen Pembimbing**

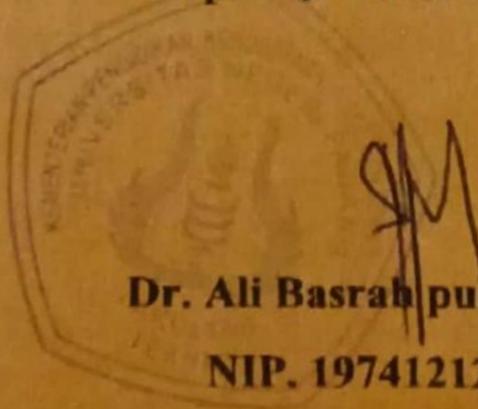


**Prof. Drs. Hendri, M.T., Ph.D.**

**NIP. 196409171990011001**

**Dekan FT-UNP**

**Kepala Unit Hubungan Industri**



**Dr. Ali Basrah Pulungan, ST, MT.**

**NIP. 197412122003121002**

## LEMBAR PENGESAHAN

Laporan ini diajukan dalam rangka memenuhi sebahagian dari persyaratan penyelesaian pengalaman lapangan industri FT-UNP Padang Semester Juli-Desember 2022

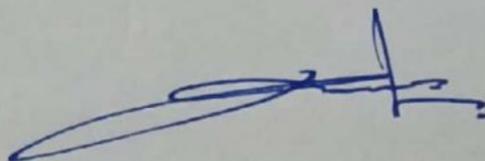
Dengan Judul Laporan:

**“Sistem Eksitasi Generator Sinkron Unit 2 PLTA Batang Agam”**

Oleh:

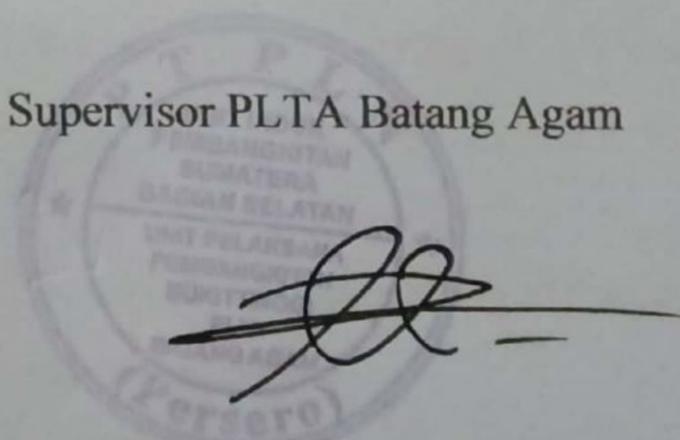
Nama : Syahroni Arby  
NIM/BP : 19130115/2019  
Program Studi : Teknik Elektro Industri DIV  
Departemen : Teknik Elektro

Diketahui dan Disetujui oleh:  
Pembimbing Lapangan



**Reyzi Purnomo**

Supervisor PLTA Batang Agam



**Afrizal Nurfi**

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim...

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Praktek Lapangan Industri (PLI) pada semester Juli–Desember yang dilaksanakan di PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Bukittingi PLTA Batang Agam, berikut dengan laporan yang telah penulis selesaikan. Laporan Kerja Praktek yang berjudul “Sistem Eksitasi Generator Sinkron Unit 2 PLTA Batang Agam” sengaja ditulis dengan maksud untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik untuk menyelesaikan Praktek Kerja Lapangan Industri pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Dalam tahap penyelesaiannya, penulis telah banyak mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga laporan Praktek Lapangan Industri (PLI) ini dapat diselesaikan. Untuk itu, izinkan penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Krismadinata, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
2. Bapak Dr. Elfizon, S.Pd., M.PdT. selaku ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
3. Bapak Dr. Ali Basra Pulungan, S.T., M.T. selaku Koordinator Praktek Lapangan Industri Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
4. Bapak Prof. Drs. Hendri, M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing Praktek Lapangan Industri (PLI).
5. Bapak Afrizal Nurfi selaku Supervisor Pemeliharaan PLTA Batang Agam.
6. Bapak Reyzi Purnomo selaku Pembimbing Praktek Lapangan Industri di PLTA Batang Agam.
7. Bapak/ibu Karyawan PLTA Batang Agam yang telah mebantu penulis dalam menyelesaikan Praktek Lapangan Industri ini.
8. Rekan-rekan sesama magang di PLTA Batang Agam yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan pengerjaan lapporan Praktek Lapangan Industri ini.

Penulis menyadari bahwa laporan Praktek Kerja Lapangan ini masih terdapat kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dan wawasan yang penulis miliki. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritikan yang membangun dari pembaca demi kesempurnaan laporan ini. Semoga Laporan Praktek Kerja Lapangan ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Padang, 21 September 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN FAKULTAS.....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PERUSAHAAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan PKL .....	1
C. Manfaat.....	2
D. Waktu dan Tempat Pelaksanaan PLI.....	2
E. Batasan Masalah .....	2
F. Metode Pengumpulan Data .....	2
G. Tinjauan Umum Perusahaan.....	3
1. Sejarah PLTA Batang Agam .....	3
2. Bangunan Utama yang Ada Di PLTA Batang Agam.....	5
3. Letak Geografis PLTA Batang Agam .....	12
4. Tata Letak Fasilitas/Mesin di Power House .....	13
5. Peralatan Mekanis dan Listrik Di Power House PLTA Batang Agam .....	14
6. Prinsip Kerja PLTA Batang Agam .....	18
7. Single Line Diagram PLTA Batang Agam.....	20
8. Visi, Misi dan Motto.....	20
9. Struktur Organisasi .....	22
<b>BAB II PEMBAHASAN.....</b>	<b>23</b>
A. Generator Sinkron .....	23
1. Generator Sinkron Sebagai Pembangkit Listrik .....	23
2. Kontruksi Generator Sinkron.....	24
3. Prinsip kerja Generator Sinkron .....	25
B. Sistem Eksitasi.....	26

1. Definisi Sistem Eksitasi.....	26
2. Fungsi Sistem Eksitasi.....	28
C. AVR ( <i>Automatic Voltage Regulator</i> ).....	29
1. Fungsi AVR.....	29
2. Prinsip Kerja AVR.....	29
D. Thyristor.....	30
1. Fungsi Thyristor.....	30
2. Prinsip Kerja Thyristor.....	30
3. Karakteristik Thyristor.....	31
4. Jenis-Jenis Thyristor.....	32
E. Komponen Utama pada Sistem Eksitasi PLTA Batang Agam.....	34
1. Baterai.....	34
2. AVR ( <i>Automatic Voltage Regulator</i> ).....	35
3. PT ( <i>Potensial Transformer</i> ) dan CT ( <i>Current Transformer</i> ).....	36
4. SCR ( <i>Silicon Controlled Rectifier</i> ).....	37
5. <i>Carbon Brush</i> dan <i>Slip Ring</i> .....	37
F. Pengaruh Beban Terhadap Sistem Eksitasi.....	38
1. Analisa dan Pembahasan Sistem Eksitasi PLTA Batang Agam.....	38
.....	38
2. Proses Eksitasi pada PLTA Batang Agam.....	39
3. <i>Konverter AC-DC 3 Phasa</i> .....	42
<b>BAB III PENUTUP.....</b>	<b>49</b>
A. Kesimpulan.....	49
B. Saran.....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>51</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>52</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 PLTA Batang Agam .....	3
Gambar 1. 2 Intake Weir .....	5
Gambar 1. 3 Tunnel I .....	6
Gambar 1. 4 Sand Trap .....	7
Gambar 1. 5 Tunnel II .....	7
Gambar 1. 6 Daiky Pondage .....	8
Gambar 1. 7 Surge Tank .....	9
Gambar 1. 8 Valve Chumber .....	10
Gambar 1. 9 Penstock .....	11
Gambar 1. 10 Power House .....	11
Gambar 1. 11 Tail Race .....	12
Gambar 1. 12 Letak Geografis PLTA Batang Agam .....	12
Gambar 1. 13 Bangunan Sentral Lantai I PLTA Batang Agam	13
Gambar 1. 14 Bangunan Sentral Lantai II PLTA Batang Agam	13
Gambar 1. 15 Bangunan Sentral Lantai III PLTA Batang Agam	14
Gambar 1. 16 Bangunan Sentral Lantai IV PLTA Batang Agam	14
Gambar 1. 17 Generator PLTA Batang Agam .....	15
Gambar 1. 18 Turbin Francis .....	16
Gambar 1. 19 Transformator .....	17
Gambar 1. 20 Governor PLTA Batang Agam .....	18
Gambar 1. 21 Konsep BISNIS PLTA Batang Agam .....	19
Gambar 1. 22 Single Line Diagram PLTA Batang Agam .....	20
Gambar 1. 23 Struktur Organisasi PLTA Batang Agam .....	22
Gambar 2. 1 Hubungan generator dan turbin pada PLTA .....	23
Gambar 2. 2 Bentuk Sederhana Generator Sinkron .....	24
Gambar 2. 3 Bentuk Rangkaian Brush Excitation .....	27
Gambar 2. 4 Bentuk Rangkaian Brushless Excitation .....	28
Gambar 2. 5 Thyristor .....	30
Gambar 2. 6 Diagram, simbol dan bentuk SCR .....	32
Gambar 2. 7 Diagram, simbol dan bentuk SCS .....	33
Gambar 2. 8 Diagram, simbol dan bentuk TRIAC .....	33
Gambar 2. 9 Bentuk, struktur dan simbol DIAC .....	34
Gambar 2. 10 Ruang Baterai .....	35
Gambar 2. 11 AVR Unit 2 .....	36
Gambar 2. 12 PT & CT Unit 2 .....	36
Gambar 2. 13 SCR .....	37
Gambar 2. 14 Slip Ring & Carbon Brush .....	38
Gambar 2. 15 Singel Line Diagram Sistem Eksitasi PLTA Batang Agam .....	39

Gambar 2. 16 Proses Sistem Eksitasi .....	40
Gambar 2. 17 Diagram penyearah 3 fasa gelombang penuh, gelombang tegangan dan arus dengan beban Resistif .....	42
Gambar 2. 18 Diagram penyearah 3 fasa gelombang penuh, gelombang tegangan dan arus dengan beban R dan L.....	44
Gambar 2. 19 Diagram penyearah 3 fasa gelombang penuh, gelombang tegangan dan arus dengan beban R dan C.....	56
Gambar 2. 20 Diagram penyearah 3 fasa gelombang penuh, gelombang tegangan dan arus dengan beban R,L dan C.....	58

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Praktik Kerja Lapangan (PKL) merupakan persyaratan akademis yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa yang akan menyelesaikan pendidikan teknik mesin di Universitas Negeri Padang.

Kerja Lapangan diadakan dengan tujuan untuk memberikan kesempatan kepada para mahasiswa untuk mengamati secara langsung proses kegiatan pelaksanaan pekerjaan di lapangan, memberikan kesempatan untuk mengaplikasikan pengetahuan akademis, dan membandingkan dengan kenyataan di lapangan. Di samping itu, Praktik Kerja Lapangan dapat juga dijadikan sebagai sarana dalam menambah dan memperluas wawasan serta meningkatkan cara berfikir ke arah yang lebih logis, analitis dan konseptual. Sesuai dengan ketentuan yang berlaku setiap mahasiswa yang akan melakukan Praktik Kerja Lapangan diwajibkan untuk mencari lokasi praktik dan sekaligus membuat laporan dari hasil Praktik Industri sesuai dengan program keahlian konsentrasi kontruksi dan kegiatan yang sedang berjalan di lokasi.

Untuk memenuhi hal tersebut, maka dipilihlah tempat PKL di di PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Bukittingi PLTA Batang Agam. Dipilihnya tempat Kerja Praktik ini karena sesuai dengan program keahlian dan ilmu-ilmu yang telah didapat selama di bangku perkuliahan, bahkan masih banyak ilmu-ilmu pengetahuan baru yang perlu dipelajari.

### **B. Tujuan PKL**

Secara umum Praktik Kerja Lapangan bertujuan untuk mengenalkan penulis kepada dunia kerja di perusahaan dan mengaplikasikan teori yang diperoleh di bangku kuliah terhadap kenyataan yang ada di lapangan. Secara khusus, Praktik Kerja Lapangan bertujuan :

1. Mengetahui Pembangkit dan Pengendalian Pembangkitan PLTA Batang Agam. Menerapkan ilmu yang diperoleh pada bangku perkuliahan dalam dunia industri.

2. Mengetahui serta memahami sistem kerja PT. PLN (Persero) Unit PLTA Batang Agam.
3. Mengetahui Pemeliharaan Sistem Eksitasi pada PLTA Batang Agam.

### **C. Manfaat**

Dengan mengetahui pemeliharaan Turbin pada PLTA Batang Agam, maka dapat dilakukan penyelesaian dari masalah tersebut dan mencegah kemungkinan terjadinya kesalahan yang sama sehingga dapat meningkatkan kinerja dari alat tersebut dan juga meningkatkan produksi dari PT. PLN (Persero) Unit PLTA Batang Agam.

### **D. Waktu dan Tempat Pelaksanaan PLI**

Tanggal pelaksanaan : 25 Juli – 30 September 2022  
Tempat pelaksanaan : PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Bukittingi PLTA Batang Agam  
  
Alamat : Koto Tanyuh, Batu Hampa, Akabiluru, Lima Puluh Kota Regency, West Sumatra 26525  
  
Web : [www.pln.co.id](http://www.pln.co.id)

### **E. Batasan Masalah**

Dalam penyusunan laporan ini dilakukan pembatasan masalah agar tidak menyimpang dari lingkup permasalahan diantaranya yaitu :

1. Sistem Eksitasi PLTA Batang Agam.
2. Proses Eksitasi PLTA Batang Agam.

### **F. Metode Pengumpulan Data**

Data dan informasi sebagai bahan penyusunan laporan praktek kerja lapangan diperoleh melalui beberapa cara, yakni:

1. Pengamatan Lapangan

Penulis dengan teliti mengamati secara langsung pada bidang yang

penulis geluti selama melakukan praktek kerja lapangan.

## 2. Wawancara

Penulis melakukan wawancara dan diskusi kepada pihak-pihak terkait dengan bidang yang penulis geluti untuk mendapatkan data dan informasi yang diperlukan.

## 3. Studi Literatur

Penulis mempelajari buku-buku referensi yang berkaitan dengan sistem eksitasi pembangkit listrik.

## G. Tinjauan Umum Perusahaan

### 1. Sejarah PLTA Batang Agam



Gambar 1. 1 PLTA Batang Agam

PLTA Batang Agam terletak diperbatasan Kabupaten Agam dan Kabupaten Lima Puluh Kota. Pembangunan PLTA Batang Agam

merupakan salah satu pemanfaatan potensi air sungai Batang Agam. Proyek ini merupakan proyek besar di Sumatera Barat selama Pelita I dan Pelita II. Kapasitas tenaga listrik yang dibangkitkan di proyek ini sekitar 10,5 MW. Pembangunan proyek PLTA Batang Agam sebenarnya sudah lama direncanakan sejak tahun 1927.

Pemerintah Belanda dalam hal ini Departemen Van Veerkeer en Waterstaat Afdeling Electriciteit telah melakukan survei, penyelidikan, pengukuran debit air, curah hujan dan topografi rampung dilakukan hingga tahun 1938, tetapi karena pecahnya Perang Dunia II, maka rencana proyek tersebut tertunda pelaksanaannya.

Pemerintah RI dalam hal ini Departemen PUTL tahun 1957 melakukan penelitian kembali tentang kemungkinan dibangunnya kembali proyek PLTA Batang Agam ini. Direncanakan waktu itu proyek tersebut akan rampung tahun 1966 dengan kapasitas 10,5 MW, tetapi karena terjadinya pergolakan daerah, rencana itu kembali mengalami hambatan.

Akhirnya Menteri Sutami berkesimpulan untuk melanjutkan proyek ini, walaupun harus dikerjakan dengan alat-alat yang tradisional, agar proyek ini terus berjalan lancar. Melihat adanya tanda-tanda lampu hijau ini, Ir. Januar Muin merasa harga dirinya pulih. Kini ia akan dapat memimpin sebuah proyek besar dalam ukuran besar di Sumatera Barat waktu itu. Untuk keperluan itulah pada tahun 1970 sengaja didatangkan tim dari Lahmeyer International Consulta dari Jerman Barat.

Tim tersebut meneliti kembali studi kemungkinan yang dibuat oleh tenaga- tenaga proyek ini dan Universitas Andalas Padang. Dari hasil penelitian, ternyata proyek tersebut secara tertulis dan ekonomis adalah memungkinkan dan dengan dasar itulah proyek PLTA Batang Agam diteruskan pelaksanaannya dengan bantuan pinjaman Asian Development Bank (ADB Manila) sebesar US\$ 7,1 Juta. Pembangunan proyek PLTA Batang Agam diteruskan, walaupun baru akan dibangkitkan tenaga sebesar 10,5 MW, akan tetapi telah memperlihatkan titik terang bagi daerah Sumatera Barat secara keseluruhan. Sehingga pada tanggal 28 Februari 1976 proyek tersebut rampungdikerjakan dan mulai dioperasikan pada :

- a. Turbin / Generator 1 tanggal 1 Maret 1976
- b. Turbin / Generator 2 tanggal 8 Maret 1976
- c. Turbin / Generator 3 tanggal 15 September 1982

PLTA Batang Agam membangkitkan tenaga listrik sebesar 10,5 MW yang disalurkan dalam 4 feeder, yaitu :

- a. Feeder I Bukittinggi
- b. Feeder II Situjuh
- c. Feeder III Payakumbuh
- d. Feeder IV Batu Hampar

## 2. Bangunan Utama yang Ada Di PLTA Batang Agam

PLTA Batang Agam memiliki beberapa bangunan dengan fungsinya yang saling terkait antara satu dengan yang lainnya. Berikut ini adalah bangunan yang terdapat pada PLTA Batang Agam :

- a. *Intake Weir* (Pintu Air)



Gambar 1. 2 *Intake Weir*

*Intake weir* berfungsi sebagai tempat pemasukan air dari Sungai Batang Agam yang berhulu di kaki Gunung Merapi. Air pada intake weir akan banyak jika pada daerah Bukittinggi dan Kamang hujan. Perawatan yang dilakukan pada intake weir adalah perawatan Automatic Trash Racke yang berfungsi sebagai alat pengambil sampah yang tersangkut pada saringan di intake weir. Intake weir dapat dilihat

pada gambar 1.2. Dengan debit air maksimum 14,4 m<sup>3</sup>/s dan luas penampang sebesar 5,4 m<sup>2</sup>. Air Batang Agam.

b. *Tunnel I* (Terowongan I)

*Tunnel I* difungsikan sebagai penyaluran air dari intake weir menuju ke sand trap (kolam pasir). *Tunnel I* dapat dilihat pada gambar 1.3. Terowongan ini berbentuk seperti leter U. perawatan yang dilakukan pada *tunnel I* adalah pemeliharaan agar *tunnel I* tetap kokoh agar suplai air ke *sand trap* tidak terganggu yang dimana sangat berpengaruh pada kecukupan air untuk *power house*. *Tunnel I* memiliki panjang 175,5 m, diameter sebesar 2,50 m dan kapasitas terowongan sebesar 14 m<sup>3</sup>.



Gambar 1. 3 *Tunnel I*

c. *Sand Trap* (Kolam penampungan pasir)

*Sand trap* berfungsi sebagai pengendapan pasir yang terbawa oleh air sungai Batang Agam. Karena air yang diperlukan untuk memutar turbin harus bersih, bebas dari segala sampah, pasir dan kotoran lainnya agar turbin terhindar dari kerusakan, dapat dilihat pada gambar 1.4. *Sand trap* memiliki ATR ( Automatic Trash Racke ) yang dimana ATR tersebut berfungsi sebagai pengambil sampah yang tersangkut pada saringan air masuk ke sand trap. *Sand trap* memiliki 2 buah kolam yang berfungsi jika 1 kolam dilakukan perawatan maka suplai air ke kolam tando tidak terganggu dan tetap lancar mengalir. Sama seperti di intake weir perawatan yang dilakukan di sand trap ini adalah perawatan

automatic trash rack. Sand trap ini memiliki luas sebesar 7.000 m<sup>2</sup> dengan volume 20.000 m<sup>3</sup>.



Gambar 1. 4 *Sand Trap*

d. *Tunnel II (Terowongan II)*

*Tunnel II* berfungsi untuk mengalirkan air dari kolam penampungan pasir menuju daily pondage (kolam tando) dapat dilihat pada gambar 1.5. *Tunnel II* memiliki panjang 131 m dan berdiameter sebesar 2,10 m.



Gambar 1. 5 *Tunnel II*

e. *Daily Pondage (Kolam tando)*

*Daily pondage* berfungsi untuk menampung air dari terowongan II yang kemudian di salurkan ke terowongan III. Kolam tando memiliki

luas sebesar 45.000 m<sup>2</sup> dengan luas maksimum sebesar 113.000 m<sup>3</sup> s/d elevasi 682,50 m dapat dilihat pada gambar 1.6. Perawatan yang dilakukan pada kolam tando adalah perawatan *pada Automatic Trash Rake*. ATR merupakan alat yang digunakan untuk mengambil sampah dari filter outlet kolam tando yang dimana outlet kolam tando merupakan aliran air masuk untuk suplai *power house*. Berikut ini bagian – bagian *pondage* (kolam tando) adalah sebagai berikut:

1) *Inlet*

*Inlet* berfungsi sebagai pemasukan air dari terowongan II yang dimana air tersebut telah melalui kolam sand trap.

2) *Spillway*

*Spillway* berfungsi sebagai pelimpahan jika air kolam tando telah maksimum dan sebagai penguras jika sewaktu – waktu kolam dikuras atau dibersihkan.

3) *Outlet*

*Outlet* berfungsi sebagai pemasukan air menuju terowongan III. Outlet memiliki ATR yang berfungsi sebagai alat penarik sampah agar sampah tidak tersangkut di saringan.



Gambar 1. 6 *Daily Pondage*

f. *Tunnel III* (Terowongan III)

*Tunnel III* berfungsi untuk menyalurkan air dari *outlet* kolam tando menuju *surge tank* atau kolam peredam. Terowongan ini menembus bukit sepanjang 1.150 meter dengan diameter 2,20 meter.

g. *Surge Tank* (Kolam Peredam)

*Surge tank* berfungsi untuk meredam pukulan air yang dapat menimbulkan tekanan balik bila debit air berubah secara mendadak. *Surge tank* juga berfungsi untuk menghilangkan gelembung-gelembung udara yang ada pada tekanan sebelum masuk ke dalam pipa pesat. Agar pipa pesat penuh dengan air dan tekanan airnya sesuai dengan standarnya yaitu 9,8 bar dapat dilihat pada gambar 1.7. Berikut ini ukuran dari *Surge Tank* :

Tinggi : 26 m  
Diameter : 7,6 m  
Elevasi Dasar : 669,60 mdpl

Perawatan pada *surge tank* adalah perawatan pembersihan bangunan dari lumut-lumut yang menempel pada dindingnya yang nanti dapat menyebabkan kerusakan pada bangunannya.



Gambar 1.7 *Surge Tank*

h. *Valve Chamber* (Bangunan Katup Utama)

*Valve chamber* dipasang diujung pipa pesat dengan sisi masuk turbin. *Valve chamber* memiliki katup jenis *butterfly valve*, *valve chamber* dapat dilihat pada gambar 1.8. *Valve chamber* memiliki elevasi dasar 668,04 mdpl dan elevasi atas 648,70 mdpl. Fungsi *valve*

*chamber* antara lain :

- 1) Untuk menutup aliran air yang masuk ke dalam turbin di saat turbin sedang beroperasi maupun tidak beroperasi.
- 2) Sebagai katup pengaman apabila pipa pesat pecah, banjir di power house dan lain-lain.
- 3) Untuk pemeliharaan di penstock dan inlet valve.



Gambar 1. 8 *Valve Chamber*

i. *Penstock* (Pipa pesat)

*Penstock* berfungsi untuk mengalirkan air dari saluran penghantar ke turbin. Posisi kemiringan yang tajam dimaksudkan untuk memperoleh energi kinetik air (tekanan air ) dan energi potensial dari air tersebut untuk memutar turbin. *Penstock* dapat dilihat pada gambar 1.9. Berikut merupakan spesifikasi *penstock*:

Elevasi awal	: 648,70 mdpl
Panjang	: 240,00 m
Elevasi akhir	: 582,50 mdpl
Kemiringan	: 70°
Diameter	: 2 m



Gambar 1. 9 *Penstock*

j. *Power House* (Rumah Pembangkit)

*Power house* merupakan tempat khusus untuk tempat peralatan utama. *Power House* dapat dilihat pada gambar 1.10. Dalam gedung ini ditempatkan 3 unit turbin/generator untuk masing – masing unit berkapasitas 3,5 MW. Di dalam power house terdapat peralatan-peralatan elektrikal dan bengkel. Power house di lengkapi dengan crane katrol untuk mengangkat alat-alat berat yang berhubungan dengan turbin, generator, bearing, dan alat- alat yang tidakbisa diangkat dengan tenaga manusia. Di power house inilah tempat kegiatan maintenance PLTA dilakukan setiap harinya.



Gambar 1. 10 *Power House*

k. *Tail Race* (Saluran Pembuangan Air)

*Tail race* merupakan saluran akhir dari air PLTA Batang Agam. Dimana air yang memiliki tekanan akan dialirkan ke turbin sehingga air memutar turbin. Sedangkan air yang tidak memiliki tekanan akan

dialirkan ke drafttube dan selanjutnya akan di alirkan ke saluran pembuangan tail race hingga kembali ke sungai Batang Agam dapat dilihat pada gambar 1.11. Adapun elevasi air pada tail race adalah 581,30 m. tail race tidak hanya buangan air turbin, tetapi juga buangan air dari drainase power house, mainstrainer, dan sistem yang memerlukan buangan air untuk kebersihan filter.



Gambar 1. 11 Tail Race

### 3. Letak Geografis PLTA Batang Agam



Gambar 1. 12 Letak Geografis PLTA Batang Agam

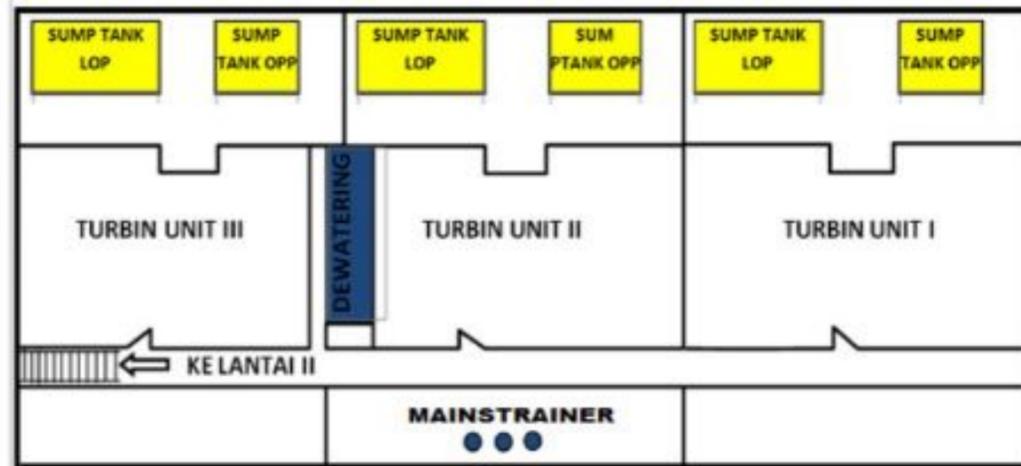
PLTA Batang Agam terletak di Koto Tangah, Batu Hampar, Kecamatan Akabiluru, Kabupaten Lima Puluh Kota dapat dilihat pada gambar 2.12. Secara astronomis, PLTA Batang Agam berada pada 0.27o LS dan 100,55oBS.

#### 4. Tata Letak Fasilitas/Mesin di Power House

Bangunan sentral PLTA Batang Agam terdiri dari 4 lantai yang dapat dijelaskan pada gambar-gambar berikut :

##### a. Lantai I

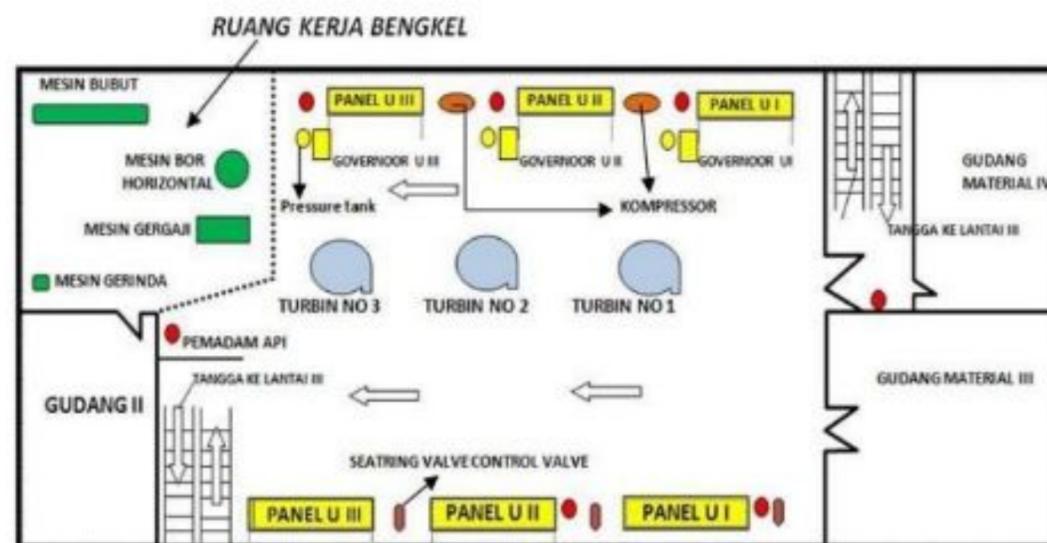
Lantai I PLTA Batang Agam dapat dilihat pada gambar 1.13 berikut.



Gambar 1. 13 Bangunan Sentral Lantai I PLTA Batang Agam

##### b. Lantai II

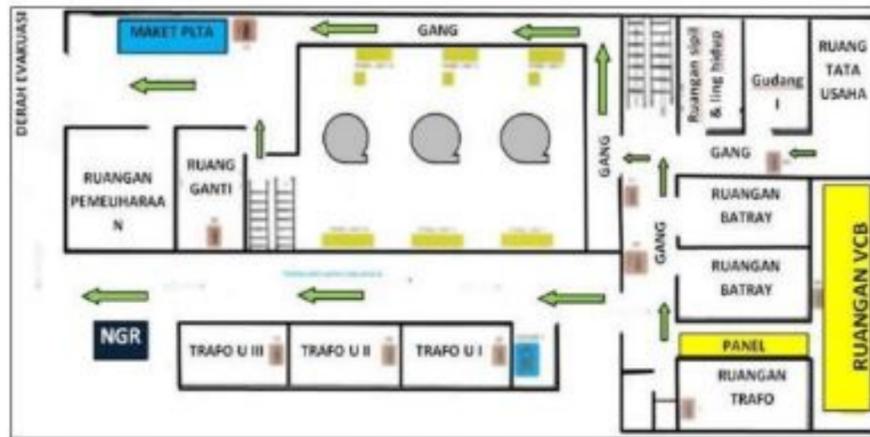
Lantai II PLTA Batang Agam dapat dilihat pada gambar 1.14 berikut



Gambar 1. 14 Bangunan Sentral Lantai II PLTA Batang Agam

##### c. Lantai III

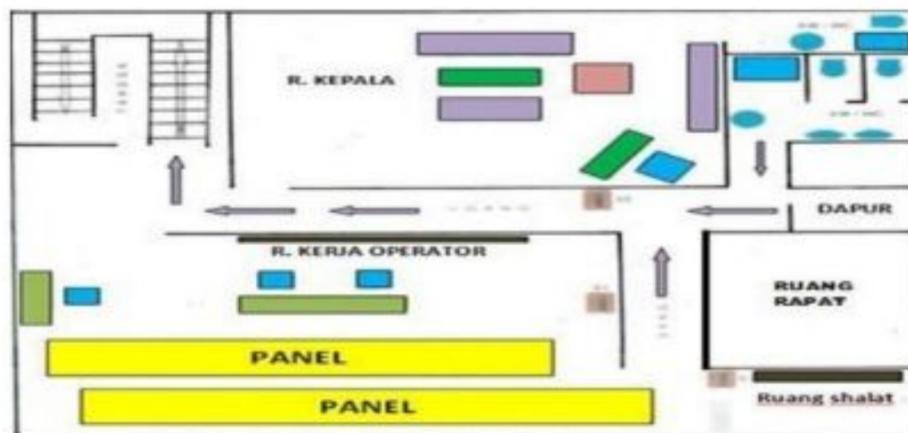
Lantai III PLTA Batang Agam dapat dilihat pada gambar 1.15 berikut.



Gambar 1. 15 Bangunan Sentral Lantai III PLTA Batang Agam

d. Lantai IV

Lantai IV PLTA Batang Agam dapat dilihat pada gambar 1.16 berikut.



Gambar 1. 16 Bangunan Sentral Lantai IV PLTA Batang Agam  
(Dokumentasi PLTA Batang Agam)

5. Peralatan Mekanis dan Listrik Di Power House PLTA Batang Agam

Semenjak dimulainya pengambilan air dari sungai Batang Agam, setelah melalui beberapa terowongan, kolam penampungan sampai power house maka energi potensial air akan diubah menjadi energi kinetik, kemudian energi tersebut akan diubah menjadi energi mekanik dan diubah pula menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan nantinya akan disalurkan ke beban. Di PLTA Batang Agam, tegangan yang dihasilkan generator adalah 6,3 kV dan dinaikkan menjadi 20 kV oleh transformator utama.

a. Generator

Generator merupakan sebuah alat yang dihubungkan dengan turbin

melalui gigi-gigi putar sehingga baling-baling turbin berputar, generator juga akan ikut berputar. Alat ini memanfaatkan perputaran turbin untuk memutar kumparan magnet di dalam generator, sehingga terjadi pergerakan elektron yang membangkitkan timbulnya arus listrik AC .

Generator yang digunakan di PLTA Batang Agam adalah AC Generator MEIDENSHA type TC-AF yang dapat dilihat pada gambar 1.17. Tahun Pembuatan Generator pada unit 1 dan unit 2 tahun 1975 sedangkan unit 2 pada tahun 1980 TOKYO JAPAN.

Spesifikasi generator pada PLTA Batang Agam adalah sebagai berikut:

Output	: 4700 kVA
Tegangan	: 6300 V
Arus	: 431 A
Frekuensi	: 50 Hz
Rpm	: 750 rpm
Faktor daya	: 0,8
Jumlah fasa	: 3 fasa
Jumlah kutub	: 8 kutub
Tegangan eksitasi	: 105 V
Arus eksitasi	: 454 A



Gambar 1. 17 Generator PLTA Batang Agam

#### b. Turbin

Turbin pada PLTA Batang Agam termasuk jenis turbin francis.

Turbin ini bekerja merubah energi potensial menjadi energi kinetik, tekanan, dan energi mekanik. Turbin francis bekerja pada head sedang dengan aliran besar. PLTA Batang Agam memanfaatkan head dan aliran dari sungai Batang Agam untuk memutar turbin dapat dilihat pada gambar 1.18 berikut:



Gambar 1. 18 Turbin Francis

Spesifikasi Turbin pada PLTA Batang Agam adalah sebagai berikut:

No. Seri	: R. 410028 – 01
Merk	: Ebara Tokyo Japan
Type	: Horizontal Shaft Francis
Daya	: 3500 kW
Putaran	: 750 rpm
Ukuran sudu	: D1= 0,199m, D2= 0,255m, D3= 0,271m
Pemakaian Air	: 4.49 m <sup>3</sup> /s
Tinggi Air	: 90.8 m
Tahun Pembuatan	:1975
Tahun Operasi	:1976

#### c. Tranformator

Trafo atau transformator adalah alat yang digunakan dalam dunia

kelistrikan untuk mengubah taraf suatu tegangan AC menjadi tegangan lainnya. Perubahan tersebut dapat berupa penurunan atau kenaikan tegangan listrik. Misalnya, tegan AC awal adalah 220 VAC kemudian dengan trafo diturunkan menjadi 12 VAC atau sebalik nya dapat dilihat pada gambar 1.19.

Transformator yang digunakan PLTA Batang Agam ada dua tipe yaitu:

- 1) Unit 1 dan unit 2 , type TTUB 21
- 2) Unit 3, type MGA 53

Transformator di PLTA Batang Agam dipasang dengan hubungan bintang disisi *High voltage* dan hubungan segitiga (delta) disisi *low voltage*.



Gambar 1. 19 Transformator  
(Dokumentasi Pribadi)

d. Governor

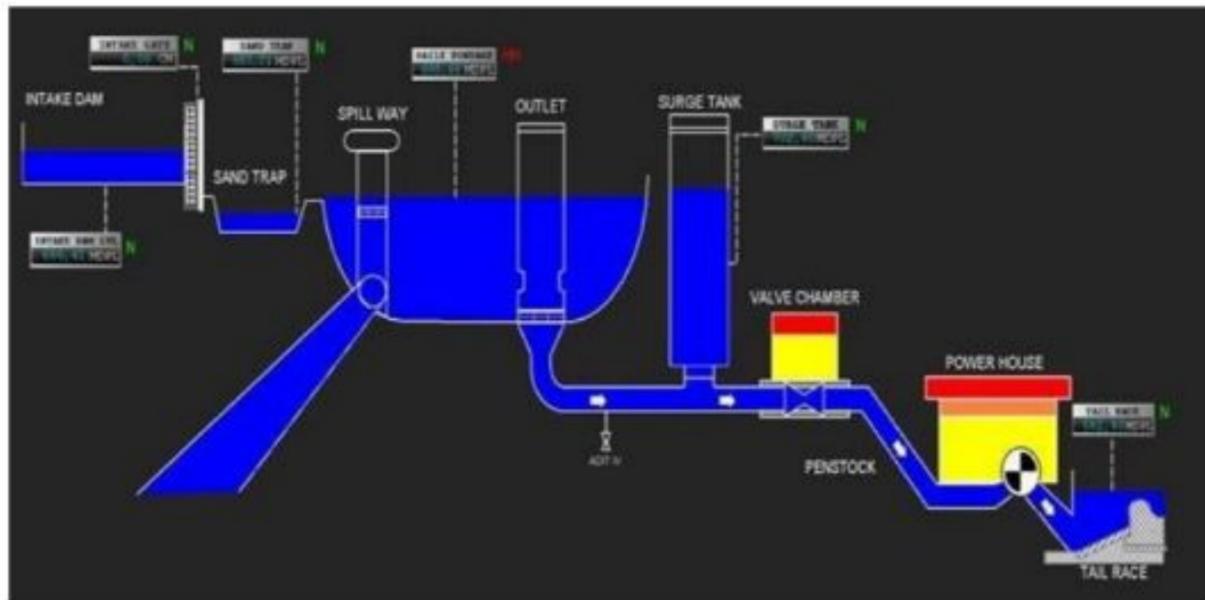
Governor adalah suatu alat yang berfungsi mengatur putaran turbin tetap konstan walaupun kondisi beban berbeda-beda. Governor terdiri dari motor pendulum, servo motor, dll dapat dilihat pada gambar 1.20. Governor terbagi menjadi tiga jenis yaitu : Governor digital, Governor mekanik dan Governor automatic. Governor yang digunakan di PLTA Batang Agam adalah governor automatic.



Gambar 1. 20 Governor PLTA Batang Agam  
tampak dalam, (b) tampak luar

#### 6. Prinsip Kerja PLTA Batang Agam

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Batang Agam beroperasi dengan memanfaatkan air yang bersumber dari Sungai Batang Agam bisnis PLTA Batang Agam dapat dilihat pada gambar 1.21. Air sungai batang agam dialirkan dari intake weir menuju kolam pasir. Dikolam pasir, air sungai batang agam akan diendapkan dan nantinya di kuras sesuai jadwalnya. Kemudian air akan ditampung dan dikumpulkan terlebih dahulu di kolam tando, sebelum dialirkan ke Power House. Air yang dikumpulkan di kolam tando berfungsi untuk memenuhi pasokan air saat unit beroperasi full pada saat beban puncak dari jam 18.00 wib s/d 21.00 WIB. Hal ini dilakukan karena jika hanya memanfaatkan debit langsung dari sungai batang agam, maka tidak akan cukup untuk mengoperasikan 3 unit secara full. Namun ketika jumlah debit air meningkat dikarenakan faktor alam, misalnya hujan maka ketiga generator sepenuhnya akan digunakan melihat jumlah debit air yang sangat tinggi.



Gambar 1. 21 Konsep bisnis PLTA Batang Agam

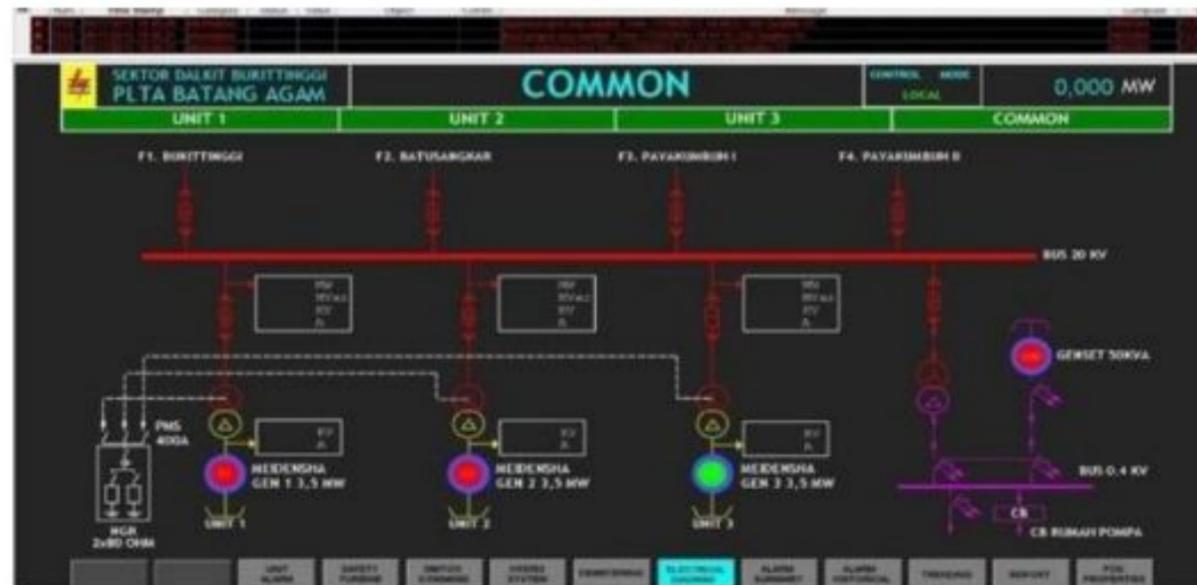
Air dari kolam tando dialirkan melalui terowongan yang terbuat dari pipa steel liner yang dilengkapi dengan Surge Tank dan Safety Butterfly Valve. Kemudian air tersebut diterjunkan melalui pipa pesat (Penstock) dengan kemiringan  $70^\circ$  dan memiliki panjang 240 m. Untuk memutar 3 unit turbin, sesampai di *Power House*, *Penstock* tadi dibagi menjadi 3 untuk masing – masing unit yang dilengkapi dengan katup utama (*Inlet Valve*).

*Inlet valve* tersebut berfungsi sebagai katup utama membuka dan menutup arah aliran air menuju spiral casing, namun sebelum inlet valve itu terlebih dahulu membuka katup by pass valve yang berguna untuk menyamakan tekanan di daerah up stream dengan down stream supaya dapat mencegah jaman sampai mengakibatkan spiral casing rusak apabila inlet valve di buka. Setelah inlet valve terbuka maka air akan mengalir ke spiral casing dan langsung masuk kedalam sudu tetap, dimana aliran air masuk untuk memutar runner diatur oleh sudu atur (guide vane), dan memutar runner sampai mencapai 750 rpm. Dan air yang memutar runner langsung menuju draft band dan mengalir menuju tail race.

Pada putaran turbin mencapai 750 rpm, generator akan bereaksi dengan mengeluarkan tegangan 6,3 KV, generator bisa mengeluarkan tegangan itu karena shaft yang ada pada turbin seporos dengan shaft generator yang mengakibatkan generator juga akan ikut berputar.

## 7. Single Line Diagram PLTA Batang Agam

Single line diagram merupakan diagram feeder/pengeluaran daya dari Batang Agam ,yang di salurkan untuk empat wilayah dapat dilihat pada gambar 1.22. PLTA Batang Agam terdiri dari 3 unit yang masing-masingnya menghasilkan daya sebesar 3,5 MW dan terhubung dengan bus 20kV.



Gambar 1. 22 Single Line Diagram PLTA Batang Agam

Sistem pembangkit ini menyuplai 4 feeder yaitu feeder Bukittinggi, Situjuh, Payakumbuh dan Batu Hampar. Sistem kelistrikan pada rumah pembangkit ini disuplai dari tegangan bus 20kV, namun pada kondisi tidak bertegangan rumahpembangkit ini akan menggunakan sumber generator set yang berkapasitas 50kVA sebagai sumber cadangan.

## 8. Visi, Misi dan Motto

Berikut ini adalah Visi, Misi dan Motto PT. PLN (Persero) UIK SUMBAGSEL UPGDK Bukittinggi Unit PLTA Batang Agam.

### a. Visi

Diakui sebagai perusahaan kelas dunia yang bertumbuh-kembang, unggul, dan terpercaya dengan bertumpu pada potensi insani.

### b. Misi

1) Menjalankan bisnis kelistrikan dan bidang lain yang terkait, seperti

berorientasi pada kepuasan pelanggan, anggota perusahaan, dan pemegang saham.

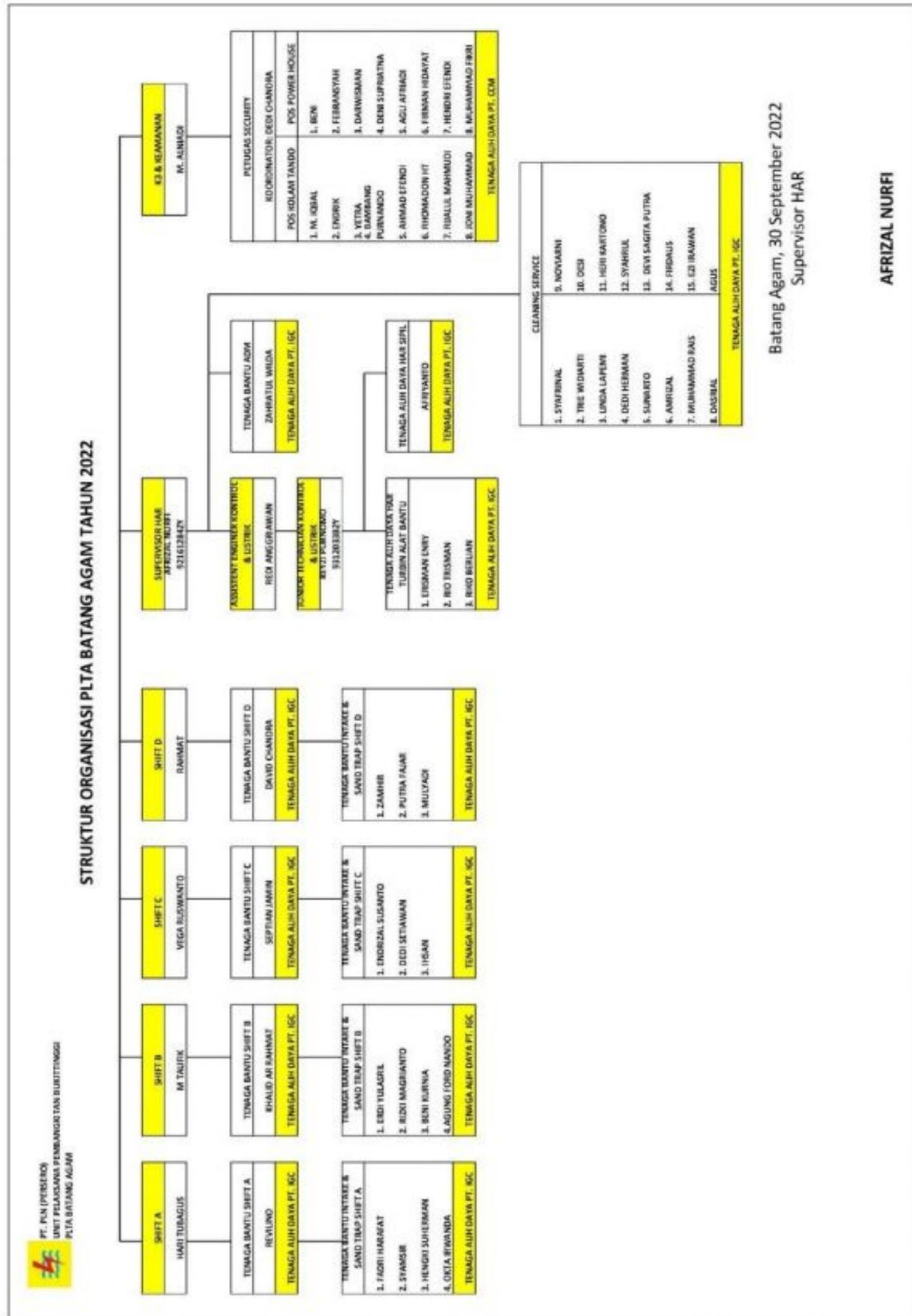
- 2) Menjadikan tenaga listrik sebagai media untuk meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat.
- 3) Mengupayakan agar tenaga listrik pendorong kegiatan ekonomi.
- 4) Menjalankan kegiatan usaha yang berwawasan lingkungan.

c. Motto

*“Electric For A Better Life”*.

Energi kami untuk kehidupan yang lebih baik.

9. Struktur Organisasi



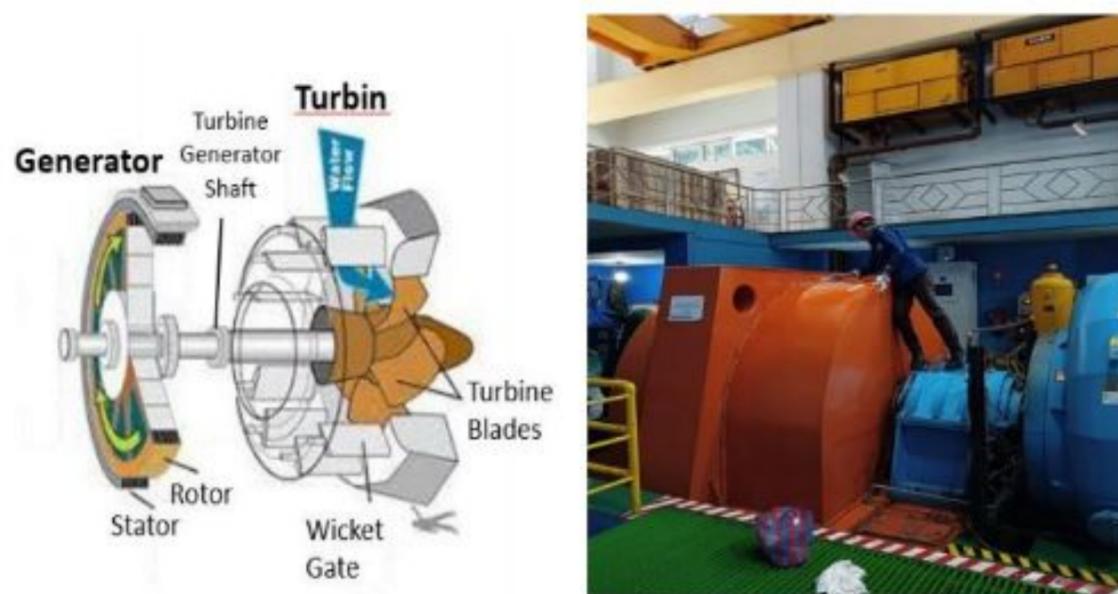
Gambar 1. 23 Struktur Organisasi PLTA Batang Agam

## BAB II PEMBAHASAN

### A. Generator Sinkron

Generator Sinkron merupakan mesin listrik atau alat yang dimanfaatkan sebagai mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik yang akan disalurkan ke beban. Generator sinkron memiliki jumlah putaran rotor dan jumlah putaran pada bagian medan magnet stator sama. Kecepatan pada generator dapat dihasilkan dengan kecepatan putaran suatu rotor dengan kutub-kutub magnet yang sinkron dengan medan magnet pada stator. Pada generator sinkron bagian kumparan medan terletak pada rotornya dan kumparan jangkar terletak pada stator.

#### 1. Generator Sinkron Sebagai Pembangkit Listrik



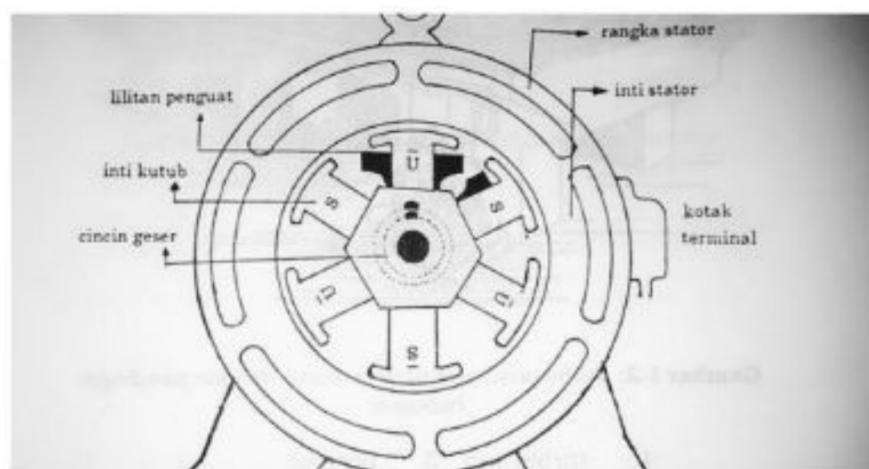
Gambar 2. 1 Hubungan generator dan turbin pada PLTA

Pada PLTA suatu generator dapat bergerak yang mana dibantu oleh tenaga air. Pada PLTA air yang sudah ditampung pada sebuah kolam penampung, atau waduk disalurkan menggunakan pipa penghubung ke turbin yang disebut dengan Penstock sehingga membuat turbin dapat berputar. Turbin dan generator berada dalam satu shaft melalui bearing sebagai pengaman antara keduanya, apabila turbin mengakibat bagian pada rotor generator juga ikut berputar, sehingga terjadi pergerakan elektron

yang membangkitkan arus searah pada bagian kumparan jangkar generator.

## 2. Kontruksi Generator Sinkron

Generator sinkron mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik AC secara elektromagnetik. Energi mekanik berasal dari penggerak mula yang memutar rotor, sedangkan energi listrik dihasilkan dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan-kumparan stator. Pada gambar berikut dapat dilihat bentuk sederhana dari sebuah generator sinkron.



Gambar 2. 2 Bentuk Sederhana Generator Sinkron

Sumber : <https://slametumy.files.wordpress.com/2014/03/chapter-ii-generator-sinkron.pdf>

Secara umum generator sinkron terdiri atas stator, rotor, dan celah udara bagian yang berputar. Celah udara adalah ruang antara stator dan rotor. Pada bagian ini akan dibahas mengenai konstruksi generator sinkron secara garis besar. Bagian-bagian generator yang dibahas pada bagian ini antara lain Stator dan Rotor.

### a. Stator

Stator (*armature*) adalah bagian yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui stator. Komponen ini berbentuk sebuah rangka silinder dengan lilitan kawat. Stator terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

- 1) Rangka stator merupakan rumah kerangka yang menyangga inti jangkar generator
- 2) Inti Stator Inti stator terbuat dari laminasi-laminasi campuran atau besi magnetik khusus terpasang ke rangka stator.
- 3) Alur (slot) dan Gigi Alur dan gigi merupakan tempat meletakkan kumparan stator. Ada 3 (tiga) bentuk alur stator yaitu terbuka, setengah terbuka, dan tertutup.
- 4) Kumparan Stator (Kumparan Jangkar), biasanya terbuat dari tembaga kumparan ini merupakan tempat timbulnya ggl induksi.

b. Rotor

Pada rotor generator terdapat kumparan jangkar yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik yang disalurkan melalui komutator. Sumber listrik yang dihasilkan komutator dikeluarkan melalui sikat (brush). Rotor terdiri dari tiga komponen utama yaitu:

- 1) *Slip ring* merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Terminal kumparan rotor dipasang ke slip ring ini kemudian dihubungkan ke sumber arus searah melalui sikat (brush) yang letaknya menempel pada slip ring.
- 2) Kumparan Rotor (Kumparan Medan) merupakan unsur yang memegang peranan utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumparan ini mendapat arus searah dari sumber eksitasi tertentu.
- 3) Poros Rotor merupakan tempat meletakkan kumparan medan, dimana pada poros rotor tersebut telah dibentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor.

3. Prinsip kerja Generator Sinkron

Adapun prinsip kerja dari generator sinkron secara umum adalah :

- a. Kumparan medan yang 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.

- b. Penggerak mula (*Prime Mover*) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya.
- c. 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.

Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut. 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  $120^\circ$  satu sama lain. Setelah itu ketiga terminal kumparan jangkar siap dioperasikan untuk menghasilkan energi listrik.

## **B. Sistem Eksitasi**

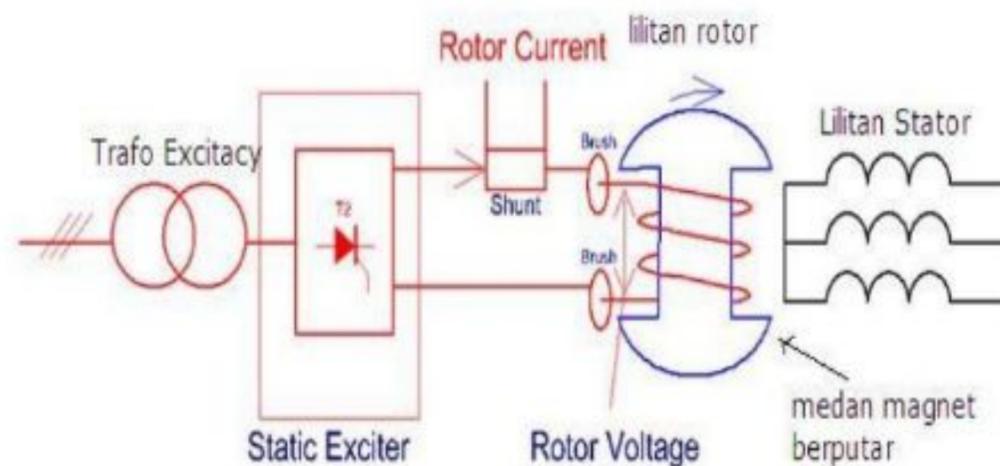
### **1. Definisi Sistem Eksitasi**

Sistem eksitasi adalah sistem pasokan listrik DC sebagai penguatan pada generator listrik atau sebagai pembangkit medan magnet pada rotor, sehingga suatu generator dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasinya. Sistem ini merupakan sistem yang vital pada proses pembangkitan listrik dan pada perkembangannya, sistem Eksitasi pada generator listrik ini dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu sistem Eksitasi dengan menggunakan sikat (*brush excitation*) dan sistem Eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*).

#### **a. Sistem Eksitasi dengan menggunakan sikat (*brush excitation*)**

Pada Sistem Eksitasi menggunakan sikat, sumber tenaga listriknya berasal dari generator arus searah (DC) atau generator arus bolak balik (AC) yang disearahkan terlebih dahulu dengan menggunakan rectifier.

Jika menggunakan sumber listrik yang berasal dari generator AC atau menggunakan Permanent Magnet Generator (PMG) medan magnetnya adalah magnet permanent. Dalam lemari penyearah, tegangan listrik arus bolak balik diubah atau disearahkan menjadi tegangan arus searah untuk mengontrol kumparan medan eksiter utama (main exciter). Untuk mengalirkan arus eksitasi dari main exciter ke rotor generator menggunakan slip ring dan sikat arang, demikian juga penyaluran arus yang berasal dari *pilot exciter* ke *main exciter*.



Gambar 2. 3 Bentuk Rangkaian *brush excitation*

Sumber : <https://bangunpane.blogspot.com/2014/05/sistem-eksitasi.html>

b. Sistem Eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*)

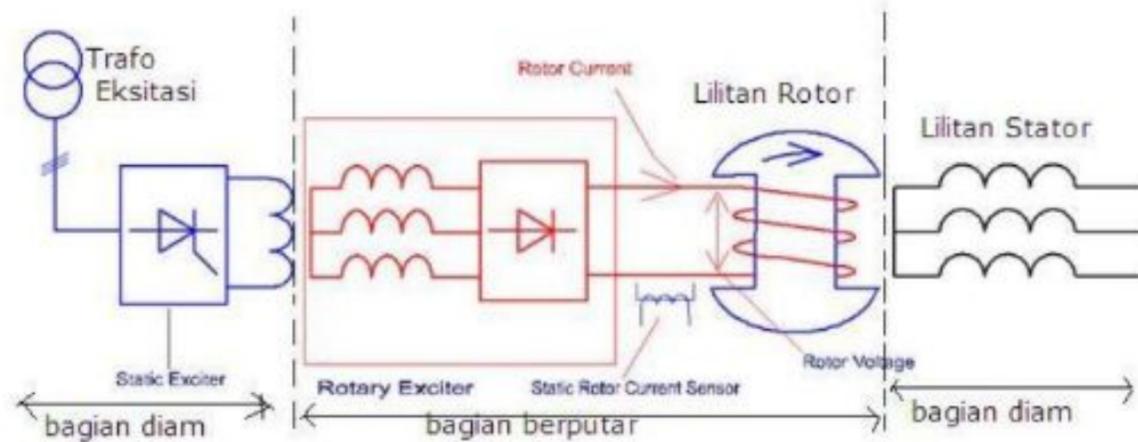
Penggunaan sikat atau slip ring untuk menyalurkan arus eksitasi ke rotor generator mempunyai kelemahan karena besarnya arus yang mampu dialirkan pada sikat arang relatif kecil. Untuk mengatasi keterbatasan sikat arang, digunakan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (*brushless excitation*).

Keuntungan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (*brushless excitation*), antara lain adalah:

- 1) Energi yang diperlukan untuk Eksitasi diperoleh dari poros utama (*main shaft*), sehingga keandalannya tinggi.
- 2) Biaya perawatan berkurang karena pada sistem Eksitasi tanpa sikat

(*brushless excitation*) tidak terdapat sikat, komutator dan *slip ring*.

- 3) Pada sistem Eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*) tidak terjadi kerusakan isolasi karena melekatnya debu karbon pada farnish akibat sikat arang.
- 4) Mengurangi kerusakan (trouble) akibat udara buruk (bad atmosfere) sebab semua peralatan ditempatkan pada ruang tertutup.
- 5) Selama operasi tidak diperlukan pengganti sikat, sehingga meningkatkan keandalan operasi dapat berlangsung terus pada waktu yang lama.



Gambar 2. 4 Bentuk Rangkaian brushless excitation

Sumber : <https://bangunpane.blogspot.com/2014/05/sistem-eksitasi.html>

## 2. Fungsi Sistem Eksitasi

Sistem eksitasi mempunyai berbagai fungsi. Fungsi tersebut antara lain:

- a. Mengatur tegangan keluaran generator agar tetap konstan (stabil).
- b. Mengatur besarnya daya reaktif.
- c. Mempertinggi kapasitas daya pemuatan (charging capacity) saluran transmisi tanpa beban dengan mengendalikan eksitasi.
- d. Menekan kenaikan tegangan pada pelepasan beban (load rejection).
- e. Karena mempunyai fungsi seperti diatas maka sistem eksitasi harus mempunyai sifat antara lain :
- f. Mudah dikendalikan.
- g. Dapat mengendalikan dengan stabil/sifat pengendalian stabil.
- h. Mempunyai respon/tanggapan yang cepat.

- i. Tegangan yang dikeluarkan harus sama dengan tegangan yang diinginkan.

### **C. AVR (*Automatic Voltage Regulator*)**

*Automatic Voltage Regulator* (AVR) adalah sebuah divais pengatur tegangan yang digunakan pada generator sinkron untuk menyetabilkan tegangan keluaran yang dihasilkan. Dalam sistem pembangkit, karena adanya permintaan beban yang selalu berubah - ubah maka dibutuhkan suatu alat yang dapat menstabilkan output tegangan dan frekuensi yaitu AVR.

#### 1. Fungsi AVR

Berikut ini merupakan beberapa fungsi dan peranan AVR dalam sistem pembangkit listrik :

- a. Mengatur tegangan terminal.
- b. Mengatur pembagian daya reaktif saat beroperasi secara paralel.
- c. Menjaga kesetabilan tegangan keluaran yang dihasilkan generator.
- d. Memberikan pengaturan arus eksitasi dalam kondisi gangguan supaya tidak keluar dari sinkronisasi.
- e. Menurunkan tegangan dengan cepat apabila generator terlepas dari beban yang akan mengakibatkan terjadinya over voltage.

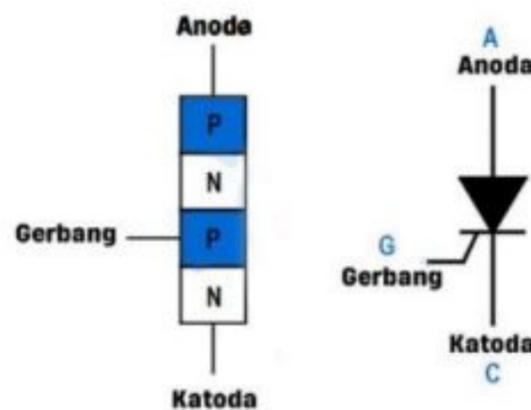
#### 2. Prinsip Kerja AVR

AVR merupakan alat bantu untuk mengendalikan besarnya eksitasi medan DC yang dicatukan pada generator. Apabila tegangan terminal generator turun karena perubahan beban, AVR secara otomatis menaikkan pembangkitan medan sehingga tegangan kembali normal. Sebaliknya, apabila tegangan terminal naik karena perubahan beban, AVR mengembalikan nilai tegangan normalnya dengan mengurangi eksitasi medan. Hampir semua pengatur tegangan mengendalikan eksitasi medan generator secara tak langsung yaitu dengan mengoperasikan rangkaian pengeksitasi medan. Arus yang harus ditangani oleh AVR jauh lebih kecil dalam rangkaian medan pengeksitasi daripada dalam rangkaian medan generator.

#### D. Thyristor

Thyristor merupakan bahan semikonduktor yang terdiri dari 4 lapisan yang berupa susunan P-N-P-N junction, sehingga thyristor disebut juga sebagai PNPN diode. Struktur dasar thyristor adalah struktur 4 layer PNPN seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.

Sebuah thyristor dapat bekerja dan dapat disimulasikan terdiri dari sebuah resistor  $R_{on}$ , Sebuah induktor  $L_{on}$ , sebuah sumber tegangan DC  $V$  yang terhubung seri dengan *Switch* (SW). SW dikontrol oleh signal Logic yang bergantung pada tegangan  $V_{ak}$ , arus  $I_{ak}$  dan *signal Gate* (G).



Gambar 2. 5 thyristor

Sumber : <https://www.kelasplc.com/thyristor>

##### 1. Fungsi Thyristor

Berikut ini adalah beberapa fungsi dari Thyristor dalam rangkaian listrik, yaitu sebagai berikut :

- a. Sebagai penyearah.
- b. Untuk mengubah daya.
- c. Digunakan untuk kontrol cahaya.
- d. Mengontrol frekuensi dan kecepatan.
- e. Digunakan untuk memanipulasi robot.
- f. Digunakan untuk mengontrol suhu atau temperatur.

##### 2. Prinsip Kerja Thyristor

Prinsip kerja thyristor tidak jauh berbeda dengan saklar sehingga thyristor sering disebut juga dengan saklar. Prinsip kerja thyristor adalah

sebagai berikut. (Struktur, Karakteristik dan Aplikasi Thyristor. 2015. halaman 1-4)

- a. Arus listrik harus di-input ke terminal gate, agar dapat mengaktifkan thyristor. Thyristor dalam keadaan konduksi atau *on* setelah menerima sinyal dari *gate*.
- b. Dalam kondisi *on*, ketika terminal gate akan mulai kehilangan kontrol, maka seluruh induksi tegangan sudah terkendali secara internal.
- c. Meskipun arus terputus di terminal gate thyristor kondisinya akan tetap aktif. Kemudian tegangan harus diterapkan ke titik semula atau 0. Jika arus listrik ingin kembali ditempatkan pada posisi *off*.

### 3. Karakteristik Thyristor

Thyristor memiliki 3 buah karakteristik yaitu, sebagai berikut :

#### a. *Reverse Blocking*

Kondisi pertama adalah kondisi thyristor dalam keadaan *reserve blocking* atau tegangan balik. Kondisi ini terjadi ketika alat tersebut melakukan penutupan terhadap arus listrik yang mengalir pada rangkaian. Jadi ketika arus listrik mengalir pada arah tertentu, salah satu arahnya akan terblokir. Lalu kondisi ini disebut sebagai bias balik atau *reserve blocking*.

#### b. *Forward Blocking*

*Forward blocking* atau tegangan maju. Kondisi ini terjadi pada saat rangkaian listrik mengalami tegangan maju, maka secara otomatis arus maju tersebut akan diblokir. Kemudian gerbang gate juga tidak akan terstimulasi sehingga thyristor akan tetap dalam kondisi *off* atau mati.

#### c. *Conducting*

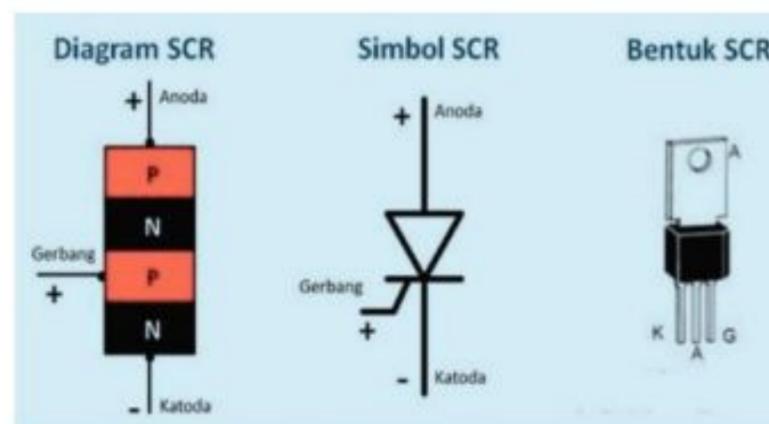
Kondisi ini terjadi ketika terminal gate mendapatkan stimulasi, maka hal ini akan menyebabkan thyristor berada pada kondisi *on*. Ketika sudah *on*, maka alat tersebut akan terus aktif. Untuk mengubahnya menjadi *off* yaitu dengan tetap membiarkan thyristor sampai arus listrik mencapai batas minimal yaitu titik 0.

#### 4. Jenis-Jenis Thyristor

Thyristor dibedakan menjadi beberapa macam jenis. Dimana masing-masing jenisnya memiliki mekanisme kerja yang berbeda-beda. Berikut ini adalah jenis-jenis thyristor :

##### a. *Silicon Controlled Rectifier* (SCR)

SCR merupakan salah satu jenis thyristor yang berfungsi sebagai pengendali. SCR tersusun dari 3 komponen katoda, anoda dan terminal gate. Pada SCR, terminal gate yang terbuat dari perpaduan antara kutub positif dan negatif akan berfungsi sebagai pengendali. Apabila terminal gate dialiri dengan arus listrik, maka elektron dapat mengalir dari anoda ke katoda. Bentuk, struktur dan simbol dari SCR dapat diperhatikan pada gambar berikut.



Gambar 2. 6 Diagram, simbol dan bentuk SCR

Sumber : <https://thecityfoundry.com/>

Prinsip kerja SCR yaitu untuk mengalirkan arus dari anoda ke katoda. Berikut cara kerja dari SCR. (*Silicon Controlled Rectifier* (SCR). 2015. 1-4)

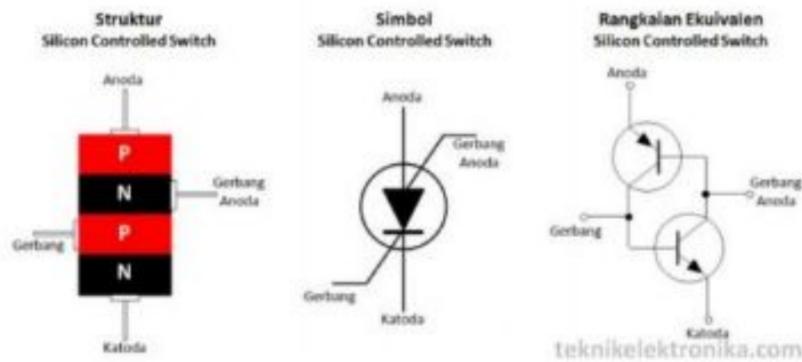
- 1) SCR dapat bekerja dengan mengaktifkan arus listrik agar masuk melalui terminal gate. Arus listrik ini akan masuk melalui tahanan, kemudian memicu *trigger*.
- 2) Kondisi *trigger* akan membuat tegangan yang semula PNP (Positif Negatif Positif Negatif) akan diubah menjadi PN. Ketika arus melalui terminal gate kemudian memicu *trigger*, maka

otomatis SCR akan aktif dan menghubungkan terminal anoda dan katoda.

- 3) SCR tetap on meskipun *trigger* dilepas.
- 4) Untuk dapat menonaktifkannya, maka arus yang berasal dari anoda ke katoda harus disetting agar berada dalam titik nol (*holding current*). Ketika dalam kondisi holding current, maka SCR akan *off*.

b. *Silicon Controlled Switch (SCS)*

SCS merupakan jenis thyristor yang memiliki 4 buah kaki terminal, yaitu terminal gate, anoda gate, anoda dan katoda. Bentuk, struktur dan simbol dari SCS dapat diperhatikan pada gambar berikut.

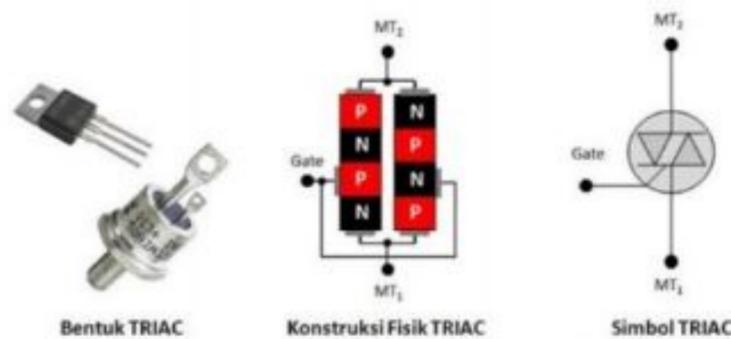


Gambar 2. 7 Diagram, simbol dan bentuk SCS

Sumber : <https://teknikelektronika.com/>

c. *Triode From Alternating Current (TRIAC)*

TRIAC memiliki 3 buah kaki terminal yaitu MI1, MI2, dan gate. Bentuk, struktur dan simbol dari TRIAC dapat diperhatikan pada gambar berikut.

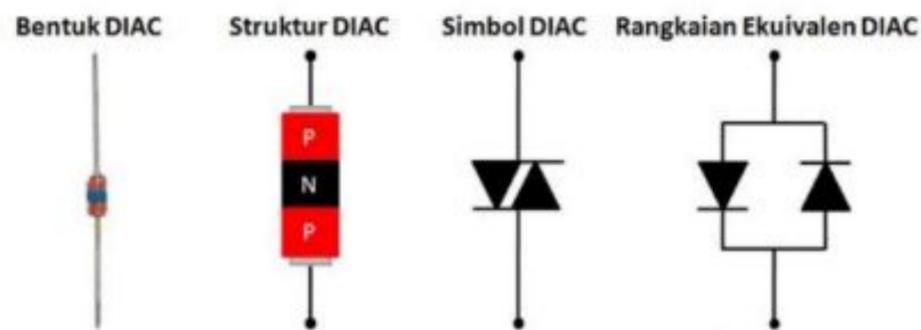


Gambar 2. 8 Diagram, simbol dan bentuk TRIAC

Sumber : <https://www.kelasplc.com/>

d. *Diode Alternating Current (DIAC)*

DIAC dikenal juga dengan *Bidirectional Thyristor* karena DIAC hanya memiliki 2 buah kaki terminal saja. Bentuk, struktur dan simbol dari DIAC dapat diperhatikan pada gambar berikut.



Gambar 2. 9 Bentuk, struktur dan simbol DIAC

Sumber : <https://www.kelasplc.com/>

**E. Komponen Utama pada Sistem Eksitasi PLTA Batang Agam**

Berikut ini adalah komponen-komponen yang terdapat pada Sistem Eksitasi Plta Batang Agam :

1. Baterai

Sumber daya DC pada PLTA Batang Agam diperoleh dari beberapa sel baterai yang disusun secara seri. Baterai yang terdapat pada PLTA Batang Agam sebanyak 84 unit baterai aki dan 54 baterai kering, fungsi dari baterai tersebut sebagai sebagai sistem eksitasi awal dengan menggunakan tegangan 110 VDC sebelum generator utama dapat menghasilkan tegangan keluaran. Baterai ini selalu dalam keadaan standby ke rangkaian eksitasi dengan sebuah pemutus. Saat unit start awal dan turbin telah mencapai kecepatan 95% dari kecepatan putaran maksimal, sekitar 750 rpm baterai ini digunakan untuk sistem eksitasi awal dan digantikan dengan sistem eksitasi statik saat unit telah mencapai tegangan kerjanya.



Gambar 2. 10 Ruang Baterai

Baterai yang terpasang pada pembangkit listrik ini juga digunakan sebagai suplai bagi relai proteksi, sumber tegangan pada lampu yang dipakai pada ruang kontrol dan ruang mesin pembangkit, penerangan darurat, serta untuk menyuplai daya yang digunakan untuk peralatan telekomunikasi di PLTA Batang Agam pada saat mesin tidak beroperasi atau tidak menghasilkan listrik. Untuk menjaga agar peralatan seperti relai proteksi, lampu-lampu serta peralatan telekomunikasi tetap berfungsi, maka baterai harus mampu untuk menyuplai daya ke peralatan tersebut meski dalam keadaan tanpa charger maupun dalam keadaan blackout.

## 2. AVR (*Automatic Voltage Regulator*)

AVR memiliki peranan penting dalam sistem eksitasi PLTA Batang Agam, dikarenakan AVR merupakan suatu alat yang mengatur output tegangan dari generator. Ketika tegangan generator dibawah nominalnya maka AVR akan memperbesar arus penguatan (*excitacy*) pada eksiter. Begitupun sebaliknya, apabila output tegangan generator melebihi tegangan nominal generator maka AVR akan mengurangi arus penguatan (*excitacy*) pada eksiter. Kesimpulannya AVR-lah yang akan menstabilkan output tegangan dari generator secara otomatis. Pada prinsipnya AVR akan mengatur arus penguatan (*excitacy*) pada eksiter. Berikut ini adalah gambar AVR yang ada di PLTA Batang Agam.

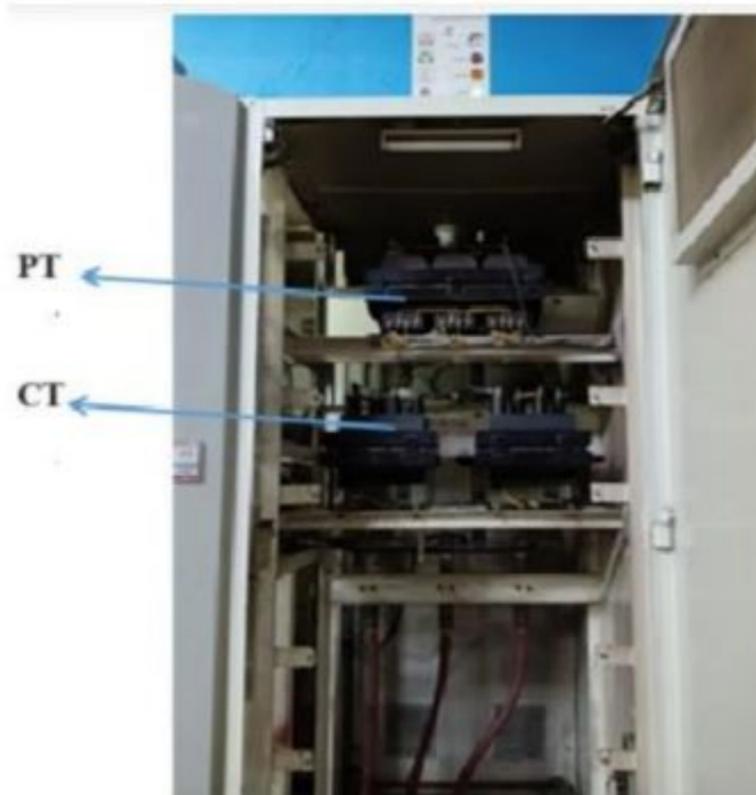


Gambar 2. 11 AVR Unit 2

3. *PT (Potensial Transformer)* dan *CT (Current Transformer)*

Pada sistem eksitasi fungsi dari Potensial Transformer (PT) dan Current Transformer (CT) sebagai sensor pada terminal output generator yang kemudiann dikirimkan keperangkat sistem AVR, untuk mengatur output generator agar sesuai dengan keluaran yang seharusnya.

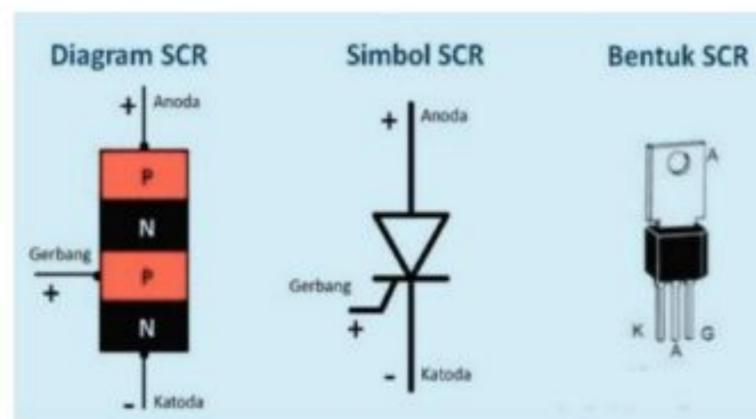
Berikut ini adalah gambar PT dan CT yang ada di PLTA Batang Agam :



Gambar 2. 12 PT & CT Unit 2

#### 4. SCR (*Silicon Controlled Rectifier*)

SCR merupakan peralatan yang berfungsi untuk menyalurkan tegangan 3 fasa keluaran dari trafo eksitasi dari 110 VAC menjadi 110 VDC. Tegangan 110 VDC inilah yang digunakan sebagai sumber arus eksitasi pada generator sinkron di PLTA Batang Agam. Dengan menggunakan penyearah thyristor, maka besarnya arus eksitasi dapat diatur dengan cara mengatur sudut penyalan thyristor. Tegangan yang telah disalurkan oleh SCR ini yang kemudian akan mengalirkan tegangan listrik ke generator melalui *carbon brush* dan *slip ring*.

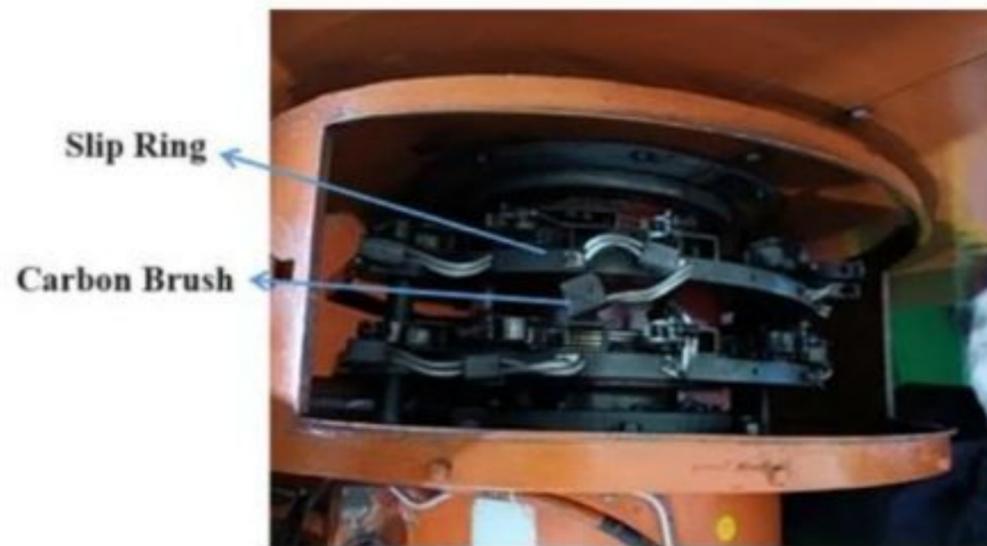


Gambar 2. 13 SCR

Sumber : <https://thecityfoundry.com/scr-silicon-controlled-rectifier/>

#### 5. *Carbon Brush* dan *Slip Ring*

*Carbon brush* berfungsi untuk meneruskan arus listrik dari baterai atau tegangan dari trafo eksitasi yang sudah disalurkan terlebih dahulu oleh SCR menuju ke rotor melalui *slip ring*. *Slip ring* sendiri merupakan komponen yang dipasang pada ujung poros alternator yang terhubung pada ke dua ujung kumparan rotor. Sehingga saat *carbon brush* menempel pada *slip ring* maka arus listrik akan tersalur ke rotor. Pada bagian belakang carbon brush kerap dipasang pegas yang berfungsi untuk menekan *carbon brush* agar selalu menempel erat pada *slip ring*. Dengan begitu, maka arus listrik yang mengalir dari baterai atau trafo eksitasi bisa terus mengalir ke rotor dengan sempurna.



Gambar 2. 14 *Slip Ring & Carbon Brush*

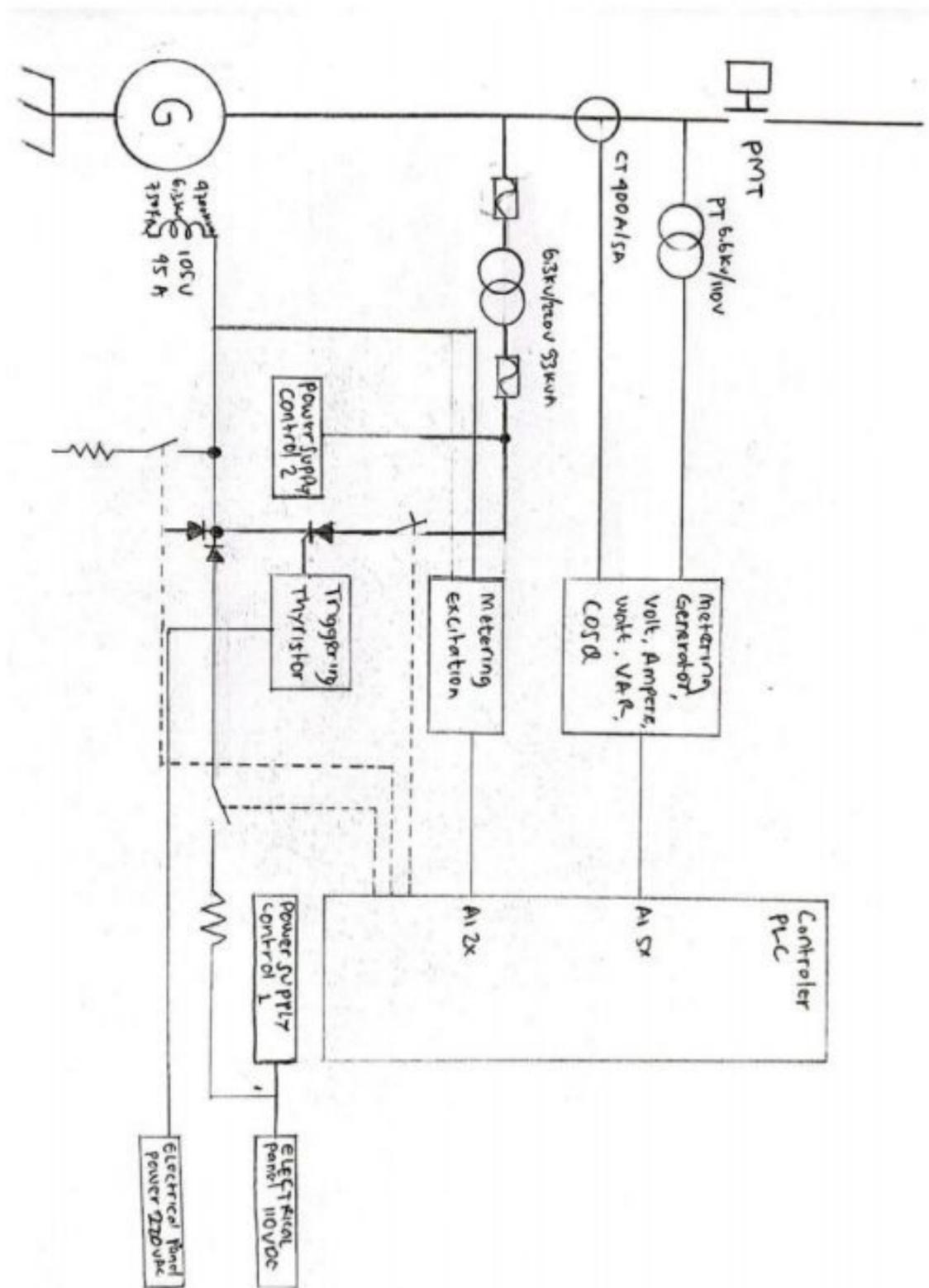
#### **F. Pengaruh Beban Terhadap Sistem Eksitasi**

Pada generator sinkron terdapat 2 keadaan dalam beroperasi yaitu Generator beroperasi dalam keadaan beban nol atau tanpa beban dan dalam keadaan berbeban. Pada keadaan tanpa beban, tidak ada arus yang mengalir pada kumparan jangkar stator, yang terdapat pada celah udara hanya fluksi arus medan rotor. Pada keadaan generator beroperasi dalam keadaan berbeban dimana arus jangkar mengalir dan membentuk fluksi jangkar. Hal ini mempengaruhi fluksi medan yang akan mengakibatkan harga terminal pada generator sinkron dapat berubah.

##### **1. Analisa dan Pembahasan Sistem Eksitasi PLTA Batang Agam**

Pada PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangunan Bukittinggi PLTA Batang Agam terdapat 3 unit pembangkit listrik menggunakan generator sinkron AC 3 fasa sebagai pembangkit listrik, dan setiap unit pembangkit menggunakan sistem eksitasi yang digunakan adalah sistem eksitasi tipe statik, sistem ini menggunakan generator utama sebagai pemasok tegangan DC yang di step down menggunakan trafo eksitasi lalu disearahkan menggunakan reactifier. Sebelum generator utama dapat menghasilkan tegangan, digunakan baterai sebagai pemasok awal tegangan DC, sampai generator dapat menghasilkan tegangan output sendiri. Berikut dibawah ini merupakan gambar single line diagram Sistem Eksitasi PLTA Batang

Agam. Single line diagram sistem eksitasi PLTA Batang Agam dapat dilihat pada gambar 2. 15 berikut.

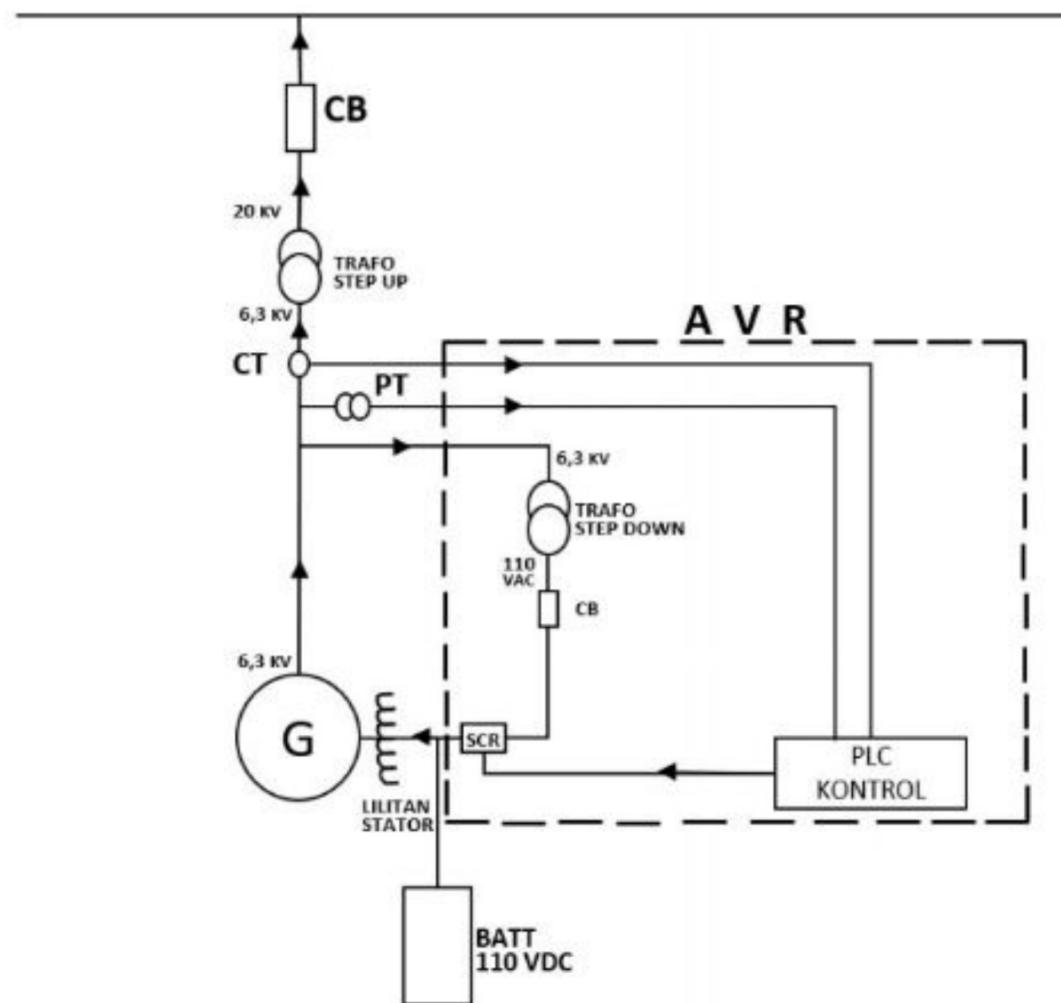


Gambar 2. 15 Singel Line Diagram Sistem Eksitasi PLTA Batang Agam

## 2. Proses Eksitasi pada PLTA Batang Agam

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Batang Agam beroperasi dengan memanfaatkan air yang bersumber dari Sungai Batang Agam. Air

sungai batang agam dialirkan dari *intake weir* menuju kolam pasir. Dikolam pasir, air sungai batang agam akan diendapkan. Kemudian air akan ditampung dan dikumpulkan terlebih dahulu di kolam tando, sebelum dialirkan ke *Power House*. Rangkaian sistem eksitadi dapat kita perhatikan pada gambar 2. 16 berikut.



Gambar 2. 16 Proses Sistem Eksitasi

Generator sinkron akan menghasilkan output berupa energi listrik ketika memiliki medan magnet berputar pada rotor sehingga dapat menginduksikan kumparan stator sesuai dengan hukum faraday. Pada saat rotor berputar dalam kondisi start awal, medan magnet putar dalam rotor belum terbangkitkan. Untuk membangkit medan magnet putar dalam rotor diperlukan suplai dari sumber arus searah atau DC. Rotor disuplai tegangan DC dari baterai dengan tegangan sebesar 110 VDC. Akan tetapi baterai tidak akan langsung mensuplai tegangan ketika turbin dan rotor telah berputar.

Pada sistem eksitasi PLTA Batang Agam baterai dapat mensuplai tegangan ketika turbin telah mencapai kecepatan putar 95% dari kecepatan maksimal atau sekitar 750 rpm, barulah baterai dapat mensuplai tegangan sebesar 110 VDC. Tegangan dari baterai akan membangkitkan medan magnet pada rotor dan akan menginduksi kumparan stator, sehingga generator menghasilkan *output* sebesar  $\pm 6,3$  kV dengan daya  $\pm 10,5$  MW. Ketika kecepatan turbin mencapai kecepatan nominal dan generator sudah mencapai tegangan nominalnya, suplai baterai ke kumparan rotor akan diputus dan digantikan dengan sistem eksitasi yang menggunakan output dari generator itu sendiri.

Setelah suplai baterai diputus, generator utama menghantarkan tegangan ke trafo eksitasi. Trafo eksitasi yang digunakan adalah trafo step down yang berfungsi menurunkan tegangan dari output generator. Setelah tegangan output generator diturunkan, output dari trafo eksitasi tersebut akan diserahkan oleh SCR (*Silicon Controlled Rectifier*). SCR akan konduksi atau *ON* apabila kaki gate pada SCR ditrigger oleh arus gate. Komponen yang berperan dalam menyuplai dan mengatur arus gate adalah AVR (*Average Voltage Regulation*). AVR berfungsi mengatur tegangan output dari generator secara otomatis agar tetap konstan pada tegangan yang seharusnya dengan mengatur arus gate pada SCR. AVR juga dilengkapi dengan sensor arus dan tegangan yaitu *Current Transformer* (CT) dan *Potential Transformer* (PT). CT dan PT berfungsi sebagai sensor pada terminal output tegangan generator yang kemudian dikirimkan ke perangkat AVR.

Berawal dari CT dan PT inilah AVR dapat melaksanakan tugasnya sebagai pengatur tegangan output dari generator. Melalui sistem AVR ini arus yang melewati SCR akan diatur, apabila CT dan PT memberikan informasi ke AVR bahwa tegangan *output* dari generator lebih rendah dari yang seharusnya maka sistem AVR akan menstabilkan dengan memperbesar arus eksitasi yang dikeluarkan eksiter. Sebaliknya, apabila terjadi kelebihan tegangan *output* dari generator AVR nantinya menstabilkan dengan memperkecil arus eksitansinya. Suplai tegangan DC

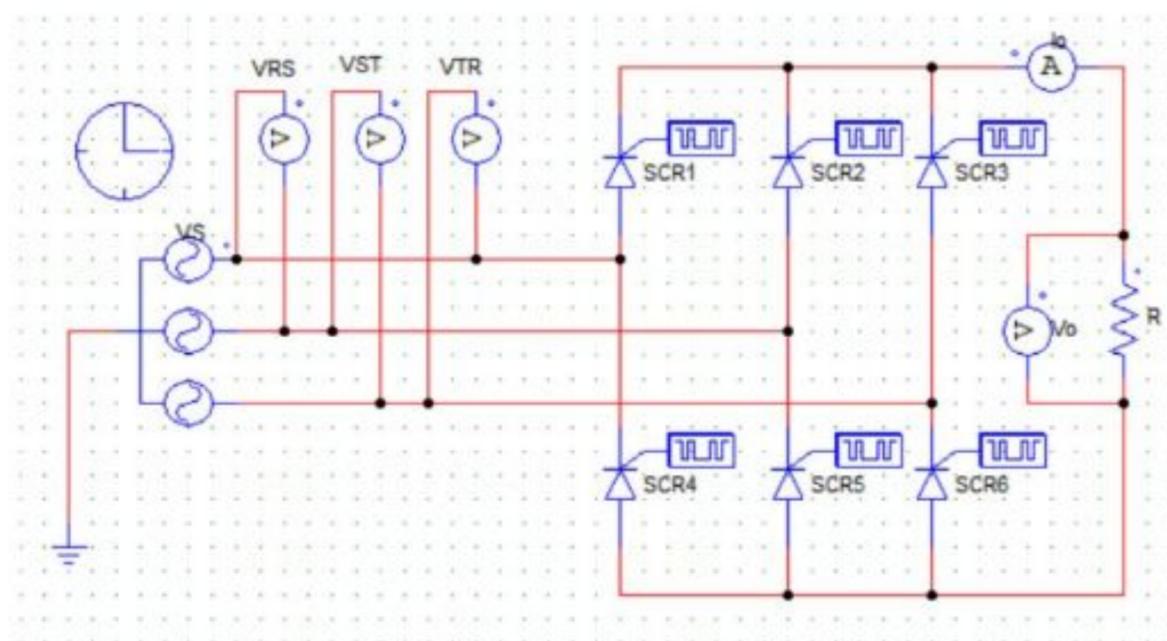
dari sistem eksitasi yang akan dikirimkan ke generator disalurkan melalui *carbon brush* dan *slip ring* yang terhubung dengan kumparan. Setelah langkah-langkah tersebut selesai, generator pembangkit dapat menghasilkan tegangan *output* sebesar 10,5 kV dengan tegangan eksitasi dari generator utama itu sendiri, lalu di step up menjadi 20 kV barulah dihantarkan langsung menuju pelanggan.

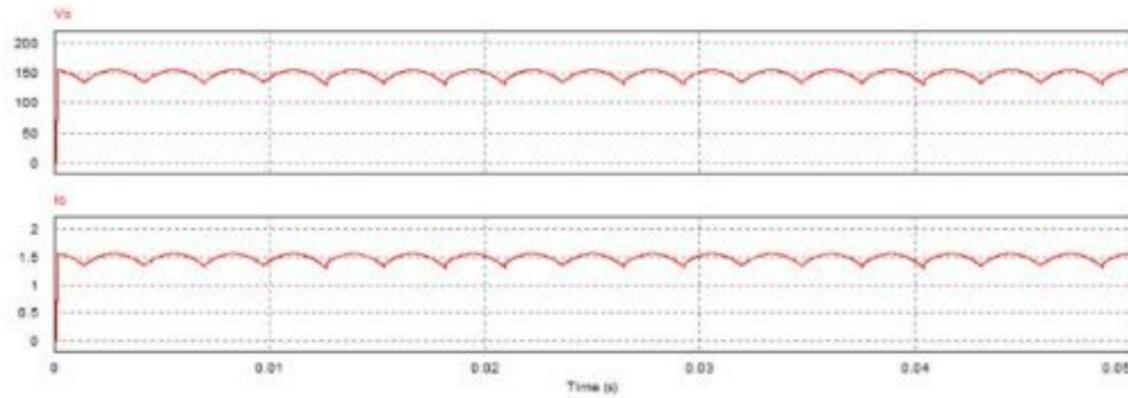
Pada sistem eksitasi generator PLTA Batang Agam tentu bisa saja terjadi gangguan. Seperti tegangan output generator melebihi atau kurang dari tegangan yang seharusnya dihasilkan oleh generator. Pada PLTA Batang Agam memiliki sistem proteksi yang sudah otomatis bekerja. Pada sistem eksitasi PLTA Batang Agam ketika tegangan output generator mencapai 130% atau kurang dari 70% dari tegangan output yang seharusnya, maka *circuit breaker* (CB) pada sistem akan trip secara otomatis.

### 3. Konverter AC-DC 3 Fasa

Sistem yang digunakan dalam mengubah tegangan AC menjadi DC dalam sistem eksitasi PLTA Batang Agam yaitu Penyearah 3 Fasa Terkendali Sistem Bridge. Penyearah 3 fasa terkendali sistem jembatan merupakan penyearah 3 fasa gelombang penuh. Diagram penyearah 3 fasa gelombang penuh diperlihatkan pada gambar 2. 16 bersama-sama dengan gelombang tegangan dan arus pada sisi masukan dan keluaran.

#### a) Penyearah 3 fasa gelombang penuh dengan beban resistitif





Gambar 2. 17 Diagram penyearah 3 fasa gelombang penuh, gelombang tegangan dan arus dengan beban R.

Berikut ini hasil pengukuran dan perhitungan besaran tegangan rata-rata dan tegangan efektif.

1) Hasil Pengukuran

Percobaan	$V_{in}$		$V_{out}$		$I_0$
	RMS	Maks	RMS	AVE	
3 Pulse	110 V	155,5 V	148,4 V	155,5 V	1,55 A

2) Perhitungan

Nilai tegangan keluaran rata-rata, sebagai berikut:

$$V_S = 110V$$

$$V_m = V_S \times \sqrt{2}$$

$$V_m = 110 \times \sqrt{2} = 155,56 V$$

Nilai tegangan Output Dc, sebagai berikut.

$$V_{oDC} = 0,83 \times V_m$$

$$V_{oDC} = 0,83 \times 155,56$$

$$V_{oDC} = 129,1V$$

Nilai tegangan efektif, sebagai berikut:

$$V_{rms} = 0,843 \times V_m$$

$$V_{rms} = 0,843 \times 155,56$$

$$V_{rms} = 131,17 V$$

Nilai Arus, sebagai berikut.

Dimana,

$V_S$  = Tegangan Sumber (V)

$V_m$  = Tegangan Max (V)

$V_{oDC}$  = Tegangan Output DC (V)

$V_{rms}$  = Tegangan Efektif (V)

$I$  = Arus (A)

$R$  = Tahanan (Ohm)

$I_{rms}$  = Arus Efektif (A)

$P$  = Daya Nyata (watt)

$S$  = Daya Semu (VA)

$P_f$  = Factor Daya

$$I = V \div R = 110 \div 1k = 0,11A$$

$$I_{rms} = V_{rms} \div R = 131,17 \div 1K = 0,13 A$$

Faktor Daya, sebagai berikut.

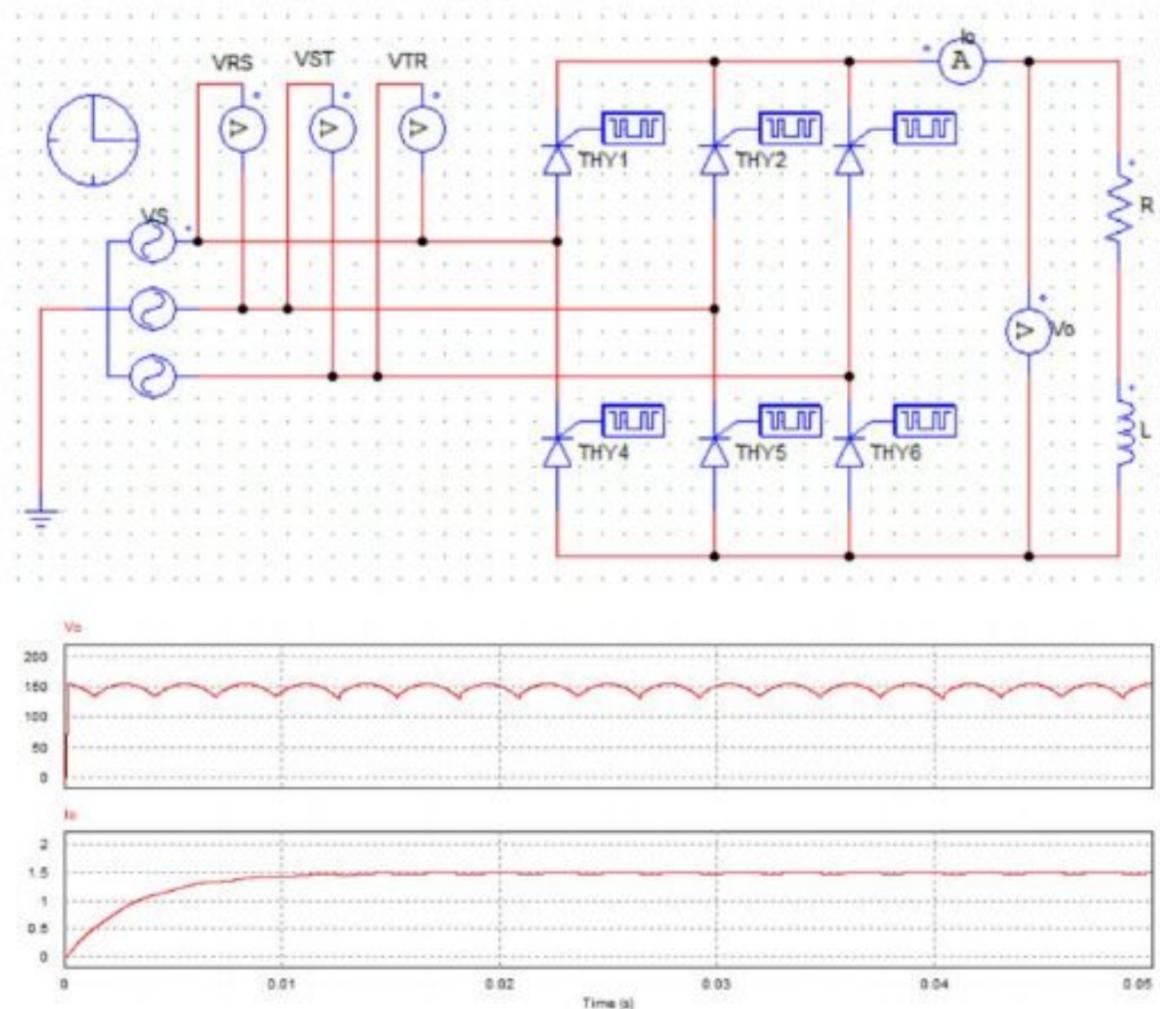
$$P = (V_{rms})^2 \div R$$

$$P = (131,17)^2 \div 1k = 17.2 \text{ watt}$$

$$S = V_{rms} \times I_{rms} = 131,17 \times 0,13 = 17 \text{ watt}$$

$$\text{Faktor Daya} = \frac{P}{S} = \frac{1,72}{43,3} = 0,04$$

b) Penyearah 3 fasa gelombang penuh dengan beban R dan L.



Gambar 2. 20 Diagram penyearah 3 fasa gelombang penuh, gelombang tegangan dan arus dengan beban R dan L.

1) Hasil Pengukuran

Percobaan	$V_{in}$		$V_{out}$		$I_0$
	RMS	Maks	RMS	AVE	
3 Pulse	110 V	110 V	148,4 V	148 V	1,4 A

## 2) Perhitungan

Nilai tegangan keluaran rata-rata dan Nilai tegangan efektif dengan beban kapasitif, sebagai berikut:

$$V_S = 110V$$

$$R = 100 \text{ ohm}$$

$$X_L = 94,26 \text{ ohm}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

Nilai Impedansi, sebagai berikut.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$Z = \sqrt{100^2 + 94,26^2}$$

$$Z = 137,4 \text{ ohm}$$

Nilai Tegangan Max, sebagai berikut.

$$V_m = V_S \times \sqrt{2}$$

$$V_m = 110 \times \sqrt{2}$$

$$V_m = 155,56 \text{ V}$$

Nilai Tegangan Eketif, sebagai berikut.

$$V_{rms} = 0,843 \times V_m$$

$$V_{rms} = 0,843 \times 155,56 \text{ V}$$

$$V_{rms} = 131,17 \text{ V}$$

Nilai Tegangan Output DC, sebagai berikut.

$$V_{oDC} = 0,83 \times V_m = 0,83 \times 155,56 = 129,1 \text{ V}$$

Nilai Arus pada Rangkaian, sebagai berikut.

$$I = V \div Z = 110 \div 137,4 = 0,8 \text{ A}$$

$$I_{rms} = V_{rms} \div Z = 131,17 \div 24,1 = 0,95 \text{ A}$$

Faktor Daya, sebagai berikut.

$$P = (V_{rms})^2 \div Z = (131,17)^2 \div 137,4 = 125,2 \text{ watt}$$

$$S = V_{rms} \times I_{rms} = 131,17 \text{ V} \times 0,95 \text{ A} = 125,2 \text{ watt}$$

$$\text{Faktor Daya} = \frac{P}{S} = \frac{125,2}{125,2} = 1$$

Dimana,

$V_S$  = Tegangan Sumber R (V)

$V_m$  = Tegangan Max (V)

$V_{oDC}$  = Tegangan Output DC (V)

$V_{rms}$  = Tegangan Efektif (V)

$I$  = Arus (A)

$f$  = Frekuensi (hz)

$Z$  = Impedansi (ohm)

$R$  = Resistansi (ohm)

$X_L$  = Reaktansi Induktif (ohm)

$X_C$  = Reaktansi Kapasitif (ohm)

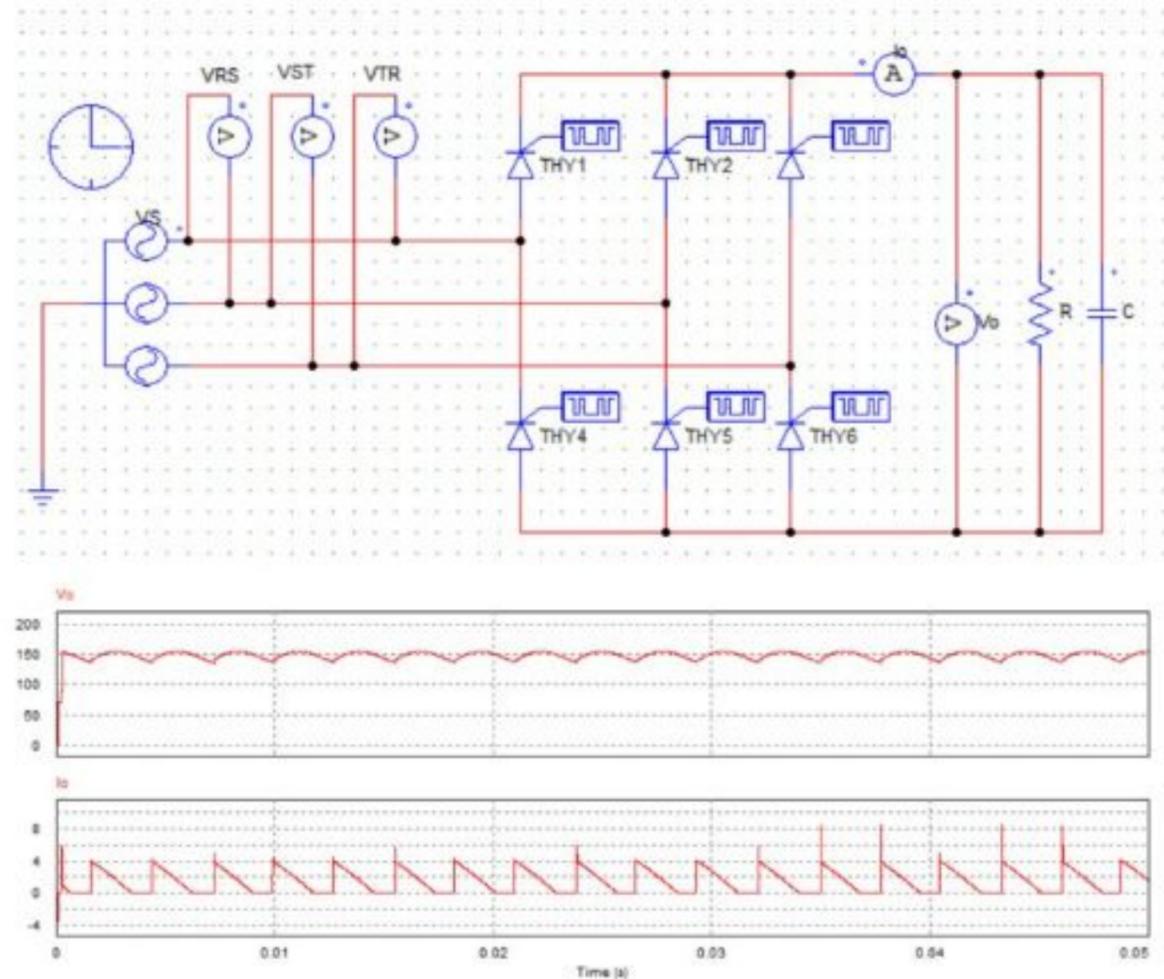
$I_{rms}$  = Arus Efektif (A)

$P$  = Daya Nyata (watt)

$S$  = Daya Semu (VA)

$P_f$  = Factor Daya

c) Penyearah 3 fasa gelombang penuh dengan beban R dan C.



Gambar 2. 21 Diagram penyearah 3 fasa gelombang penuh, gelombang tegangan dan arus dengan beban R dan C.

3) Hasil Pengukuran

Percobaan	$V_{in}$		$V_{out}$		$I_0$
	RMS	Maks	RMS	AVE	
3 Pulse	110 V	110 V	149 V	148,5 V	1,4 A

4) Perhitungan

Nilai tegangan keluaran rata-rata dan Nilai tegangan efektif dengan beban kapasitif, sebagai berikut:

$$V_S = 110V$$

$$R = 100 \text{ ohm}$$

$$X_C = 31.8 \text{ ohm}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

Nilai Impedansi, sebagai berikut.

Dimana,

$V_S$  = Tegangan Sumber R (V)

$V_m$  = Tegangan Max (V)

$V_{oDC}$  = Tegangan Output DC (V)

$V_{rms}$  = Tegangan Efektif (V)

$$Z = \frac{R \times X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} = \frac{100 \times 31,8}{\sqrt{100^2 + 31,8^2}}$$

$$Z = \frac{3.180}{105} = 30,3 \text{ ohm}$$

Nilai Tegangan Max, sebagai berikut.

$$V_m = V_s \times \sqrt{2}$$

$$V_m = 110 \times \sqrt{2}$$

$$V_m = 155,56 \text{ V}$$

Nilai Tegangan Eketif, sebagai berikut.

$$V_{rms} = 0,843 \times V_m$$

$$V_{rms} = 0,843 \times 155,56 \text{ V}$$

$$V_{rms} = 131,17 \text{ V}$$

Nilai Tegangan Output DC, sebagai berikut.

$$V_o DC = 0,83 \times V_m = 0,83 \times 155,56 = 129,1 \text{ V}$$

Nilai Arus pada Rangkaian, sebagai berikut.

$$I = V \div Z = 110 \div 30,3 = 3,6 \text{ A}$$

$$I_{rms} = V_{rms} \div Z = 131,17 \div 30,3 = 4,3 \text{ A}$$

Faktor Daya, sebagai berikut.

$$P = (V_{rms})^2 \div Z = (131,17)^2 \div 30,3 = 567,8 \text{ watt}$$

$$S = V_{rms} \times I_{rms} = 131,17 \text{ V} \times 5,4 \text{ A} = 704 \text{ watt}$$

$$\text{Faktor Daya} = \frac{P}{S} = \frac{567,8}{704} = 0,8$$

I = Arus (A)

f = Frekuensi (hz)

Z = Impedansi (ohm)

R = Resistansi (ohm)

$X_L$  = Reaktansi Induktif (ohm)

$X_C$  = Reaktansi Kapasitif (ohm)

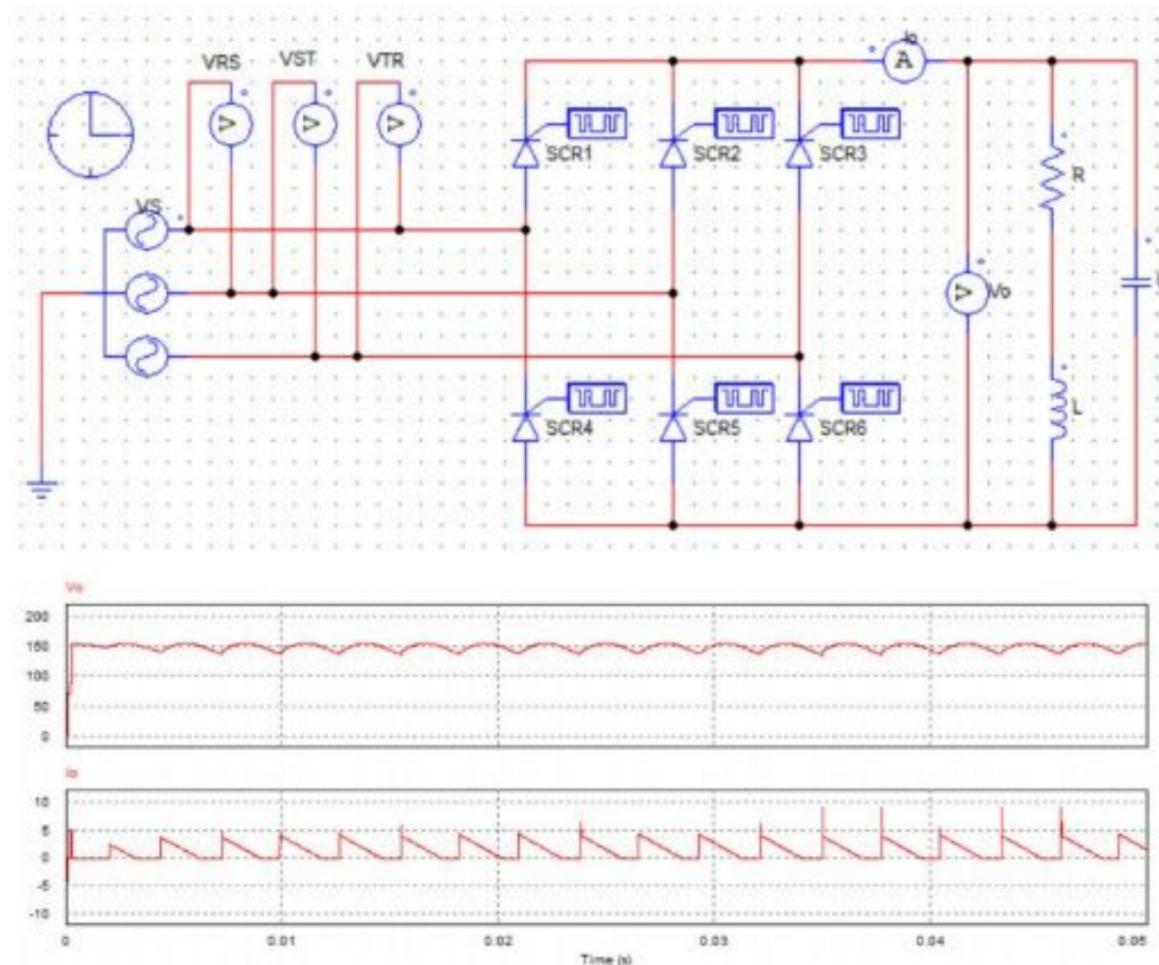
$I_{rms}$  = Arus Efektif (A)

P = Daya Nyata (watt)

S = Daya Semu (VA)

$P_f$  = Factor Daya

d) Penyearah 3 fasa gelombang penuh dengan beban R, L dan C.



Gambar 2. 22 Diagram penyearah 3 fasa gelombang penuh, gelombang tegangan dan arus dengan beban R, L dan C.

1) Hasil Pengukuran

Percobaan	$V_{in}$		$V_{out}$		$I_0$
	RMS	Maks	RMS	AVE	
3 Pulse	110 V	110 V	148,2 V	147,8 V	1,4 A

2) Perhitungan

Nilai tegangan keluaran rata-rata dan Nilai tegangan efektif dengan beban kapasitif, sebagai berikut:

$$V_S = 110V$$

$$R = 100 \text{ ohm}$$

$$X_L = 94,26 \text{ ohm}$$

$$X_C = 31.8 \text{ ohm}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

Nilai Impedansi, sebagai

Dimana,

$V_S$  = Tegangan Sumber R (V)

$V_m$  = Tegangan Max (V)

$V_{oDC}$  = Tegangan Output DC (V)

$V_{rms}$  = Tegangan Efektif (V)

$I$  = Arus (A)

berikut.

$$Z = \sqrt{R + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{100 + (94,26 - 31,8)^2}$$

$$Z = \sqrt{100 + (62,46)^2}$$

$$Z = \sqrt{100 + 3.901,25}$$

$$Z = 3.911,25 \text{ ohm}$$

Nilai Tegangan Max, sebagai berikut.

$$V_m = V_s \times \sqrt{2}$$

$$V_m = 110 \times \sqrt{2}$$

$$V_m = 155,56 \text{ V}$$

Nilai Tegangan Eketif, sebagai berikut.

$$V_{rms} = 0,843 \times V_m$$

$$V_{rms} = 0,843 \times 155,56 \text{ V}$$

$$V_{rms} = 131,17 \text{ V}$$

Nilai Tegangan Output DC, sebagai berikut.

$$V_o DC = 0,83 \times V_m = 0,83 \times 155,56 = 129,1 \text{ V}$$

Nilai Arus pada Rangkaian, sebagai berikut.

$$I = V \div Z = 110 \div 3.911,25 = 0,03 \text{ A}$$

$$I_{rms} = V_{rms} \div Z = 131,17 \div 3.911,25 = 0,03 \text{ A}$$

Faktor Daya, sebagai berikut.

$$P = (V_{rms})^2 \div Z = (131,17)^2 \div 3.911,25 = 44 \text{ watt}$$

$$S = V_{rms} \times I_{rms} = 131,17 \text{ V} \times 0,03 \text{ A} = 4 \text{ watt}$$

$$\text{Faktor Daya} = \frac{P}{S} = \frac{44}{4} = 11$$

$f$  = Frekuensi (hz)

$Z$  = Impedansi (ohm)

$R$  = Resistansi (ohm)

$X_L$  = Reaktansi Induktif (ohm)

$X_C$  = Reaktansi Kapasitif (ohm)

$I_{rms}$  = Arus Efektif (A)

$P$  = Daya Nyata (watt)

$S$  = Daya Semu (VA)

$P_f$  = Factor Daya

### BAB III

### PENUTUP

#### A. Kesimpulan

Dari pembahasan penulis yang bertopik sistem eksitasi generator sinkron di PLTA Batang Agam unit 2 dapat penulis ambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem eksitasi merupakan sistem pasokan Tegangan DC sebagai penguatan pada generator listrik atau sebagai pembangkit medan magnet pada generator.
2. Jenis sistem eksitasi pada generator PLTA Batang Agam adalah sistem eksitasi statis dan eksitasi dinamis dengan catu daya saat starting menggunakan baterai.
3. Sistem eksitasi yang dipakai generator PLTA Batang Agam adalah jenis sistem eksitasi dengan sikat (*brush excitation*).

## **B. Saran**

Saran yang penulis ingin sampaikan yaitu sebagai berikut :

1. Performa peralatan eksitasi sudah sangat baik. Namun, tidak menutup kemungkinan terjadinya kerusakan sehingga perlu dilakukan pemeliharaan rutin/pembongkaran komponen-komponen eksitasi seperti pembongkaran rotor dan pengecekan rutin *carbon brush* (sikat arang).
2. Bagi teman-teman atau rekan-rekan yang akan melaksanakan Praktek Lapangan Industri di PLTA Batang Agam agar selalu aktif dalam bertanya dan berkomunikasi dengan pembimbing lapangan guna memperoleh pengetahuan yang banyak mengenai sistem kerja Pembangkit Listrik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anthony, Zuriman. (2018). *Mesin Listrik Dasar*. Padang. ITP Press.
- Farham, M dkk. (2021). Pengaruh Pembebanan Terhadap Arus Eksitasi Generator Unit 2 Pltmh Curug. *Jurnal Simetrik*, 11(1), 398-403.
- Istanto, Y. H. dkk. (2019). Analisis Pengaruh Arus Eksitasi Pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan Di Plta Wlingi Pt Pjb Up Brantas. *Jurnal Qua Teknik*, 9(1), 43-55.
- Nurdin, A dkk. (2018). Peranan Automatic Voltage Regulator Sebagai Pengendali Tegangan Generator Sinkron. *Jurnal Ampere*, 3(1), 163-17.
- Putra, S. A & Santoso, D. B. (2022). Analisis Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator Sinkron Unit 3 Plta Ubrug. *Jurnal Disprotek*, 13(2), 113 - 122.
- Rimbawati dkk. (2019). Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator (Aplikasi Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Fakultas Teknik-Umsu). *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, 2(1), 37-44.
- Hasad, Andi. (2015). *Struktur, Karakteristik dan Aplikasi Thyristor*. Universitas Islam Malang (UNISMA) : Malang.
- Hasad, Andi. (2015). *SCR (Silicon Controlled Rectifier)*. Universitas Islam Malang (UNISMA) : Malang.

## LAMPIRAN



Power House PLTA Batang Agam



Safety Belt



Alat Pemadam Api



Helm Kerja



Perawatan generato & turbin



Pemeliharaan TIV (Turbin Inlet Valve)



Pemeliharaan Genset



Cooling water pump



Mengukur ukuran filter oli  
genset



Pemeliharaan PMT



Pemeliharaan valve  
Chumber



Pemeliharaan oil cooler



Pemeliharaan carbon brush  
& slip ring



Pemeliharaan AVR



Pemeliharaan Intake Weir



Pemeliharaan Baterai



Pemeliharaan ruang Trafo



Pemeliharaan Sand Trap