

**SKRIPSI**

**ANALISIS TERHADAP ASUMSI GAS MURNI  
DENGAN PERBANDINGAN BAHAN BAKAR UDARA  
DALAM MANGHASILKAN DAYA LISTRIK**



Oleh

**KURNIA SANDI**

**105821114817**

**MUHAMMAD ABRAR**

**105821102317**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIKI ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2023**



# FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221  
Website : <https://teknik.unismuh.ac.id>, Email : [teknik@unismuh.co.id](mailto:teknik@unismuh.co.id)



Kampus  
Merdeka  
INDONESIA JAYA

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISIS TERHADAP ASUSMSI GAS MURNI DENGAN PERBANDINGAN BAHAN BAKAR UDARA DALAM MENGASILKAN DAYA LISTRIK**

Nama : 1. Kurnia Sandi  
2. Muhammad Abrar  
Stambuk : 1. 105 82 11148 17  
2. 105 82 11023 17

Makassar, 23 Juli 2023

Telah Diperiksa dan Disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T

Pembimbing II

Dr. Ir. Hj. Hafsah Nirwana, M.T

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Elektro



Ir. Adriani, S.T., M.T., IPM

NBM : 1044 202



# FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : <https://teknik.unismuh.ac.id>, Email : [teknik@unismuh.co.id](mailto:teknik@unismuh.co.id)



Kampus Merdeka  
INDONESIA JAYA

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Kurnia Sandi** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11148 17 dan **Muhammad Abrar** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11023 17, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0006/SK-Y/20201/091004/2023, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu, 22 Juli 2023.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

Makassar,

05 Muharram 1445 H

23 Juli 2023 M

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., ASEAN, Eng

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Umar Katu, S.T., M.T.

b. Sekretaris : Anugrah, S.T., M.M.

3. Anggota

1. Dr. Ir. Zahr Zainuddin, M.Sc

2. Dr. Eng. Ir. H. Zulfah Basri Hasanuddin, M.Eng

3. Ir. Adriani, S.T., M.T. IPM

Mengetahui :

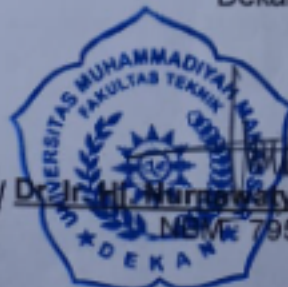
Pembimbing I

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T

Pembimbing II

Dr. Ir. Hj. Hafsa Nirwana, M.T

Dekan



Dr. Ir. Hj. Nurawati, S.T., M.T., IPM

NPM: 795 108

12/9/23

**ANALISIS TERHADAP ASUMSI GAS MURNI DENGAN  
PERBANDINGAN BAHAN BAKAR UDARA DALAM MENGHASILKAN  
DAYA LISTRIK**

**KURNIA SANDI**

**MUHAMMAD ABRAR**

**ABSTRAK**

Abstrak : Kurnia Sandi dan Muhammad Abrar (2023) Analisis Terhadap Asumsi Gas Murni Dengan Perbandingan Bahan Bakar Udara Dalam Menghasilkan Daya Listrik dibimbing oleh DR. Ir Hafsah Nirwana, M.T., Rizal A Duyo, S.T., M.T. Dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik di Makassar dan sekitarnya, maka pemerintah dalam hal ini adalah PLN membangun pusat-pusat Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), sebagai penunjang kelancaran pasokan energi listrik. PLTG ini menggunakan gas alam sebagai fluida kerjanya, Adapun tujuan dari penelitian ini adalah Mengetahui proses pembangkitan tenaga listrik dan pengoperasian PLTG, Menghitung besarnya daya yang dibangkitkan oleh turbin gas dan Mengetahui jenis gangguan serta prinsip kerja sistem proteksi kelistrikan yang digunakan pada PLTG. Metode yang dipergunakan pada penelitian ini adalah mengadakan penelitian dan pengambilan data di dilaksanakan di Pembangkit Listrik Tenaga Gas pada unit pembangkitan di Makassar. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah. Beberapa parameter yang dihasilkan adalah Perbandingan bahan bakar - udara (APR) adalah  $f = \pm 0,0015$  kg bb/kg udara, Laju aliran udara ( $m_a$ ) adalah 1379,9 kg/s, Laju aliran campuran bahan bakar – udara adalah 1381,99 kg/s, Kerja turbin (WT) adalah 13,32 kJ/kg, Daya turbin (PT) adalah 19099,2k Watt, Pemakaian bahan bakar spesifik (SFC) adalah 0,447 Kg/KWh, Efisiensi thermal turbin gas ( $\eta$  thermal) adalah 18,273% dan Daya turbin gas yang dihasilkan adalah 19099,2 k Watt atau 190992 MW.

**Kata kunci ; Gas, Daya, Pembangkit Dan Listrik**

*ANALYSIS OF PURE GAS ASSUMPTIONS WITH COMPARISON OF  
AIR FUEL IN PRODUCING ELECTRIC POWER*

**KURNIA SANDI**

**MUHAMMAD ABRAR**

**ABSTRACT**

*Abstract: Kurnia Sandi and Muhammad Abrar (2023). Analysis of Pure Gas Assumptions with Comparison of Air Fuel in Producing Electric Power supervised by Hafsah Nirwana, Rizal A. Duyo.*

*With the increasing demand for electrical energy in Makassar and its surroundings, the government, in this case PLN, is building Gas Power Plant (PLTG) centers to support the smooth supply of electrical energy. This PLTG uses natural gas as its working fluid. The purpose of this study is to determine the process of generating electricity and operating PLTG, calculating the amount of power generated by gas turbines and knowing the types of disturbances and the working principle of the electrical protection system used in PLTG. The method used in this study was carried out at the Gas Power Plant at the generation unit in Makassar. The results obtained in this study are several parameters produced, namely the fuel-air ratio (ASPR) is  $f = \pm 0.0015$  kg body weight/kg air; fuel-air rate is 1379.9 kg/s. the flow rate of the fuel-air mixture is 1381.99 kg/s. The turbine work (WT) is 13.32 specific (SFC) is 0.447 kg/KWh, the thermal efficiency of the gas turbine ( $\eta$  thermal) is 18.273% and the resulting gas turbine power is 19099.2 k watt or 190992 MW.*

*Keywords; gas, power, generation and electricity*

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena Rahmat dan HidayahNya sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka penyelesaian program studi pada Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir adalah : “Analisis Terhadap Asumsi Gas Murni Dengan Perbandingan Bahan Bakar Udara Dalam Menghasilkan Daya Listrik”

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulis maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segalan ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Ibu DR. Ir. Hj. Nurnawaty, S.T., M.T. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

2. Ibu Adriani, ST, MT., sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Ibu. DR. Ir. Hafsah Nirwana, S.T.,M.T, Selaku Pembimbing I dan Bapak Rizal A Duyo, ST, MT, selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membimbing kami.
4. Bapak dan ibu dosen serta staf pegawai pada fakultas teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan terutam dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
6. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa fakultas teknik terkhusus angkatan 2017 yang dengan keakraban dan persaudaraan banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan skripsi yang sederhana ini dapat bernabfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.

Makassar, Maret 2023

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PENERIMA PANITIA UJIAN.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	2
C. Tujuan Penulisan .....	2
D. Batasan Masalah .....	2
E. Metode Penulisan .....	3
F. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Pembangkit Listrik.....	6
B. Pembangkit Listrik Tenaga Gas .....	7
1. Prinsip Kerja Turbin Gas.....	8
C. Turbin .....	9
1. Turbin Impuls .....	10
2. Turbin Reaksi.....	10
D. Siklus Brayton .....	11



1. Siklus Brayton Terbuka.....	11
2. Siklus Brayton Tertutup.....	11
E. kompresor .....	13
F. Ruang Bakar (Combustion Chambers) .....	14
G. Sistem Udara .....	16
H. Fungsi Sistem Udara.....	17
1. Udara Pembakaran.....	17
2. Bleed Valve.....	17
I. Sistem Bahan Bakar .....	18
J. Generator.....	19
1. Prinsip Kerja Generator sinkron .....	19
2. Jenis Generator AC .....	20
3. Susunan (Konstruksi) .....	22
4. Exitasi Generator Ac.....	27
K. Macam-macam) Gangguan PLTG .....	28
1. Gangguan Listrik.....	28
2. Gangguan Mekanik.....	29
L. Sistem Proteksi .....	30
1. Relay Proteksi.....	30
2. Fungsi dan Peranan Relay Proteksi .....	31
3. Syarat-syarat Relay Proteksi .....	33
4. Jenis-jenis Relay Proteksi.....	34

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat .....	37
a. Waktu .....	37
b. Tempat Penelitian .....	37
B. Metode Penelitian .....	37
C. Langkah-langkah Penelitian .....	37

### BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... 41

A. Jenis-jenis PLTG.....	41
1. PLTG Westcan .....	41
2. PLTG Alstom .....	43
3. PLTG Generator Elektrik.....	44
B. Peralatan Bantu PLTG .....	45
C. Jenis-jenis Relay Proteksi .....	46
D. Proses Operasi PLTG pada Unit Pembangkitan I Makassar... 47	
1. Proses Starting .....	48
2. Proses Kompresi.....	49
3. Proses Pembakaran .....	51
4. Transformasi Energi Thermis Ke Mekanik .....	53
5. Transformasi Energi Mekanik ke Listrik .....	54
E. Menghitung Daya Turbin .....	55
F. Prosedur pengoprasian PLTG.....	59
BAB V. PENUTUP .....	61
A. Kesimpulan .....	61

B. Saran..... 61

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Turbin Gas Sederhana .....	7
Gambar 2.2. Siklus Terbuka .....	11
Gambar 2.3. Siklus Tertutup .....	12
Gambar 2.4. Siklus Brayton Udara Standar .....	12
Gambar 2.5. Konstruksi Mesin Kutub Luar .....	21
Gambar 2.6. Konstruksi Mesin Kutub Dalam .....	22
Gambar 2.7. Rangkaian Belitan Jangkar di Stator .....	24
Gambar 2.8. Penampang Rotor Untuk Jenis Kutub Menonjol dengan Belitan Peredam.....	25
Gambar 2.9. Penampang Rotor Untuk Jenis Kutub Silinder .....	26
Gambar 2.10. Generator dengan Pengikat Generator Shunt.....	27
Gambar 2.11. Relay Listrik .....	30
Gambar 2.12. Relay Pneumatic atau Hydrolic .....	31
Gambar 3.1. Proses Pengoperasian PLTG .....	39
Gambar 3.2. Cara Memasukkan Coupling.....	49
Gambar 3.3. Cara Memisahkan Coupling.....	50
Gambar 3.4. Suhu Pengatur Udara Masuk Kompresor.....	51
Gambar 3.5. Konstruksi Kompresor .....	52
Gambar 3.6. Susunan Ruang Bakar .....	53
Gambar 3.7. Bagian Kompresor dan Ruang Bakar .....	54
Gambar 3.8. Konstruksi Turbin .....	55

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Sepanjang sejarah manusia, kemajuan besar dalam kebudayaan selalu diikuti dengan meningkatnya kebutuhan akan energi. Pemanfaatan energi nampaknya berhubungan langsung dengan kemajuan perindustrian dan perekonomian suatu negara. Dan pada saat ini energi yang mempunyai peranan sangat penting adalah tenaga listrik. Adalah lebih tepat, untuk menganggap tenaga listrik sebagai suatu bentuk energi, bukan sebagai sumber energi.

Tenaga listrik dalam kehidupan modern merupakan kunci dan syarat bagi suatu masyarakat untuk mempunyai taraf kehidupan yang layak dan perkembangan industri yang maju. Maka tiap dasawarsa kebutuhan suatu negara akan tenaga listrik semakin bertambah. Kebutuhan tenaga listrik ini merupakan fenomena yang harus disikapi dan ditindaklanjuti oleh pemerintah Indonesia dewasa ini.

Salah satu bentuk nyata kepedulian pemerintah untuk mengantisipasi kebutuhan masyarakat akan tenaga listrik adalah dengan dibangunnya pusat-pusat pembangkit listrik yang menggunakan sumber alam sebagai fluida kerjanya, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG). Secara teknis -industri penyediaan tenaga listrik dilandaskan pada suatu

rangkaian penemuan dan pengembangan teknologi konversi energi mekanis dan sumber alam menjadi tenaga listrik.

## **B. Rumusan Masalah**

Adapun Rumusan Masalah adalah :

1. Dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik di Makassar dan sekitarnya.
2. Pemerintah dalam hal ini adalah PLN membangun pusat-pusat Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG),
3. Sebagai penunjang kelancaran pasokan energi listrik. PLTG ini menggunakan gas alam sebagai fluida kerjanya,

## **C. Tujuan Penulisan**

Adapun yang menjadi tujuan penulisan tugas akhir ini adalah ;

1. Mengetahui proses pembangkitan tenaga listrik dan pengoperasian PLTG
2. Menghitung besarnya daya yang dibangkitkan oleh turbin gas.
3. Mengetahui jenis gangguan serta prinsip kerja sistem proteksi kelistrikan yang digunakan pada PLTG.

## **D. Batasan Masalah**

Untuk mempermudah dan menghindari meluasnya pembahasan pada penulisan tugas akhir ini, adalah sebagai berikut:

1. maka perlu kami beri batasan masalah dimana kami hanya membahas proses pembangkitan sampai pada Generator,

2. Mengetahui gangguan - gangguan pada Generator dan sistem proteksi kelistrikan yang digunakan untuk mengatasinya
3. Perhitungan daya listrik yang dibangkitkan oleh turbin gas.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui jenis sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas pada unit pembangkitan 1 Makassar
2. Mengetahui parameter dari daya turbin yang dipergunakan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas pada unit pembangkitan 1 Makassar
3. Untuk menegetahui jenis-jenis relay proteksi yang digunakan pada unit Pembangkitan I Makassar

#### **F. Metode Penulisan**

Metode penulisan yang Kami gunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Field Research yaitu Penulis melakukan penelitian secara langsung terhadap obyek penelitian untuk memperoleh data-data yang akan digunakan pada penulisan tugas akhir ini.
2. Library Research yaitu Penulis mengumpulkan data-data dengan membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur yang ada dan sesuai dengan masalah yang diteliti.
3. Interview yaitu Penulis melakukan tanya jawab secara langsung kepada pihak-pihak yang memahami permasalahan yang diteliti.

## **G. Sistematika Penulisan**

Untuk menyelesaikan penulisan tugas akhir ini dimana hubungan antar bab merupakan satu kesatuan yang utuh, maka perlunya disusun secara sistematika sebagai berikut:

### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Dalam bab ini akan menguraikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penelitian dan metode penulisan serta sistematika penulisan.

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam bab ini akan membahas secara umum tentang pembangkit listrik tenaga gas yang menyangkut tentang proses pengoperasian PLTG, gangguan yang terjadi dan sistem proteksi.

### **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini membahas tentang waktu, tempat dan metode penelitian

### **BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Dalam bab ini menguraikan hasil penelitian yang diperoleh secara spesifik tentang jenis-jenis PLTG, gangguan dan sistem proteksi pembangkit listrik tenaga gas pada PT. PLN (PERSERO) Wilayah VIII Unit Pembangkitan I Makassar dan membahas hasil penelitian tersebut.



## BAB V. PENUTUP

Pada bab ini berisikan beberapa kesimpulan dari hasil penelitian dan saran-saran.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Pembangkit Listrik**

Pembangkitan adalah produksi tenaga listrik yang dilakukan dalam pusat-pusat tenaga listrik atau sentral-sentral dengan mempergunakan generator. Sepanjang sejarah peradaban manusia, perkembangan energi tiada pernah berhenti seiring dengan lonjakan pemenuhan kebutuhan akan energi. Hal ini dibuktikan dengan adanya krisis energi di berbagai negara dan dengan dasar tersebut diadakan berbagai kesibukan untuk menjajaki pemanfaatan berbagai alternatif untuk dijadikan pembangkit energi.

Pemanfaatan energi secara tepat guna merupakan cara yang ampuh untuk dijadikan sebagai solusinya. Beberapa energi (tenaga) yang menjadi sumber utama pembangkit adalah (i) tenaga Uap, (ii) tenaga Air, (iii) tenaga Nuklir. Ketiganya sering disebut energi Konvensional, selain dari ketiga energi tersebut tidak dapat disebut konvensional sebab kontribusinya sangat terbatas. Adapun sumber lain itu adalah tenaga Pasang Surut, tenaga Panas Matahari, tenaga Panas Burnt, tenaga Angin? tenaga Medan Magnet Hidrodinamik.

Dari pemanfaatan berbagai energi, salah satunya adalah mengubah suatu energi ke lain bentuk dengan penggunaan tanpa pencemaran. Energi yang paling utama di dunia semenjak penggunaannya adalah tenaga listrik dan industri tenaga listrik adalah

yang terbesar di dunia. Sistem tenaga listrik adalah salah satu dari peralatan yang mengubah dan memindahkan energi dimana pembangkitannya tergantung pada sumber tenaga yang dibutuhkan seperti, PLTA (air), PLTU (uap), PLTN (nuklir) dan PLTD (diesel). Pembangkit listrik yang sering dijumpai adalah pembangkit listrik tenaga diesel sebab pembangkit ini efisien digunakan untuk unit-unit pembangkitan kecil karena dapat berdiri sendiri serta ekonomis dalam perolehan bahan dan material.

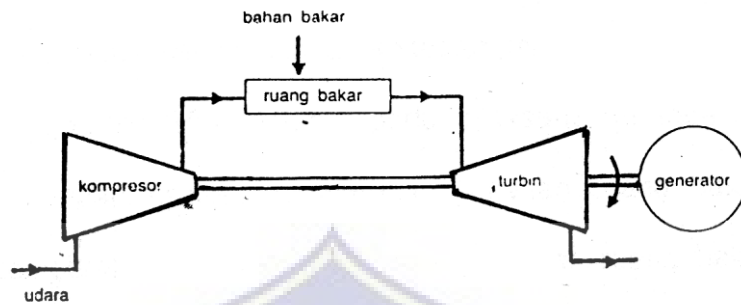
#### **B. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)**

PLTG adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan turbin dengan gas sebagai fluida kerjanya. Dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya, turbin gas merupakan pembangkit yang cukup sederhana dalam pengoperasiannya. Sistem Turbin Gas yang paling sederhana terdiri dari tiga komponen utama yaitu :

1. Kompresor
2. Ruang Bakar
3. Turbin Gas dengan generator listrik.

Susunan turbin gas sederhana dapat dilihat pada gambar dibawah

ini:



Gambar 2.1 Turbin Gas Sederhana

## 1. Prinsip Kerja Turbin Gas

Sistem turbin gas menggunakan Kompresor Aksial, dikatakan kompresor Aksial karena aliran udara yang melalui kompresor searah dari poros dan rotor. Kompresor Aksial dapat mencapai efisiensi sekitar 90 % dan perbandingan tekanan mencapai 12. Namun demikian, oleh karena perbandingan tekanan yang dapat dihasilkan setiap tingkat hanya berkisar antara 1,05-1,15 maka untuk menghasilkan perbandingan tekanan yang tinggi diperlukan jumlah tingkat yang lebih banyak (27 tingkat atau lebih). hal ini mengakibatkan ukuran kompresor aksial menjadi lebih panjang.

Udara atmosfer masuk ke dalam kompresor yang berfungsi mengisap dan menaikkan tekanan udara sehingga temperaturnya naiknya. Kemudian udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi itu masuk ke dalam ruang bakar. Didalam ruang bakar disemprotkan

bahan bakar ke dalam arus udara tersebut sehingga terjadi proses pembakaran.

Proses pembakaran adalah ekuivalen dengan proses pemasukan kalor pada siklus Brayton. Proses pembakaran ini terjadi secara kontinu sehingga temperatur gas pembakaran harus dibatasi sesuai dengan kekuatan material yang dipergunakan, terutama material sudu turbin. Hal tersebut perlu dilaksanakan karena kekuatan material akan turbin dengan naiknya temperatur. Tekanan ruang bakar berkisar antara 2,5-10 atm, temperatur gas pembakaran keluar dari ruang bakar berkisar antara 500-1100°C. Untuk membatasi temperatur gas pembakaran keluar dari ruang bakar maka sistem turbin gas memerlukan jumlah udara berlebihan dimana udara tersebut diperlukan untuk menyempurnakan proses pembakaran dalam waktu yang sesingkat-singkatnya, mendinginkan bagian-bagian ruang bakar dan mengusahakan distribusi temperatur gas pembakaran keluar ruang bakar yang homogen. Gas panas yang dihasilkan dari proses pembakaran masuk ke dalam turbin dan berfungsi sebagai fluida kerja yang memutar roda turbin bersudu yang terkopell dengan generator sinkron. Di dalam turbin terjadi proses ekspansi untuk menurunkan tekanan dan menambah kecepatan udara. Sekitar 60 % daya yang dihasilkan turbin digunakan untuk memutar beban (generator listrik, pompa, kompressor, baling-baling dan sebagainya).

## **C. Turbin**

Sistem Turbin gas termasuk dalam jenis motor bakar sistem pembakaran dalam, dimana bahan bakar diolah menjadi energi mekanik melalui proses termodinamis.

Bentuk turbin yang umum digunakan dalam sistem turbin gas dapat merupakan turbin implus dan turbin reaksi

### **1. Turbin Implus**

Turbin implus adalah turbin dimana proses ekspansi (penurunan tekanan) dari fluida kerja hanya terjadi didalam bails sudu tetap. Turbin Implus biasanya mempunyai ciri bahwa kebanyakan atau seluruh penurunan tekanan berlangsung pada nosel (sudu tetap yang berfungsi sebagai nosei). Hanya sedikit atau bahkan tidak ada penurunan tekanan pada sudu bergerak apabila terjadi penurunan tekanan pada sudu bergerak adalah akibat gesekan yang menaikkan koefisien kecepatan

### **2. Turbin Reaksi**

Turbin reaksi adalah turbin dimana proses ekspansi (penurunan tekanan) terjadi baik dibaris sudu tetap maupun sudu gerak. Pada turbin reaksi baris sudu tetap maupun sudu gerak berfungsi sebagai nosel, sehingga kecepatan tekanan keluar lebih besar daripada tekanan yang masuk dari sudu tersebut.

## **D. Siklus Brayton**

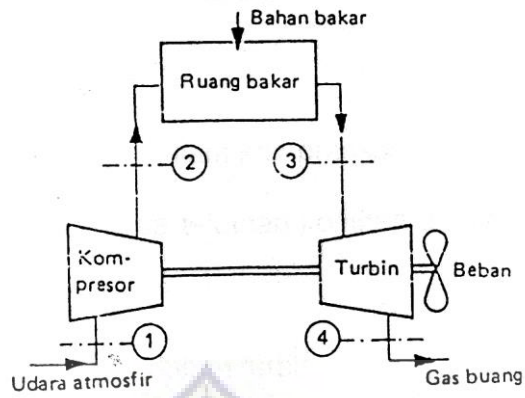
Siklus ideal dari sistem turbin gas sederhana adalah siklus Brayton. Siklus turbin gas sederhana dengan siklus terbuka menggunakan ruang bakar, sedangkan sistem turbin gas sederhana dengan siklus tertutup menggunakan alat- alat penukar kalor.

### **1. Siklus Bryton Terbuka**

Pada siklus terbuka fluida kerja adalah udara atmosfer dan pengeluaran panas dilakukan di atmosfer. Udara yang masuk ke kompressor pada titik 1 dikompresi pada titik 2 kemudian masuk ke ruang bakar dan menerima kalor pada tekanan ideal dan keluar dalam keadaan panas pada titik 3, kemudian gas berekspansi melalui turbin pada titik 4 dan pengeluaran gas panas dilakukan di atmosfer.

### **2. Siklus Bryton Tertutup**

Pada siklus bryton tertutup gas pendingin dipanaskan dan berekspansi melalui turbin dan dikompresi kembali ke ruang bakar, dalam sistem ini fluida kerja dipakai terus menerus dan dilakukan oleh penukar panas. Gambar dibawah ini menunjukkan gambar siklus terbuka dan tertutup.



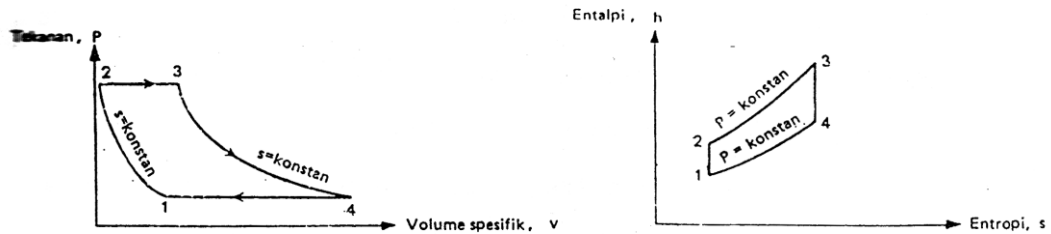
Gambar 2.2 Siklus Terbuka



Gambar 2.3 Siklus Tertutup



Siklus Brayton dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.4 Siklus Brayton udara Standar

Siklus Brayton terdiri dari proses ;

1-2 Proses kompresi isentropik di dalam kompresor

2-3 Proses pemasukan kalor pada tekanan konstan didalam ruang bakar atau alat pemindah kalor (pemanas)

3-4 Proses ekspansi isentropik didalam turbin

4-1 Proses pembuangan kaior tekanan konstan dalam pemindah kalor (pendingin)

Pada siklus aktual turbin gas, kompresor dan turbin dapat dianggap beroperasi secara adiabatik, bukan secara isentropik. Proses pemasukan panas akan menghasilkan penurunan tekanan, dan tekanan keluar dari turbin akan lebih besar dari tekanan udara yang masuk dari kompresor.

### E. Kompresor

Kompresor yang digunakan dalam sistem turbin gas adalah kompresor aksial. Dikatakan kompresor aksial karena aliran udara yang

melaluinya adalah secara aksial yaitu aliran jalan udara arahnya paralel atau memanjang searah poros dan rotor.

Jalan dari aliran udara ini semakin menyempit diameternya sepanjang kompressor, untuk memungkinkan terjadinya proses kompresi. Dalam kompressor aliran aksial terdapat deretan sudu-sudu. Separuh dari sudu-sudu tersebut disebut rotor yaitu yang terpasang pada rumati kompressor dan tidak berputar, sedang separuhnya disebut rotor yaitu yang terpasang pada piringan rotor dan berputar. Sementara tugas-tugas dari sudu-sudu yang berputar (rotor) adalah memberi kecepatan pada udara, maka sudu-sudu yang tidak berputar (stator) memperlambat aliran udara tersebut dan merubah energi kecepatan menjadi energi tekanan.

Setiap tingkat-tingkat sudu menerima udara dari tingkat sebelumnya dan mempercepat atau memperlambat aliran udara tersebut sesuai fungsinya. Setiap tingkat sudu memberikan aliran udara dengan kecepatan yang sama pada saat masuknya. Jadi aliran udara yang masuk ke dalam ruang kompressor kecepatannya sama dengan pada saat udara tersebut keluar dari akhir kompressor, akan tetapi tekanannya berubah.

Biasanya udara yang meninggalkan suatu tingkat sudu ke tingkat berikutnya naik dengan 110-120 %, sehingga pada tingkat pertama kenaikan tekanan hanya sedikit, tetapi setelah sampai pada tingkat-tingkat akhir tekanan mulai naik dengan cepat. Volume udara juga berubah, tekanan udara yang naik membuat udara bertambah padat maka untuk menjaga dan mempertahankan agar tekanan dan kecepatan udara

tersebut tidak berubah, ruang kompressor diameternya dibuat makin lama makin menyempit pada bagian keluarannya.

#### **F. Ruang Bakar (Combustion Chambers)**

Udara kompresi dan kompressor masuk kedalam ruang bakar yang tersusun secara simetris mengelilingi kompressor untuk mereduksi panjang mesin. Konstruksi dari ruang bakar terdiri dari dua buah pipa konsentrik yang mempunyai tutup pada bagian depannya. Kedua pipa tersebut inner liner dan outer liner. Pada bagian belakang ruang bakar dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat mengarahkan gas panas hasil pembakaran ke arah bagian turbin.

Aliran udara dalam ruang bakar tidak sama dengan mesin torak (reciprocating engine). Pada sistem turbin gas, udara yang masuk kedalam ruang bakar tidak seluruhnya terbakar dalam proses pembakaran, hanya 80 - 90 % udara yang digunakan untuk pembakaran akan mengembang melalui sudu-sudu turbin.

Udara yang digunakan dalam pembakaran disebut primary air dan jumlahnya diatur dengan banyaknya dan besarnya lubang-lubang dari ruang bakar tempat dimana udara tersebut dapat masuk ke daerah pembakaran. Sebagian besar udara untuk pembakaran terletak diantara tabung injektor. Sebelum digunakan untuk proses pembakaran sebagian dari primary air diarahkan melalui lubang-lubang di sekeliling ruang bakar untuk membentuk suatu gulungan udara yang berfungsi untuk melindungi dinding ruang bakar dari sentuhan api.

Lebih jauh dari sebelah bawah ruang bakar, dimasukkan aliran udara yang biasanya disebut secondary air. Aliran udara ini akan bercampur secara sempurna dengan gas panas hasil pembakaran, dengan demikian mencegah adanya aliran sangat panas untuk tidak memasuki bagian turbin.

Disebabkan adanya batas kemampuan logam untuk menahan panas, adalah tidak mungkin untuk mengoperasikan turbin pada temperatur yang sangat tinggi. Jadi disamping berekspansi memutar sudu-sudu turbin, secondary air juga berfungsi untuk mendinginkan gas panas hasil pembakaran sampai temperatur yang diijinkan untuk operasi mesin turbin tersebut.

### **G. Sistem Udara**

Udara adalah campuran dari beberapa molekul seperti oksigen, nitrogen dan bondioksida yang merupakan 3 bagian terbesar dari molekul-molekul gas yang membentuk udara.

Molekul mempunyai massa dan energi, massa menyebabkan adanya berat molekul, sedang energi menyebabkan molekul-molekul dapat bergerak. Gerakan molekul-molekul ini dapat diukur sebagai jumlah energi yang dilepas, sedang kecepatan molekul-molekul diukur sebagai temperatur.

Energi yang diberikan molekul- molekul pada saat membentur permukaan dinding sebuah ruangan dapat diukur sebagai tekanan. Bila molekul ruangan ada didalam ruangan kecepatannya lebih besar maka

tekanan akan menjadi besar pula. Bila volume ruangan diperkecil, artinya udara dikompresi.

Rancangan mesin turbin gas memakai prinsip menambahkan energi pada udara dengan memperkecil volume. Jadi energi dapat ditambahkan ke dalam udara dengan cara :

1. Menambahkan tekanan udara melalui cara kompresi (pemampatan)
2. Menambah volume sambil memanaskan udara agar tekanan dapat dipertahankan tetap konstan

#### **H. Fungsi Sistem Udara**

Fungsi utama sistem udara adalah untuk udara pembakaran, fungsi tambahan lainnya yang tak kalah pentingnya dari sistem udara adalah :

1. Air to oil seals  
untuk mencegah masuknya lube oil ke bagian turbin yang tidak dikehendaki.
2. Pendinginan turbin rotor
3. Pendinginan nosel tingkat pertama
4. Membantu mesin mencapai putaran operasinya dengan halus dengan jalan mencegah surge pada putaran kritis
5. Dipakai untuk kontrol air pada fuel control valve

#### **1. Udara Pembakaran**

Sistem udara ini dimulai sejak terjadinya putaran mesin yang mengisap udara dari udara luar. Udara dikompresikan kemudian diarahkan ke dalam ruang bakar (combustion chambers). Dimana fuel

diinjeksikan atau disemprotkan ke dalam ruang bakar bercampur dengan udara pembakaran membentuk campuran yang mudah terbakar atau combustible air. Campuran yang mudah terbakar ini kemudian dibakar.

## **2. Bleed Valve**

kejadian di sini adalah proses merubah udara menjadi gas panas yang mengembang dalam bagian turbin, menghasilkan energi mekanis, dan dibuang ke atmosfer melalui exhaust collector.

Udara dibuang dari combustor housing pada putaran mesin dibawah 75% untuk membantu mencegah surge pada saat mesin berakselerasi. Untuk itu bleed air valve yang terletak pada bagian discharge kompressor membuang udara keluar exhaust collector.

Kompressor bleed air valve, dipasang pada combustor housing assembly. Katup ini mengurangi tekanan balik yang terjadi dalam kompressor pada waktu siklus start.

Dengan cara ini tekanan udara yang dapat menyebabkan mesin mengalami surge pada putaran kritis selama siklus start berlangsung bisa dihindari. Sedang pada putaran mesin yang lebih tinggi dari 75 %, seluruh aliran udara dari mesin kompressor digunakan agar mesin dapat beroperasi dengan normal.

## **I. Sistem Bahan Bakar**

Sistem bahan bakar ini menyuplai bahan bakar ke fuel injektor pada ruang bakar, pada tekanan dan jumlah aliran yang sesuai dengan yang diperlukan mesin turbin gas. Sistem ini secara otomatis mengatur bahan bakar selama mesin berakselerasi dan mengatur selama mesin beroperasi dengan beban bervariasi.

## **J. Generator**

Dari bagian kelistrikannya Generator AC merupakan komponen utama pada TG yang termasuk jenis mesin serempak (mesin sinkron). Generator AC atau Alternator merupakan suatu peralatan yang mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik arus bolak-balik. Dibandingkan dengan generator DC, generator AC lebih cocok untuk pembangkitan tenaga listrik yang berkapasitas besar. Hal ini didasarkan atas pertimbangan-pertimbangan, antara lain:

1. Timbulnya masalah komutasi pada generator DC
2. Timbulnya persoalan dalam hal menaikkan dan menurunkan tegangan pada listrik DC
3. Listrik AC mudah untuk diubah menjadi listrik DC
4. Masalah efisiensi mesin dan lain-lain pertimbangan

### **1. Prinsip Kerja Generator Sinkron**

Prinsip kerja dari generator sinkron berdasarkan induksi elektromagnetik. Setelah rotor diputar oleh penggerak mula, dengan demikian kutub-kutub yang ada pada rotor akan berputar. Jika

kumparan kutub diberi arus searah, maka pada permukaan kutub akan timbul medan magnet (garis-garis gaya fluks) yang berputar, kecepatannya sama dengan putaran kutub,

Garis-garis gaya fluks yang berputar tersebut akan memotong kumparan jangkar yang ada di stator sehingga pada kumparan jangkar tersebut timbul gaya gerak listrik atau tegangan induksi. Frekwensi tegangan induksi tersebut mengikuti

Persamaan :

$$f = \frac{p \times n}{120} \text{ Hz} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana

p = banyaknya kutub

n = kecepatan sinkron

f = frekwensi

Karena frekuensi dari tegangan induksi tersebut di Indonesia sudah tertentu 50 Hz dan jumlah kutub selalu genap, maka putaran kutub/putaran rotor/putaran bergerak mula sudah tertentu.

## 2. Jenis Generator AC

Ada dua jenis generator dilihat dari letak konstruksi kumparannya, yaitu :

- a. Generator kutub luar
- b. Generator kutub dalam

- a. Generator kutub luar



Pada generator kutub luar, belitan jangkar diletakan pada rotornya yang putar, sedangkan belitan medan diletakan pada statornya. Tegangan dan arus generator dihasilkan dari kumparan jangkar dengan menggunakan cincin geser serta sikat arang. Karena cincin geser dan sikat arang tidak mampu menyalurkan arus dan tegangan yang besar sehingga penggunaan untuk kapasitas yang besar tidak dapat akan



Gambar 2.5 konstruksi mesin kutub luar

b. Generator kutub dalam

Jenis generator kutub dalam banyak digunakan sebagai sumber tenaga. Pada jenis ini belitan jangkar dipasang stator pada sedangkan belitan medannya ditempatkan pada rotor dengan alasan :

- 1) Belitan jangkar lebih kompleks dari pada belitan medan sehingga lebih mudah dan lebih terjamin ditempatkan pada struktur yang diam serta tegar yakni stator.

- 2) Lebih mudah mengisolasi dan melindungi belitan jangkar terhadap tegangan yang tinggi.
- 3) Pendinginan belitan jangkar mudah karena inti stator yang dibuat cukup besar sehingga dapat didinginkan dengan udara paksa.
- 4) Belitan medan mempunyai tegangan rendah sehingga dapat efisien bila dipakai pada kecepatan tinggi.

Tegangan dan arus keluaran generator diambil langsung dari belitan jangkar yang tidak berputar dan tidak diambil melalui cincin geser dan sikat lagi. Cincin geser dan sikat tetap digunakan untuk menyalurkan arus searah ke belitan medan yang menghasilkan medan elektromagnetik dengan polaritas tetap yang memutar rotor, tetapi yang dihasilkan relatif kecil.



Gambar 2.6 Konstruksi mesin kutub dalam

### 3. Susunan (Konstruksi)

Susunan dalam konstruksi generator AC lebih sederhana bila dibandingkan dengan generator DC. Adapun bagian-bagian dari generator adalah:

a. Rangka stator

Dibuat dari besi tuang. Rangka ini merupakan rumah komponen-komponen didalamnya. Rangka stator ini secara langsung mengalirkan udara melalui bagian-bagian generator untuk pendinginan dan juga sebagai tempat terminal output generator.

b. Stator

Bagian ini tersusun dari plat-plat baja dengan tujuan untuk mereduksi kerugian arus eddy. Dimana pada stator ini mempunyai alur-alur sebagai tempat belitan stator. belitan stator ini berfungsi sebagai tempat terjadinya GGL induksi. Belitan stator ini dirangkai untuk hubungan tiga fasa yang terdiri atas :

1) Belitan satu lapis (single layer winding)

Belitan satu lapis ini bentuknya dua macam :

a) Mata rantai

b) Gelombang

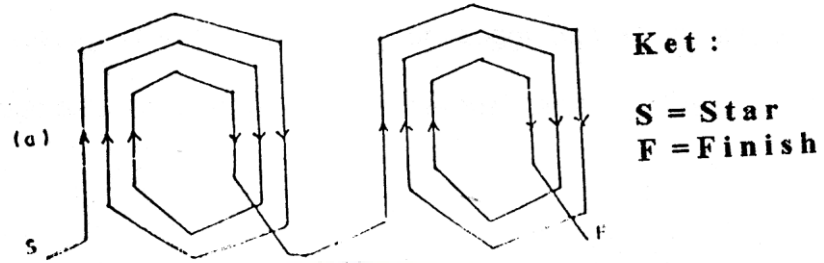
2) Belitan dua lapis (double layer winding)

Belitan dua lapis ini bentuknya dua macam

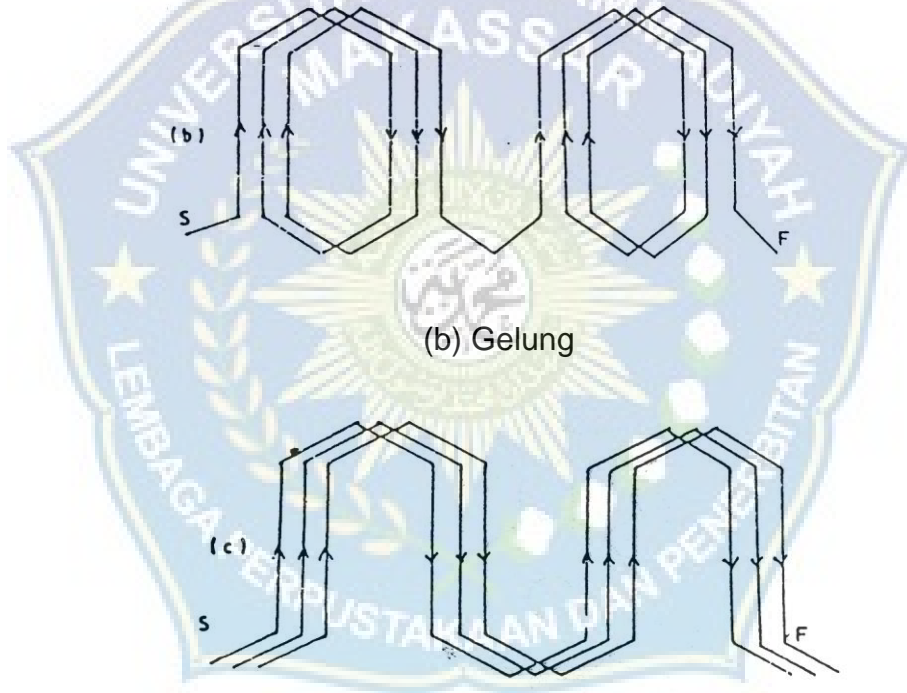
a) Jenis gelombang

b) Jenis gelung

Jenis belitan ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



(a) Konsentris atau Spiral



(c) Gelombang

Gambar 2.7 Rangkaian belitan jangkar di stator

Ujung-ujung dari belitan ini kemudian dipasang pada terminal box dengan hubungan bintang atau segitiga. Hubungan bintang adalah yang paling umum karena dengan sendirinya

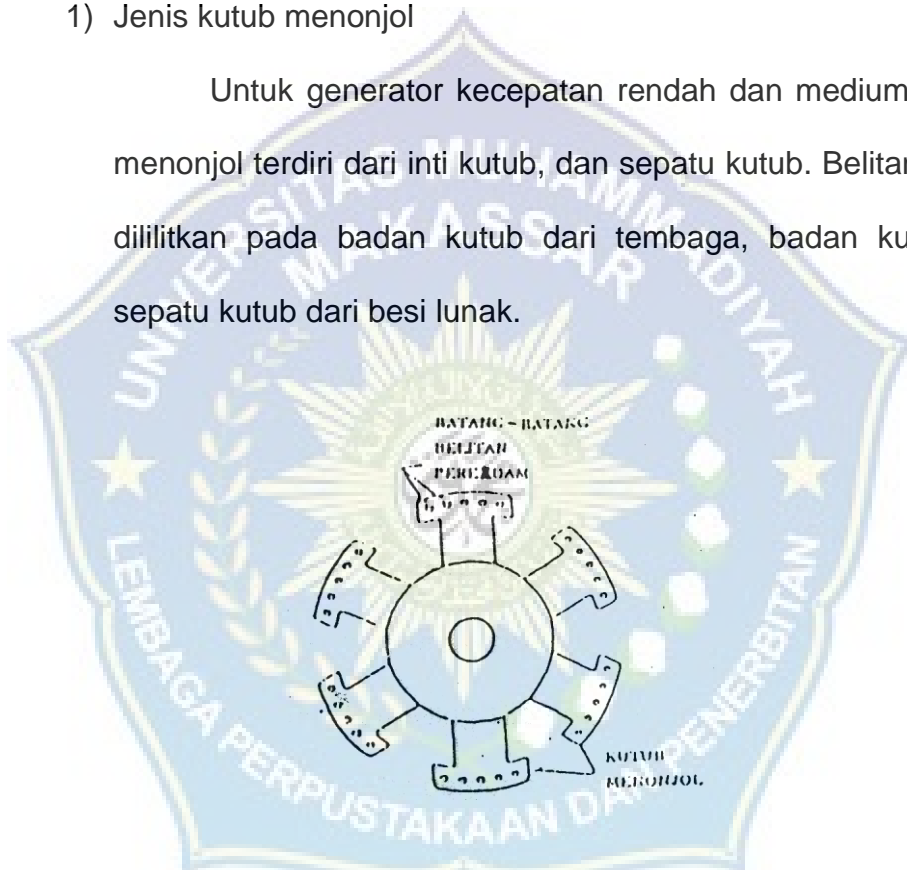
langsung memberikan tegangan tinggi dan kawat netral dapat dikeluarkan bersama tiga saluran membentuk sistim empat kawat tiga fasa.

c. Rotor

Konstruksi rotor terdiri dari dua jenis :

1) Jenis kutub menonjol

Untuk generator kecepatan rendah dan medium . Kutub menonjol terdiri dari inti kutub, dan sepatu kutub. Belitan medan dililitkan pada badan kutub dari tembaga, badan kutub dan sepatu kutub dari besi lunak.

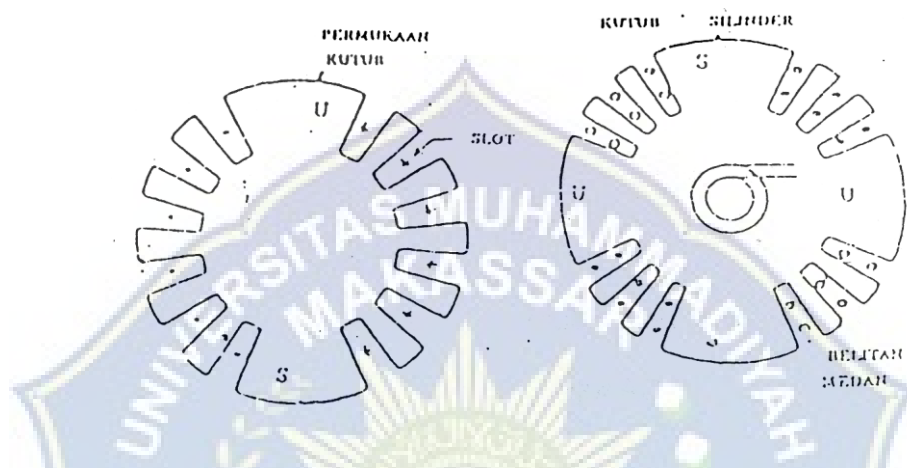


Gambar 2.8 Penampang rotor untuk jenis kutub menonjol dengan belitan peredam

2) Jenis kutub silinder

Untuk generator dengan kecepatan tinggi (turbo generator) dengan kumparan kutub yang sedikit terdiri dari alur-alur yang dipasang kumparan medan dan gigi-gigi. Alur dan gigi tersebut terbagi atas pasangan-pasangan kutub. Kumparan

kutub dari kedua macam kutub tersebut dihubungkan dengan cincin geser untuk memberikan arus searah sebagai penguat medan. Arus searah ini dari sumbernya disalurkan iui sikat kemudian ke cincin geser.



Gambar 2.9 Penampang rotor untuk jenis kutub silinder

d. slip ring (cincin geser)

Dibuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan m isolasi. Slip ring itu berputar bersama-sama dengan poros dan rotor. Jumlah ring ada dua buah dimana masing-masing slip ring dapat menggeser sikat arang i sikat positif dan sikat negatif yang berguna untuk mengalirkan arus penguat nit ke lilitan magnit pada rotor.

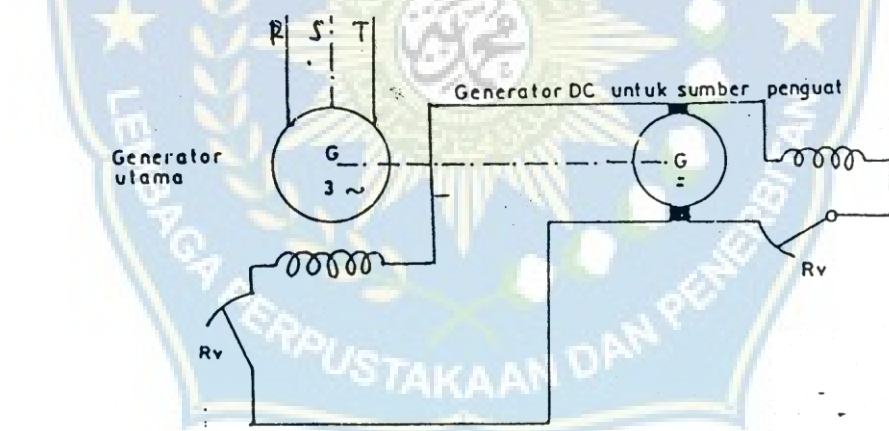
e. Generator Penguat

Generator penguat adalah suatu generator arus searah yang dipakai sebagai sumber arus. Biasanya yang dipakai adalah dinamo shunt. Generator arus searah biasanya dikopel terhadap

mesin pemutarnya bersama generator utama. Akan tetapi sekarang banyak generator yang tidak menggunakan generator arus searah sebagai sumber penguat, tetapi mengambil sebagian kecil dari belitan statornya, ditransformasikan kemudian disalurkan dengan dioda sebagai penguat magnitnya.

#### 4. Eksitasi Generator AC

Sistem eksitasi konvensional sebelum tahun 1960 terdiri dari sumber arus searah yang dihubungkan ke medan generator AC melalui dua cincin slip dan sikat sumber DC yang biasanya digerakan motor atau generator DC dengan penggerak mula yang sama yang diberikan oleh generator AC.



Gambar 2.10 Generator dengan penguat generator shunt

Sistem pembangkitan lain yang masih digunakan baik dengan generator i type kutub sepatu maupun type rotor silinder sepatu adalah sistem tanpa ikat dimana generator AC kecil dipasang pada poros yang sama sebagai pengeksitasi. Pengeksrtasi AC mempunyai jangkar

yang berputar, keluarannya dan disearahkan oleh penyearah dioda silikon yang dipasang pada poros yang diberikan langsung dengan hubungan isolasi sepanjang poros ke medan ator sinkron yang berputar. Medan dari pengeksitasi AC adalah stasioner dan  $j$  dari sumber DC terpisah. Keluaran dari pengeksitasi AC merupakan tegangan dibangkitkan oleh generator sinkron yang dapat dikendalikan dengan mengubah kekuatan medan pengeksitasi AC.

#### **K. Macam-macam Gangguan PLTG**

Macam-macam gangguan PLTG dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

##### **1. Gangguan Listrik**

Jenis gangguan ini adalah gangguan yang timbul dan terjadi pada bagian listrik dari pembangkitan dalam hal ini yang berhubungan dengan generator, gangguan tersebut antara lain:

###### **a. Stator hubung singkat satu fasa ke tanah (Stator ground fault)**

Gangguan stator -hubung tanah tidak dapat dideteksi oleh relay akibat impedansi netral ke tanah sangat tinggi, akibat gangguan stator ke tanah menimbulkan bunga api yang bisa menimbulkan kebakaran dan merusak isolasi serta inti besi.

###### **b. Rotor Hubung Tanah (Fault Ground)**

Pada rotor generator yang belitannya tidak dihubungkan ke tanah, salah satu sisi hubung ke tanah belum menjadi masalah. tetapi bila sisi lainnya terhubung ke inti maka akan terjadi arus



medan pada bagian yang belitan yang terhubung tingkat melalui tanah. akibatnya terjadi ketidakseimbangan fluksi yang menimbulkan vibrasi yang berlebihan dan kerusakan fatal pada rotor yang dapat membahayakan generator maupun penggerakannya. Besarnya getaran mekanis yang timbul sangat dipengaruhi jarak bantalan penyangga generator dari penggerakannya.

c. Kehilangan medan penguat (Loss OF Excitation)

Hilangnya medan penguat akan membuat putaran mesin naik dan berfungsi sebagai generator induksi. Kondisi ini akan berakibat pemanasan lebih pada rotor akibat arus Induksi yang bersirkulasi pada rotor.

- Kehilangan medan penguat dapat dimungkinkan oleh:
- Jatuhnya (Trip) saklar penguat
  - Hubung singkat pada belitan penguat
  - Kerusakan kontak-kontak sikat arang pada sistem penguat
  - Kerusakan pada sistem AVR

d. Tegangan Lebih

Tegangan yang berlebihan melampaui batas maksimum yang diijinkan dapat akibat tembusnya desain isolasi yang akhirnya dapat menimbulkan hubung singkat antar belitan. Tegangan lebih dapat dimungkinkan oleh putaran mesin lebih atau kerusakan pada pengatur tegangan otomatis.

## **2. Gangguan Mekanik**

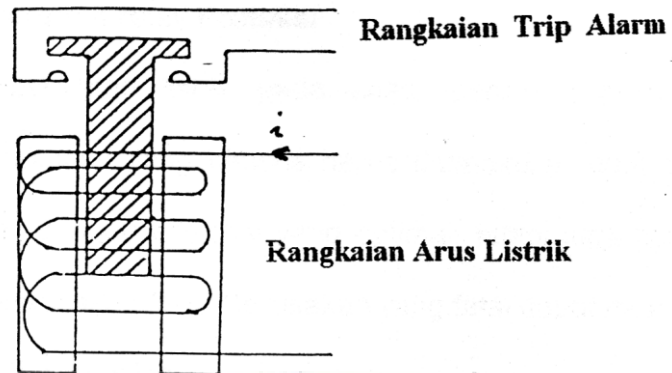
Gangguan mekanik yaitu gangguan yang terjadi akibat hilangnya beban secara tiba-tiba atau terputusnya aliran ke beban yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat sehingga frekwensi akan menjadi naik. Kenaikan frekwensi ini akan dipengaruhi kecepatan putaran dari turbin. Semakin naik nilai frekwensi maka putaran turbin semakin tinggi putaran sehingga melampaui putaran nominalnya (over speed). Hal ini dapat menyebabkan mesin menjadi panas dan akhirnya akan merusak mesin dan proses pembangkitan terhenti.

### **L. Sistem Proteksi**

Sistem proteksi yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga gas pada unit pembangkitan 1 Makassar adalah :

#### **1. Relay Proteksi**

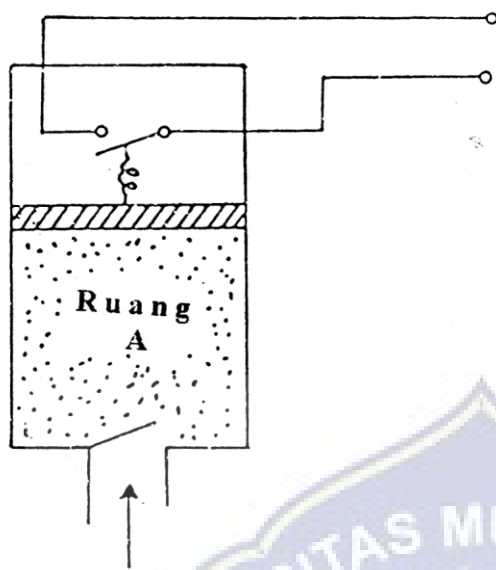
Relay adalah alat yang bekerja secara otomatis mengatur atau memasukkan suatu rangkaian listrik (rangkai trip atau alarm) akibat adanya perubahan rangkaian lain



Gambar 2.11 Contoh Relay Listrik

Pada gambar 2.11 rangkaian trip atau alarm akan kontak apabila ada perubahan nilai tertentu dari nilai rangkaian listrik lainnya, relay ini biasanya disebut relay listrik.





### Rangkaian trip alarm

Rangkaian trip alarm akan masuk apabila tekanan dalam ruang A mencapai nilai tertentu akibat adanya perubahan dari rangkaian hydraulic atau pneumatik relay ini biasa disebut relay hydraulic atau relay pneumatic

### Rangkaian hydraulic atau pneumatic

Gambar 2.12 relay Pneumatik atau Hydraulic

Relay proteksi adalah suatu relay listrik yang digunakan untuk mengamankan peralatan-peralatan listrik terhadap kondisi abnormal.

## 2. Fungsi dan Peranan relay Proteksi

Nilai investasi peralatan listrik pada suatu pembangkit listrik sedemikian besarnya sehingga perhatian yang khusus harus diutamakan agar setiap peralatan tidak hanya beroperasi dengan efisiensi yang optimal, tetapi juga harus teramankan dari kecelakaan atau kerusakan fatal. Kerusakan yang fatal dapat menimbulkan:

- Kerugian biaya investasi
- Kerugian operasi
- Terganggunya pelayanan

Untuk itu relay proteksi sangat diperlukan pada peralatan pembangkit. Relay Meksi adalah suatu perangkat kerja proteksi yang mempunyai fungsi dan peranan :

- a. Memberikan sinyal alarm atau melepas pemutus tenaga (Circuit Breaker) dengan tujuan mengisolir gangguan atau kondisi yang tidak normal seperti adanya : beban lebih, tegangan lebih, kenaikan suhu, beban tidak seimbang, daya balik, frekuensi rendah, hubung singkat, dan kondisi abnormal lainnya.
- b. Melepas atau mentrip peralatan yang berfungsi tidak normal untuk mencegah timbulnya kerusakan.
- c. Melepas atau mentrip peralatan yang terganggu secara cepat dengan tujuan mengurangi kerusakan yang lebih berat
- d. Melokalisir kemungkinan dampak akibat gangguan dengan memisahkan peralatan yang terganggu dan sistem. Peralatan yang terganggu dapat menyebabkan gangguan pada peralatan lain yang berada pada sistem.
- e. Melepas peralatan atau bagian yang terganggu secara cepat dengan maksud menjaga stabilitas sistem, kontinuitas pelayanan dan kerja sistem.

Secara umum fungsi dan peranan relay proteksi adalah:

- a. Mencegah kerusakan
- b. Membatasi kerusakan
- c. Mencegah meluasnya gangguan sistem.

### 3. Syarat-syarat Relay Proteksi

Adapun beberapa syarat-syarat dari relay proteksi yang harus dipenuhi:

a. Andal (Reliable)

Dalam keadaan normal, tidak ada gangguan, relay tidak bekerja mungkin berbulan-bulan atau bertahun-tahun, Tetapi bila pada suatu saat ada gangguan, maka ia harus bekerja dalam hal ini relay tidak boleh gagal bekerja karena daman akan meluas. Disamping itu relay juga tidak boleh salah bekerja.

b. Cepat (Speed)

Waktu kerja relay cepat, makin cepat relay bekerja maka tidak hanya dapat memperkecil kerusakan akibat gangguan tetapi juga memperkecil kerusakan gangguan. Adakalanya dari selektifitas dikehendaki adanya penundaan waktu, tetapi secara keseluruhan tetap dikehendaki waktu kerja relay yang cepat. Jadi harus dapat berikan selektifitas yang baik dengan waktu yang cepat.

c. Kepekaan (Sensitive)

Relay dikatakan peka bila dapat bekerja dengan masukan dan besaran yang deteksi adalah kecil. jadi relay dapat bekerja pada awal kejadian.

d. Efektif (Selective)

Relay proteksi bertugas mengamankan suatu alat atau bagian dari sistem tenaga listrik dalam jangkauan pengamannya. Letak PMT sedemikian rupa sehingga setiap bagian dari sistem dapat dipisah-pisahkan. Tugas relay adalah mendeteksi adanya gangguan

Yang terjadi pada daerah pengamannya dan member! perintah untuk buka PMT dan memisahkan bagian sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi dengan normal. Dikatakan selektif bila relay proteksi bekerja hanya pada ah yang terganggu saja.

#### 4. Jenis-jenis Relay Proteksi

Jenis proteksi pada generator ada bermacam-macam antara lain:

a. Relay Daya Balik (Reverse Power Relay)

Relay daya batik berfungsi untuk mendeteksi aliran daya aktif yang masuk ah generator. Berubahnya aliran daya aktif kearah generator berakibat berubahnya kerja generator sebagai motor. Perubahan ini disebabkan oleh pengaruh rendahnya input dari penggerak mula generator. Bila input ini tidak dapat mengatasi rufi-rugi yang ada, maka kekurangan daya dapat diperoleh dengan cara menyerap daya aktif dari sistem.

b. Proteksi Rotor Hubung Tanah (Rotor Earth Protection)

Relay ini mendeteksi gangguan rotor ke tanah. Relay ini bekerja bila ada perubahan arus yang sangat besar pada belitan rotor yang disebabkan oleh hubung singkat belitan rotor ke tanah, karena gangguan ini akan menimbulkan getaran anis sebagai akibat distorsi medan penguat yang dapat membahayakan generator.

c. Relay Deferensial

Relay Deferensial merupakan pengaman utama pada generator maupun untuk gangguan hubung singkat antar fasa dan fasa ke tanah pada generator pentanahan langsung.

d. Relay Stator Hubung Tanah

Prinsip penggunaan relay ini pada generator dipengaruhi oleh sistem tanahnya. Sistem pentanahan pada generator dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu:

- 1) Pentanahan dengan trafo distribusi
- 2) Pentanahan dengan tahanan
- 3) Pentanahan dengan reaktansi
- 4) Pentanahan langsung Tidak ditanahkan.

Pentanahan dengan tahanan dan reaktansi disebut pentanahan impedansi. Pada sistem pentanahan impedansi, arus urutan nol pada rangkaian digunakan sebagai besar ukurnya. Relay



yang digunakan untuk mendeteksi arus urutan nol adalah relay arus lebih pada pentanahan impedansi.



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat**

##### **a. Waktu**

Pembuatan tugas akhir ini akan dilaksanakan selama 6 bulan, mulai dari Maret 2023 sampai dengan September 2023 sesuai dengan perencanaan waktu yang terdapat pada jadwal penelitian.

##### **b. Tempat**

Penelitian dilaksanakan di Jl. Urif Sumiharjo KM.7. Tello Baru Kota Makassar

#### **B. Metode Penelitian**

Metode penelitian ini berisikan langkah-langkah yang ditempuh penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Metode penelitian ini disusun untuk memberikan arah dan cara yang jelas bagi penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

#### **C. Langkah-langkah Penelitian**

Metode penulisan ini berisikan langkah-langkah yang ditempuh penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Metode penulisan ini disusun untuk memberikan arah dan cara yang jelas bagi penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

Adapun langkah-langkah yang ditempuh oleh penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Metode Pustaka

Yaitu mengambil bahan-bahan penulisan tugas akhir ini dari referensi-referensi serta literatur-literatur yang berhubungan dengan masalah yang dibahas.

2. Metode Penelitian

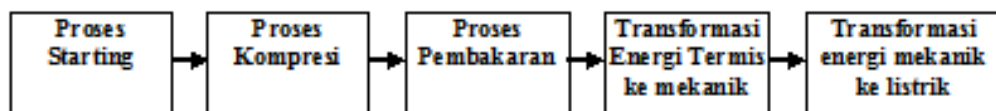
Mengadakan penelitian dan pengambilan data di Pembangkit Listrik Tenaga Gas pada unit pembangkitan di Makassar. Kemudian mengevaluasi dan menyimpulkan.

3. Metode Diskusi / Wawancara

Yaitu mengadakan diskusi / wawancara dengan dosen yang lebih mengetahui bahan yang akan kami bahas atau dengan pihak praktisi di Pembangkit Listrik Tenaga Gas pada unit pembangkitan di Makassar .

**D. Gambar Proses Operasi PLTG**

Pada dasarnya prinsip kerja dari pengoperasian PLTG adalah berdasarkan urutan kerja sesuai pada gambar berikut :





Gambar 3.1 Proses pengoperasian PLTG

Adapun urutan kerja dari proses pengoperasian PLTG tersebut sebagai berikut

1. Proses Starting
2. Proses Kompresi
3. Proses Pembakaran
4. Transformasi Energi Termis ke Mekanik
5. Transformasi Energi Mekanik ke Listrik.

Dalam memutar sebuah turbin gas maka terlebih dahulu diperlukan peralatan star. Peralatan star ini dinamakan Diesel Starting. Diesel Starting memperoleh tegangan listrik untuk star dari baterai DC

120 Volt, kemudian Diesel Starting memutar poros turbin untuk memindahkan putarannya ke turbin gas dengan perantara sebuah coupling. Pada putaran 20 % dari putaran nominalnya (1100 rpm) maka bahan bakar mulai masuk ke ruang takar dalam waktu 1 menit (60 detik ) dan dinyalakan dengan penyalaan busi.

Jika putaran turbin mencapai harga dimana daya yang dihasilkannya dapat memikul beban sendiri (kompresor) maka coupling akan terlepas antara alat penggerak dan turbin gas.



## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Jenis-jenis PLTG

Dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik di Makassar dan sekitarnya, maka pemerintah dalam hal ini PLN membangun beberapa pusat pembangkit listrik untuk menunjang kelancaran pasokan listrik yang berlokasi di Unit pembangkitan I (dulunya sektor Tello), pusat pembangkit listrik itu antara lain PLTU, PLTD, dan PLTG.

Dalam penelitian ini penulis hanya mempelajari dan mengambil data tentang PLTG, dimana PLTG yang ada pada Unit Pembangkitan I ada 3 jenis yaitu :

1. PLTG Westcan
2. PLTG Alsthom
3. PLTG GE (General Electric)

#### 1. PLTG WESTCAN

##### A. Turbin Gas

Model/Seri : MS. 7001-21

Siklus : Sederhana

Jumlah Poros : 1 (satu)

Kompresor : 17 tingkat

Turbin : 2 tingkat

Putaran poros turbin : 5100 rpm

Bahan bakar : HSD (Solar)

Inlet Temperatur : 30,5° C

#### B. Generator

Merk : Westcan – Kanada

Daya terpasang : 14,46 MW

Putaran : 3000 rpm

Faktor Daya : 0,8

Tegangan : 11 Kvolt

Frekuensi : 50 Hz

Jumlah Phase : 3

#### C. Diesel Engine Detroit

Model : 9342-2471

Serial : 3128-3821

Putaran : 2300 rpm

#### D. Motor Starter

Merk : SL-1852

Serial : 8004

Frame : BD

Tegangan : 125 Volt

Arus : 80 A

Sycle : DC

## 2. PLTG Alsthom

### A. Turbin Gas

Model/Seri	: MS . 5001
Siklus	: sederhana (terbuka)
Jumlah Poros	: 1 (satu)
Kompresor	: 17 tingkat
Turbin	: 2 Tingkat
Putaran poros turbin	: 5100 rpm
Bahan bakar	: HSD (solar)
Inlet Temperatur	: 30 C

### B. Generator

Merk	: Alsthom Belford-France
Daya terpasang	: 21.35 MW
Putaran	: 3000 rpm
Faktor Daya	: 0,8
Tegangan	: 11 K.Volt
Frekuensi	: 50 Hz
Jumlah Phase	: 3

### C. Diesel Engine Detroit

Model	: 7123-7000
Serial	: 12 Va-76367
Putaran	: 2300 rpm



#### D. Motor starter

Merk	: ST-1690-3
Serial	: 15867
Frame	: BD
Tegangan	: 125 Volt
Arus	: 80 A
Sycle	: DC

### 3. PLTG GE (General Electric)

#### A. Turbin Gas

Model/Seri	: MS. 6001-bc
Siklus	: Sederhana (terbuka)
Jumlah Poros	: 1 (satu)
Kompresor	: 24 tingkat
Turbin	: 3 Tingkat
Putaran poros turbin	: 5100 rpm
Bahan bakar	: HSD (solar)
Inlet Temperatur	: 31,5° C

#### B. Generator

Merk	: General Electric-6A.3-USA
Daya terpasang	: 33.44 MW
Putaran	: 3000 rpm
Faktor Daya	: 0,8
Tegangan	: 11 K.Volt

Frekuensi : 50 Hz

Jumlah Phase : 3

#### C. Diesel Engine Detroit

Model : R-05670-325

Serial : G-A1632-62

Putaran : 2300 rpm

#### D. Motor starter

Merk : S-GE-753-04

Serial : 2563

Frame : BD

Tegangan : 125 Volt

Arus : 80 A

Sycle : DC

#### B. Peralatan bantu pada PLTG

- Lub Oil Pump
- Compartment Cooling Air Fan
- Fan Radiator
- Filter Air Turbine
- Accessories Compartment Heater
- Turbine Compartment Cooling Fan
- Emergency Fuel Oil Pump
- Diesel Starter
- Battery Charger-120 V

- Trafo Pin Fan
- Rectifier
- Generator Aux Compertement
- Turbin Control Compertment
- Turning Gear
- Exciter
- Trafo Busi

### **C. Jenis-jenis Relay Proteksi**

Didalam pengoperasian PLTG, tidak selamanya dapat berjalan sesuai dengan prosedur yang ada, karena kemungkinan terjadi kegagalan pengoperasian yang disebabkan adanya beberapa gangguan sehingga mengakibatkan kerusakan pada mesin. Gangguan ini bisa saja terjadi pada saat PLTG sedang beroperasi. Untuk menghindari hal tersebut diatas maka langkah yang perlu ditempuh adalah melengkapi PLTG dengan sistem proteksi yang bertujuan bila suatu saat terjadi gangguan tidak langsung merusak mesinnya.

Adapun jenis proteksi kelistrikan yang digunakan pada PLTG Unit Pembangkitan i Makassar antara lain:

1. Relay Deferensial (untuk gangguan hubung singkat antara fasa ke fasa dan fasa ke tanah).
2. Relay Stator Hubung Tanah Tipe 51GN (untuk gangguan stator ke tanah),.

3. Proteksi Rotor Hubung Tanah Tipe 6 4 F (untuk gangguan rotor ke tanah).
4. Relay Daya Balik Tipe CRV-1 (untuk mendeteksi aliran daya aktif yang masuk ke arah generator).
5. Relay Kehilangan Medan Penguat Tipe KLF (untuk mendeteksi dan mencegah pemanasan pada saat kehilangan medan penguat).
6. Automatic Voltage Regulator ( untuk gangguan tegangan lebih dan tegangan rendah)

#### **D. Proses Operasi PLTG pada Unit Pembangkitan I Makassar**

Pada dasarnya prinsip kerja dari pengoperasian PLTG pada Unit Pembangkitan 1 Makassar adalah sama, dimana proses-proses pengoperasian PLTG tersebut berdasarkan urutan kerja sesuai pada gambar berikut :

Adapun urutan kerja dari proses pengoperasian PLTG tersebut sebagai berikut

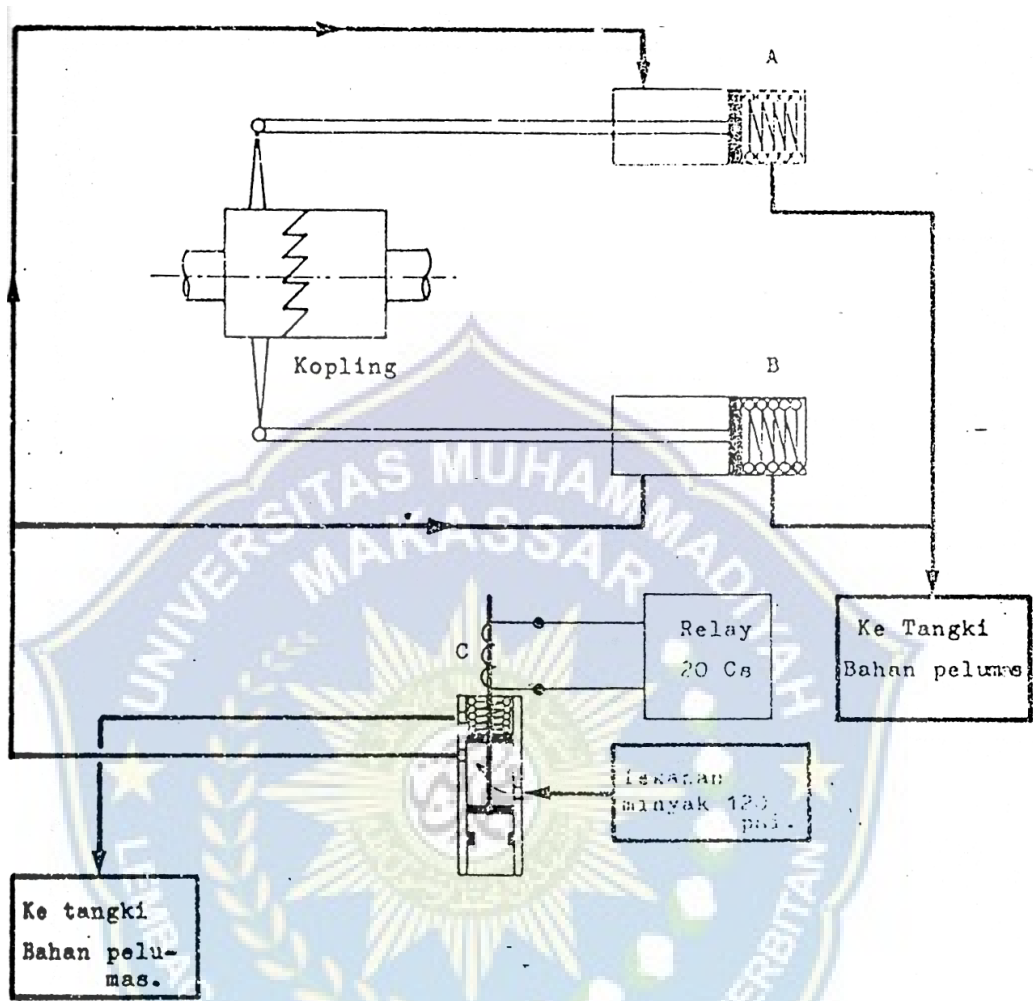
1. Proses Starting
2. Proses Kompresi
3. Proses Pembakaran
4. Transformasi Energi Termis ke Mekanik
5. Transformasi Energi Mekanik ke Listrik

## 1. Proses Starting

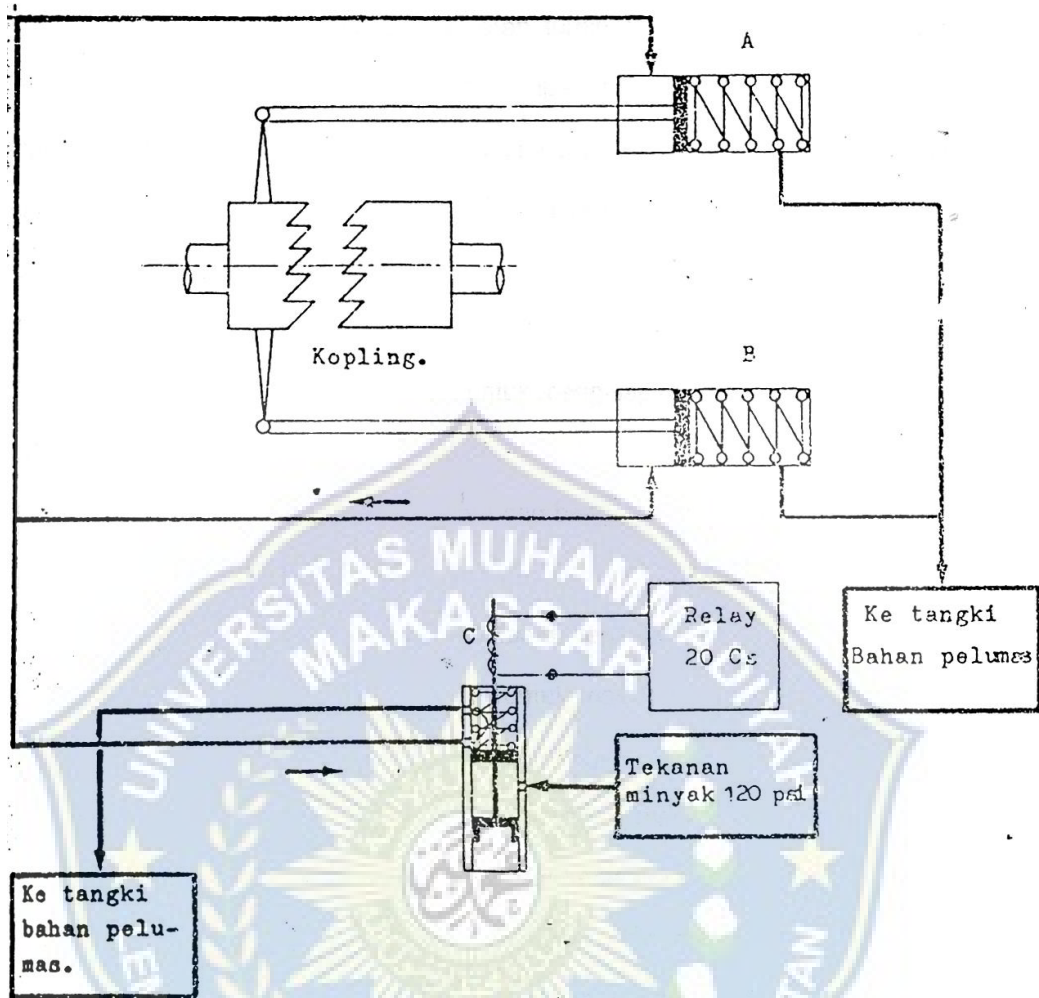
Untuk memutar sebuah turbin gas maka terlebih dahulu diperlukan peralatan star. Peralatan star ini dinamakan Diesel Starting. Diesel Starting memperoleh tegangan listrik untuk star dari baterai DC 120 Volt, kemudian Diesel Starting memutar poros turbin untuk memindahkan putarannya ke turbin gas dengan perantara sebuah coupling. Pada putaran 20 % dari putaran nominalnya (1100 rpm) maka bahan bakar mulai masuk ke ruang takar dalam waktu 1 menit (60 detik ) dan dinyalakan dengan penyalaan busi.

Jika putaran turbin mencapai harga dimana daya yang dihasilkan dapat memikul beban sendiri (kompresor) maka coupling akan terlepas antara alat penggerak dan turbin gas. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.2 dan gambar 3.3 cara memasukkan coupling dan memisahkan coupling.

Pada gambar 3.2 menunjukkan cara memasukkan coupling dimana jika relay 20 cs memberikan signal listrik ke koil C maka piston akan terangkat dan minyak mengalir ke tabung A dan B dan minyak tersebut akan menekan piston sehingga coupling akan masuk. Sedangkan pada gambar 3.3 menunjukkan cara memisahkan coupling dimana jika relay 20cs tidak memberikan signal listrik ke koil C, maka pegas akan menekan piston ke bawah dan aliran minyak ke tabung A dan B tertutup serta pegas pada tabung A dan B menekan piston sehingga coupling akan terpisah.



Gambar 4.1 Cara memasukkan coupling



Gambar 4.2 Cara memisahkan Coupling

## 2. Proses Kompresi

Setelah lepasnya coupling dan putaran turbin mencapai 60 % dari putaran nominalnya (3600 rpm), maka diesel starting juga lepas yang kemudian dilanjutkan dengan bekerjanya kompresor. Peranan kompresor adalah untuk mensupply udara bertekanan ke dalam ruang bakar turbin gas, Kompresor ini seporos dengan turbin, dan terdiri dari dua bagian pokok yaitu

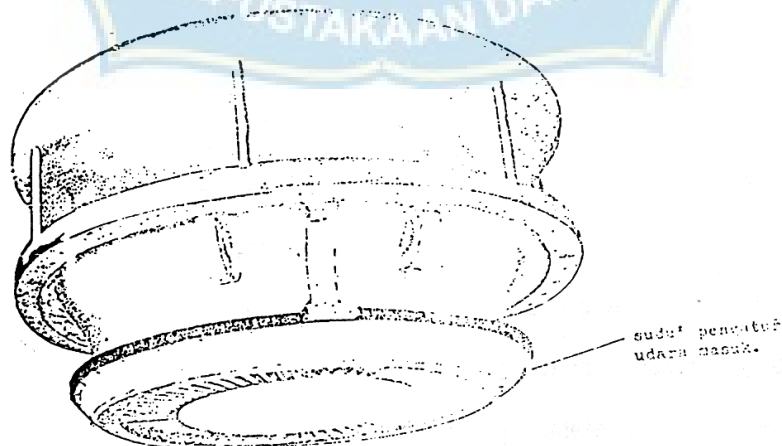
a. Rotor.

Terdiri dari sudu gerak yang berfungsi untuk mengisap dan penekanan udara.

b. Stator.

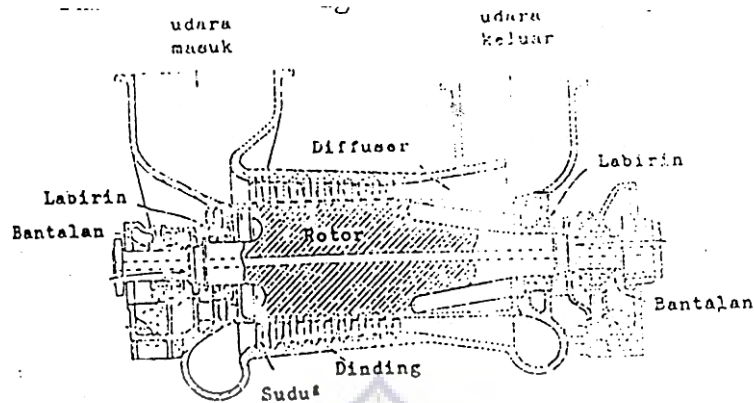
Bagian dari pada kompressor yang diam dan berfungsi untuk mengarahkan aliran udara ke sudu geraknya.

Sudu pengatur (gambar 3.4) ditempatkan di depan kompressor yang mengisap udara yang diperoleh dari udara lingkungan untuk masuk ke kompressor, kemudian sudu-sudu gerak pada rotor kompressor mendorong udara dan menjamin pergerakan aliran udara dalam kompressor (gambar 3.5). Untuk mendapatkan tekanan yang tinggi maka konstruksi tingkat kompressor makin kebelakang makin menyempit atau saluran udara keluar semakin kecil, sehingga volume udara makin mengecil pula yang akan mengakibatkan tekanan udara makin naik dalam kondisi temperatur normal yaitu  $260^{\circ}\text{C}$ . Udara bertekanan tinggi ini kemudian dialirkan ke ruang bakar.



Gambar 4.3 sudu pengaturan udara masuk kompressor



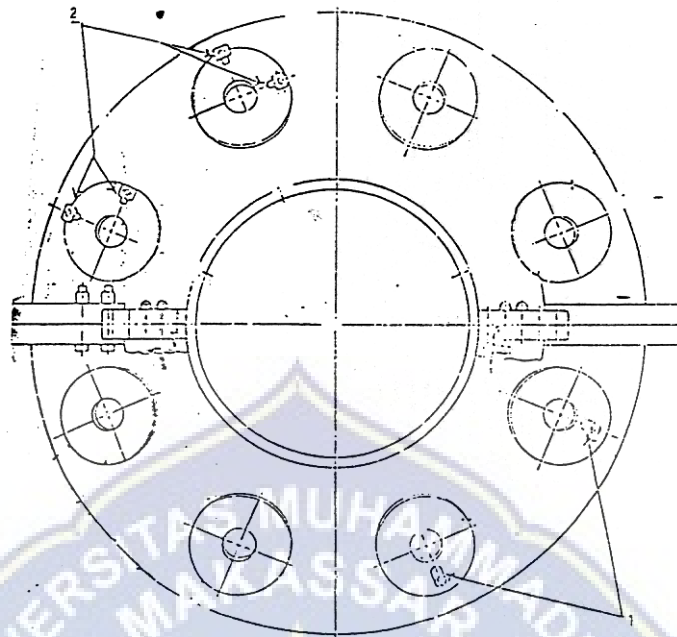


Gambar 4.4 Kontruksi Kompresor

### 3. Proses Pembakaran

Udara bertekanan tinggi yang dihasilkan dari proses kompresi dialirkan ke dalam ruang bakar yang sebagian kecil dari udara tersebut dipergunakan untuk pengabutan bahan bakar dalam ruang bakar, sedangkan sebagian besar dari udara tersebut digunakan untuk mendinginkan ruang bakar (yang menyebabkan pemanasan pertama) terhadap udara tersebut.

Pembakaran terjadi akibat dari persenyawaan (reaksi) antara molekul-molekul oksigen atau udara dengan molekul-molekul bahan bakar (solar). Di dalam ruang bakar ini udara yang masuk dan dicampur dengan bahan bakar atau dengan kata lain udara tersebut ditambahkan energi termis dipanaskan dengan bekerjanya busi nyala api. Pada saat terjadi proses pembakaran, nyala api dideteksi oleh flame detektor. Susunan ruang bakar dapat dilihat pada gambar 3.6.



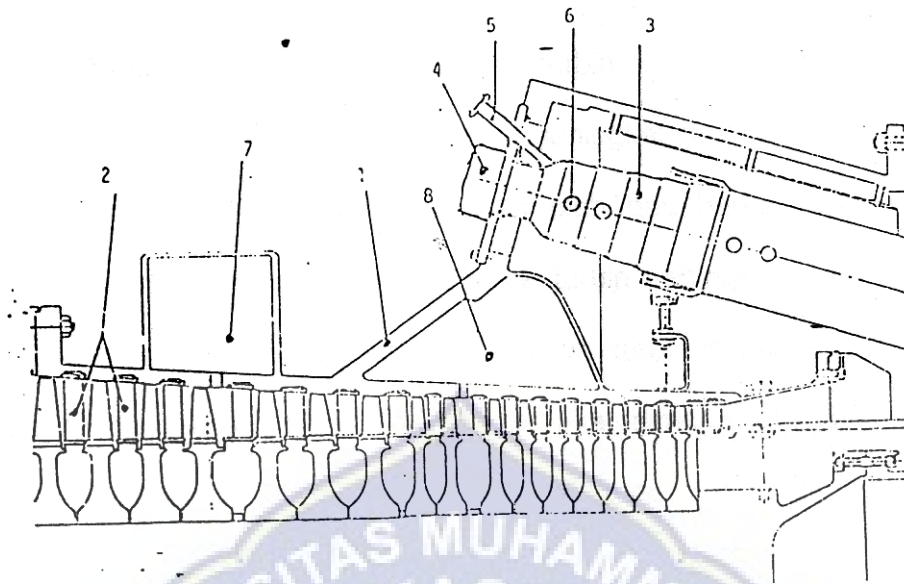
Ket :

1. Busi nyala api
2. Detektor nyala api

Gambar 4.5 Susunan Ruang Bakar

Konstruksi ruang bakar terdiri dari sebuah tabung yang merupakan dinding ruang bakar yang didalamnya dipasang tabung kedua (biasa disebut Combustion liner), yang berlubang-lubang disekelilingnya untuk jalan masuk udara pembakaran dan pelindung terhadap kontak langsung dinding dengan api ini dapat dilihat pada gambar 3.7

Temperatur dalam ruang bakar ini naik hingga mencapai 520°C pada tekanan konstan. Proses pembakaran menghasilkan gas (kalor) bertemperatur tinggi yang kemudian gas ini menjadi fluida kerja dan turbin gas



Ket:

- |                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| 1. Dinding             | 5. Detektor nyala api       |
| 2. Diafragma kompresor | 6. Pipa nyala api bersilang |
| 3. Combustion liner    | 7. Udara pengambilan        |
| 4. Nosel bahan bakar   | 8. Udara pengambilan        |

Gambar 4.6 Bagian Kompresor dan ruang bakar

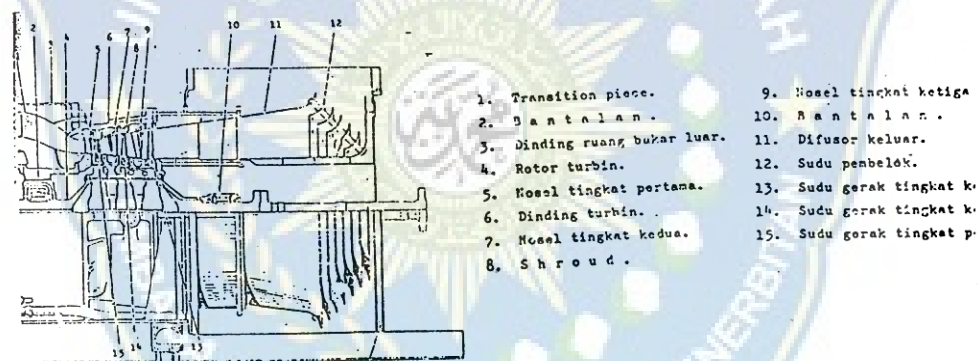
### 3. Transformasi Energi Termis ke Mekanik

Gas bertemperatur tinggi dari hasil pembakaran kemudian masuk kedalam turbin dimana turbin ini merupakan bagian dari pada mesin yang mengubah energi kalor menjadi energi mekanik. Turbin terdiri dari bagian yang terpenting yaitu:

- a. Rotor adalah bagian yang berputar dalam turbin dimana terdapat sudu-sudu gerak. Sudu-sudu gerak ini dibentur oleh gas yang bertekanan dan bertemperatur tinggi sehingga poros turbin akan berputar.
- b. Stator adalah bagian yang diam pada turbin dan berfungsi untuk mempercepat aliran gas pembakaran dan menurunkan tekanan

(ekspansi) serta mengarahkan aliran gas sesuai dengan sudut masuk sudu turbin.

Didalam turbin putaran motor semakin meningkat hingga mencapai putaran nominal yaitu 5100 rpm. Hal ini disebabkan oleh gas bertemperatur tinggi dan bertekanan yang membentur sudu-sudu gerak turbin sehingga roda turbin dapat berputar dan menghasilkan energi mekanik. Didalam turbin ini pula terjadi siklus yang lebih dikenal dengan nama siklus Brayton terbuka, dimana gas yang membentur sudu-sudu gerak turbin tadi dibuang langsung ke atmosfer lewat saluran gas buang.



Gambar 4.7 Konstruksi Turbin

#### 4. Transformasi Energi Mekanik ke Listrik

Energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin sekitar 60 % digunakan untuk memutar kompressornya sendiri, dimana kompressor ini menarik udara dan memasukkannya ke sudu gerak turbin untuk mendinginkan sudu turbin tersebut. Sebagian dari energi mekanik tersebut digunakan untuk memutar beban dimana dalam hal ini adalah

Generator listrik AC atau Alternator. Dengan generator AC ini energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin diubah ke dalam energi listrik arus bolak balik.

Untuk memutar sebuah generator AC tidak cukup hanya mengandaikan energi mekanik dari turbin tetapi generator AC juga membutuhkan generator DC sebagai penguat (exciter). Penguatan arus DC mensupply arus DC untuk lilitan medan yang terdapat pada rotor generator AC sehingga jadi magnet yang menginduksi ke stator dan menghasilkan energi listrik bolak balik yang dikeluarkan melalui stator.

Karena bekerja secara kontinu yang dapat menyebabkan panas pada mesin, maka generator memerlukan pendinginan. Pendinginan pada PLTG Unit pembangkitan i menggunakan pendinginan langsung, dalam artian generator didinginkan langsung dengan udara lingkungan yang terlebih dahulu melewati filter atau penyaring udara.

Energi listrik yang dihasilkan oleh generator kemudian disalurkan langsung ke trafo utama. Trafo utama ini berfungsi ganda, yaitu sebagai trafo step up dan trafo step down.

### **E. Menghitung Daya Turbin**

Untuk menghitung besarnya daya yang dibangkitkan oleh turbin gas maka kami menggunakan data perhitungan pada PLTG Alsthom sebagai berikut:

Temperatur sebelum kompresor ( $T_1$ ) :  $25^{\circ}\text{C}$

Temperatur sesudah kompresor ( $T_2$ ) : 319°C  
 Temperatur masuk turbin ( $T_3$ ) : 382°  
 Temperatur keluar turbin ( $T_4$ ) : 374°C  
 Daya yang dibangkitkan (PM) : 17000 KWatt  
 Laju aliran bahan bakar ( $m_f$ ) : 2,112 kg/s  
 Jenis bahan bakar : solar  
 Nilai kalor bahan bakar (LHV) : 10518,5 kkal/kg  
 Massa jenis ( ) : 824,02 kg/m<sup>3</sup>

1. Menghitung perbandingan bahan bakar - udara (APR)

Dalam perhitungan ini gas yang dihasilkan diruang bakar diasumsikan sama dengan gas murni, disebabkan oleh karena perbandingan bahan bakar udara sangat kecil, dan walaupun ingin dihitung hasilnya hanya berbeda 1-2 % dari hasil sangat aktual.

Persamaan yang digunakan :

$$f = \frac{h_3 h_2}{LHV - h_3} \dots \dots \dots (3.1)$$

dimana :

$$h_2 = 377,59 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 444,33 \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 10518,5 \times 4,187 = 44040,95 \text{ kJ/kg}$$

$$f = \frac{444,33 - 377,59}{44040,95 - 444,33} = 0,0015$$

maka  $f = \pm 0,0015 \text{ kg bb/kg udara}$

2. Menghitung laju aliran udara ( $m_a$ )

$$M_a = \frac{mf}{f} \dots \dots \dots (3-2)$$

Dimana  $mf = 2,112 \text{ kg/s}$

Maka :

$$M_a = \frac{mf}{f}$$

$$m_a = 1379,9 \text{ kg/s}$$

3. Menghitung laju aliran campuran bahan bakar – udara

$$m_x = m_f + m_a \dots \dots \dots (3-3)$$

$$= 2,112 + 1379,9$$

$$= 1381,99 \text{ kg/s}$$

4. Menghitung kerja turbin ( $W_T$ )

$$W_T = h_3 - h_4 \dots \dots \dots (3-4)$$

Dimana:

$$h_3 = 444,33 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = 430,51 \text{ kJ/kg}$$

Maka:

$$W_T = 444,33 - 430,51$$

$$= 13,82 \text{ kJ/kg}$$

5. Menghitung daya turbin ( $P_T$ )

$$P_T = m_x \cdot W_T \dots \dots \dots (3-5)$$

dimana:

$$m_x = 1381,9 \text{ kg/s}$$

$$W_T = 13,82 \text{ kJ/kg}$$

Maka:

$$P_T = 1381,9 \times 13,82$$

$$= 19099,2 \text{ k Watt}$$

6. Menghitung Pemakaian bahan bakar spesifik (SFC)

$$SFC = \frac{mf}{Pm} \dots \dots \dots (3-6)$$

dimana:

$$mf = 2,112 \text{ kg/s}$$

$$Pm = 17000 \text{ KW}$$

Maka :

$$SFC = \frac{2,112}{17000}$$
$$= 1,2433 \cdot 10^{-4} \text{ kg/KWs}$$

atau :

$$SFC = 1,2423 \cdot 10^{-4} \cdot 3600$$
$$= 0,447 \text{ Kg/KWh}$$

7. Menghitung efisiensi thermal turbin gas ( $\eta$  thermal)

$$\eta_{\text{thermis}} = \frac{3600}{SFC \cdot LHV} \dots \dots \dots (3-7)$$

dimana :

$$LHV = 44040,9595 \text{ kJ/kg}$$

maka :

$$\eta_{\text{thermal}} = \frac{3600}{0,447 \cdot 44040,9595}$$
$$= 0,18273$$
$$= 18,273\%$$



Jadi daya turbin gas yang dihasilkan adalah 19099,2 k Watt atau 190992 MW. Untuk hasil perhitungan daya turbin yang lain dapat dilihat pada lampiran.

#### **F. Prosedur Pengoperasian PLTG**

Mengadakan persiapan dengan memberikan sumber tegangan pada alat bantu kontroi kemudian memutar master operation selector pada posisi auto setelah itu putar master kontrol switch pada posisi start (lampu start menyala) dan alat-alat Bantu akan bekerja dan diesel starting jalan (jika turbin gagal start maka diesel akan start secara auto selama delapan kali, jika sampai delapan kali start diesel turbin juga belum berhasil maka diesel akan stop). Bila perputaran as turbin sudah mencapai 3 - 5 rpm maka speed relay bekerja dan bila putaran turbin mencapai 17-20 % , maka eksitasi dan baterai masuk dan generator mulai membangkitkan tegangan sehingga pin fan bekerja dan lampu start menyala, tegangan akan naik pada permulaan proses pembakaran dan busi nyala selama 60 detik dan jika terjadi pembakaran di dalam ruang bakar, maka nyala api akan dideteksi oleh flame detector (lampu flame menyala). Tegangan akan turun kembali pada pemanasan jika 60 detik tidak terjadi pembakaran di dalam ruang bakar ( akhir dari penyalaan busi) maka putaran tidak akan naik atau tetap pada putaran 17 - 20 % , pada saat itu operator dapat menyetop atau mencoba memberikan pengapian lagi dengan jalan memutar master operation selector switch ke posisi auto. Dengan demikian urutan penyalaan akan mulai lagi yaitu busi bekerja dan

akhir dari periode pemanasan dengan terjadi pembakaran pada ruang bakar dan tegangan akan naik sehingga bahan bakar akan bertambah dan mengakibatkan temperatur naik serta temperatur, jika putaran turbin mencapai 40 % eksitasi dan rektifier bekerja dan eksitasi dari baterai tidak bekerja. Setelah putaran turbin mencapai 65 % dutch lepas dan diesel run untuk pendinginan kurang lebih 5 menit kemudian stop dan bila putaran turbin akan naik mencapai 95 % speed relay bekerja IGV terbuka serta bleed valve tertutup dan pompa minyak pelumas bantu stop dan pelumasan disuplai dari pompa pelumas utama yang disambung oleh poros turbin melalui aux gear, setelah putaran turbin mencapai 100 % maka turbin siap untuk dioperasikan.



**BAB V**  
**PENUTUP**  
**KESIMPULAN DAN SARAN**

**A. Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang dihasilkan pada tugas akhir ini adalah

1. Beberapa parameter yang dihasilkan adalah

- Perbandingan bahan bakar - udara (APR) adalah  $f = \pm 0,0015$  kg bb/kg udara
- Laju aliran udara (ma) adalah 1379,9 kg/s
- Laju aliran campuran bahan bakar – udara adalah 1381,99 kg/s
- Kerja turbin (WT) adalah 13,32 kJ/kg
- Daya turbin (PT) adalah 19099,2k Watt
- Pemakaian bahan bakar spesifik (SFC) adalah 0,447 Kg/KWh
- Efisiensi thermal turbin gas ( $\eta$  thermal) adalah 18,273%

2. Daya turbin gas yang dihasilkan adalah 19099,2 k Watt atau 190992 MW.

**B. Saran**

- Dalam pengoperasian PLTG, tidak selamanya dapat berjalan sesuai dengan prosedur yang ada, karena kemungkinan terjadi

kegagalan pengoperasian yang disebabkan adanya beberapa gangguan sehingga mengakibatkan kerusakan pada mesin.

- Gangguan ini bisa saja terjadi pada saat PLTG sedang beroperasi. Untuk menghindari hal tersebut diatas maka langkah yang perlu ditempuh adalah melengkapi PLTG dengan sistem proteksi yang bertujuan bila suatu saat terjadi gangguan tidak langsung merusak mesinnya.



## DAFTAR PUSTAKA

- Archie W.CulpJr., Ph.D., 2021, *Prinsip-prinsip Konversi Energi*, (Terjemahan : it. Darwin Sitompul, M. Eng.), Erlangga, Jakarta
- Abdul Kadir, 2021, *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, LP3ES, Jakarta.
- Asi, Sunggono. 2021. *Buku Pegangan Kerja Menangani Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: CV. Aneka.
- Fitzgerald, A.E dkk. 2021. *Dasar-Dasar Elektro Teknik*. Jakarta : Erlangga.
- Kadir, Abdul. 2020. *Pembangkit Tenaga Listrik*. Jakarta : Universitas Indonesia, Lister, Eugene. 2020. *Mesin dan Rangkaian Listrik*. Jakarta : Erlangga.
- Pearce, Sir Leonard. *Electric Power Station*. Volume Two.
- Pusat Pendidikan dan Latihan Perusahaan Umum Listrik Negara. Relay Proteksi Peralatan Pembangkit*. Jawa Barat.
- Sumanto,MA., 2020, *Mesin-mesin Sinkron*, Andi Offiet, Yogyakarta
- Stevenson.Jr, William D. 2020 *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta : Erlangga.
- Wirantor, 2020 *Penggerak Mula Turbin*, Edisi Kedua, ITB, Bandung.
- Sumanto,MA., 2021, *Mesin-mesin Sinkron*, Andi Offiet, Yogyakarta
- Pusat Pendidikan dan Latihan Perusahaan Umum Listrik Negara, Relay Proteksi Peralatan Pembangkit dan Pusat Listrik Tenaga Gas*, Jawa Barat.



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR  
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Alamat kantor: Jl.Sultan Alauddin No.259 Makassar 90221 Tlp.(0411) 866972,881593, Fax.(0411) 865588

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

UPT Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar,  
Menerangkan bahwa mahasiswa yang tersebut namanya di bawah ini:

Nama : Kurnia Sandi/ Muh Abrar  
NIM : 105821114817/105821102317  
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan nilai:

No	Bab	Nilai	Ambang Batas
1	Bab 1	7 %	10 %
2	Bab 2	20 %	25 %
3	Bab 3	9 %	10 %
4	Bab 4	5 %	10 %
5	Bab 5	0 %	5 %

Dinyatakan telah lulus cek plagiat yang diadakan oleh UPT- Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar Menggunakan Aplikasi Turnitin.

Demikian surat keterangan ini diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan seperlunya.

Makassar, 18 Juli 2023

Mengetahui

Kepala UPT- Perpustakaan dan Penerbitan,



Narsyah Salam, M.I.P  
NPM. 964. 91

BAB I - Kurnia sandi/muh abrar  
105821114817/105821102317

by Tahap Skripsi



**Submission date:** 18-Jul-2023 12:22PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2132965966

**File name:** BAB\_1.docx (17.29K)

**Word count:** 348

**Character count:** 2253

BAB I - Kurnia sandi/muh abrar  
105821114817/105821102317

ORIGINALITY REPORT

7%

SIMILARITY INDEX

7%

INTERNET SOURCES



0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

123dok.com

Internet Source

3%

2

www.coursehero.com

Internet Source

3%

Exclude quotes

Exclude bibliography





BAB II - Kurnia sandi/muh abrar  
105821114817/105821102317

by Tanap Skripsi



**Submission date:** 18-Jul-2023 12:21PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2132965846

**File name:** BAB\_2.docx (313.04K)

**Word count:** 2397

**Character count:** 14996

AB II - Kurnia sandi/muh abrar  
105821114817/105821102317

ORIGINALITY REPORT

20%

SIMILARITY INDEX



20%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

123dok.com

Internet Source

13%

2

digilibadmin.unismuh.ac.id

Internet Source

5%

3

erulmesin09.blogspot.com

Internet Source

2%

Exclude quotes

On

Exclude bibliography

On

Exclude matches

BAB III - Kurnia sandi/muh  
abrar

105821114817/105821102317

by Tahap Skripsi



Submission date: 18-Jul-2023 12:21PM (UTC+0700)

Submission ID: 2132965659

File name: BAB\_3.docx (21.6K)

Word count: 256

Character count: 1581

B III - Kurnia sandi/muh abrar  
105821114817/105821102317

ORIGINALITY REPORT

9%

SIMILARITY INDEX



9%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

MATCH ALL SOURCES (ONLY SELECTED SOURCE SHOWN)



5%

★ [www.koleksiskripsi.com](http://www.koleksiskripsi.com)

Internet Source

Exclude quotes

Exclude bibliography

On

On

Exclude matches



BAB IV - Kurnia sandi/muh  
abrar

105821114817/105821102317

by Tahap Skripsi



**Submission date:** 18-Jul-2023 12:20PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2132965441

**File name:** BAB\_4.docx (186.77K)

**Word count:** 534

**Character count:** 3286

BAB IV - Kurnia sandi/muh abrar  
105821114817/105821102317

ORIGINALITY REPORT

5%

SIMILARITY INDEX



5%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

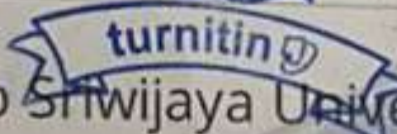
3%

STUDENT PAPERS

MATCH ALL SOURCES (ONLY SELECTED SOURCE PRINTED)

3%

★ Submitted to Sriwijaya University  
Student Paper



Exclude quotes

Exclude bibliography

On

On

Exclude matches



BAB V - Kurnia sandi/muh abrar  
105821114817/105821102317

by Tahap Skripsi



**Submission date:** 18-Jul-2023 12:20PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2132965282

**File name:** BAB\_5.docx (17.6K)

**Word count:** 336

**Character count:** 2012

BAB V - Kurnia sandi/muh abrar  
105821114817/105821102317

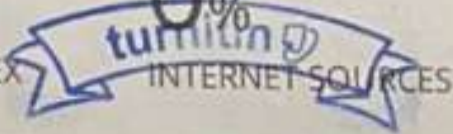
ORIGINALITY REPORT



0%

SIMILARITY INDEX

0%



0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

MATCH ALL SOURCES (ONLY SELECTED SOURCE PRINTED)

Exclude quotes

On

Exclude bibliography

On

Exclude matches

On

