

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

Kurnia Sandi<sup>1</sup>, Muhammad Abrar<sup>2</sup>, Rizal Ahdiyati Duyo<sup>3</sup>, Hafsa Nirwana<sup>4</sup>, Ridwang<sup>5</sup>, St Khadijah<sup>6</sup>

<sup>1,2,5,6</sup> Program Studi Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

<sup>3,4</sup> Program Studi Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Politeknik Makassar

Email : [sandimonk01@gmail.com](mailto:sandimonk01@gmail.com) <sup>1</sup> [abrarmuhammad220@gmail.com](mailto:abrarmuhammad220@gmail.com) <sup>2</sup> [rizalduyo@poliupg.ac.id](mailto:rizalduyo@poliupg.ac.id) <sup>3</sup>

[hanir@poliupg.ac.id](mailto:hanir@poliupg.ac.id) <sup>4</sup> , [ridwang@unismuh.ac.id](mailto:ridwang@unismuh.ac.id) <sup>5</sup> , [stkhadijah@unismuh.ac.id](mailto:stkhadijah@unismuh.ac.id) <sup>6</sup>

**Abstrak :** Untuk memenuhi kebutuhan listrik yang meningkat di Makassar dan wilayah sekitarnya, pemerintah fokus pada pembangunan Pembangkit Listrik berbahan gas (PLTG). Gas alam adalah fluida kerja PLTG ini. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan pemahaman tentang proses produksi dan pengoperasian PLTG, menghitung jumlah energi yang dihasilkan oleh turbin gas, dan mengetahui jenis interferensi dan prinsip kerja sistem perlindungan kelistrikan yang digunakan pada PLTG. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Gas pada unit produksi di Makassar. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah beberapa parameter hasilnya adalah perbandingan bahan bakar – udara (ASPR) adalah  $f = \pm 0,0015$  kg bb/kg udara; laju bakar – udara adalah 1379,9 kg/s. laju aliran pencampuran bahan bakar – udara adalah 1381,99 kg/s. Kerja turbin (WT) adalah 13,32 spesifik (SFC) adalah 0,447 kg/KWh, Efisiensi therman turbin gas ( $\eta$  thermal) adalah 18,273% dan daya turbin gas yang dihasilkan ialah 19099,2 k watt atau 190992 MW.

**Kata kunci:** Gas, energi, generasi dan listrik.

*Abstract: 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 therman 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.*

## I. PENDAHULUAN

Sepanjang sejarah umat manusia, kemajuan budaya yang signifikan selalu terjadi bersamaan dengan meningkatnya kebutuhan akan sumber daya 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.[1]Energi listrik merupakan kunci dan prasyarat bagi taraf hidup masyarakat yang layak dan perkembangan listrik semakin maju namun lebih tepat untuk mengasumsikan bahwa daya listrik meningkat dan mengikuti kemajuan besar sepanjang sejarah manusia dalam pemerintah Indonesia saat ini.

Salah satu perkembangan teknologi konversi energi mekanis adalah sumber-sumber alam sebagai fluida kerjanya, seperti PLTA, PLTD, PLTU, dan PLTG. Pembangkit teknis industri pada suatu rangkaian penemuan sumber daya alam yaitu bentuk nyata kepedulian pemerintah untuk mengantisipasi kebutuhan menjadi tenaga listrik. PLTG merupakan salah satu program inovatif yang menciptakan energi alam yang kaya dan melimpah di negara kita Indonesia.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 1. Pembangkit Listrik

Pembangkitan mengacu pada proses menghasilkan tenaga listrik, biasanya dilakukan di pusat listrik khusus atau fasilitas yang menggunakan generator. Sepanjang sejarah peradaban manusia, upaya pengembangan energi yang tiada henti terus berlanjut, didorong oleh permintaan yang terus-menerus akan sumber daya penting ini. Penegasan tersebut diperkuat dengan terjadinya krisis energi di beberapa negara, yang mendorong dilaksanakannya berbagai inisiatif yang bertujuan untuk menyelidiki sumber energi alternatif.

### 2. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

PLTG ialah turbin penggerak listrik yang media kerjanya adalah gas. Dibandingkan dengan yang lain, turbin gas adalah generator yang cukup sederhana yang memiliki generator listrik yang beroperasi. Konfigurasi paling dasar dari sistem turbin gas untuk pembangkit listrik terdiri dari tiga komponen penting, yaitu:

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

### 3. Turbin

Sistem tipe mesin sering digunakan dalam sistem pembakaran dimana bahan bakar diubah menjadi energi mekanik melalui proses termodinamika. Bentuk turbin yang dapat dimiliki oleh turbin gas adalah turbin impuls turbin gas dan turbin reaksi.

### 4. Siklus Brayton

Siklus tersebut adalah siklus brayton. Siklus terbuka menggunakan ruang bakar, sedangkan sistem siklus tertutup menggunakan alat-alat ideal dari sistem turbin gas sederhana pertukaran panas turbin gas sederhana..

### 5. Kompresor

Kompresor aksial memiliki baris gas adalah kompresor putar (rotor) memberikan kecepatan ke udara sehingga bersifat aksial. Kompresor harus dipasang ke rumah kompresor dan bukar ke rotor dan plat putar.

### 6. Ruang Bakar (Combustion Chambers)

Udara di ruang bakar tidak sama di mesin piston (reciprocating engine). Dalam sistem turbin pembakaran yang disusun secara simetris di sekitar kompresor untuk mengurangi pada saat pembakaran, sekitar 80% mencapai 90% adalah udara yang dipakai di seluruh mesin. Struktur ruang bakar yang dibentuk menyalurkan gas panas dihasilkan dari pembakaran menuju turbin.

### 7. Sistem Udara

Komposisi udara terdiri dari banyak molekul, termasuk oksigen, nitrogen, dan karbon dioksida, yang merupakan tiga unsur utama molekul gas penyusun atmosfer.

Molekul memiliki massa dan energi, dengan kontribusi massa terhadap berat molekul dan energi yang menggerakkan gerakan molekulnya. Kuantifikasi pergerakan molekul dapat dilakukan dengan menilai energi yang dilepaskan, sedangkan pengukuran kecepatan molekul dapat dilakukan melalui evaluasi suhu.

### 8. Fungsi Sistem Udara

Tujuan terpenting dari sistem udara ialah agar memfasilitasi proses memanggng. Selain fungsi krusial tersebut, terdapat berbagai fungsi pembantu yang juga tidak kalah pentingnya:

1. Segel air minyak untuk mencegah oli masuk ke bagian turbin yang tidak diinginkan
2. Meningkatkan volume sambil memanaskan untuk menjaga tekanan konstan.
3. Mendinginkan nosel rotor
4. Mendinginkan nosel pertama
5. Membantu motor mencapai kecepatan lari dengan lancar dengan mencegah tekanan berlebih pada kecepatan kritis
6. Digunakan untuk mengatur air di fuel control valve.

### 9. Generator

Dalam komponen pembangkit listrik yang utamanya adalah tipe mesin sinkron (motor sinkron). Generator arus bolak balik atau yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik arus bolak balik. Dibandingkan generator AC pada perangkat yang dilengkapi generator DC, generator AC lebih cocok untuk perangkat lebih besar hal ini didasarkan pada bagian kelistrikan generator AC.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penulisan ini mencakup proses berurutan yang dilakukan oleh penulis dalam menyusun dan membangun karya ilmiah ini. Tujuan dari metodologi penulisan ini adalah untuk menawarkan panduan dan strategi ringkas kepada penulis, memfasilitasi kompilasi karya akhir yang lancar.

Proses penulisan untuk membuat karya tulis ilmiah ini ialah :

1. Metode Pustaka

Yakni mengambil materi karya penulisan akhir ini yang berasal dari berbagai sumber maupun literatur yang berkaitan dengan pokok bahasan.

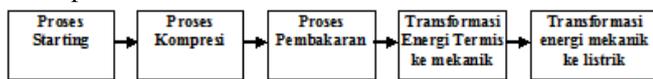
2. Metode Penelitian

Melakukan penelitian maupun pendataan pembangkit listrik berbahan bakar gas yang terdapat pada unit produksi di Makassar. Selanjutnya, penting untuk menganalisis data dan menarik kesimpulan logis.

### 3. Metode Diskusi / Wawancara

Khusus dengan berdialog atau melakukan wawancara dengan dosen-dosen yang ahli di bidang studi atau operator unit produksi pembangkit listrik tenaga gas Makassar, kita akan mendalami materi yang dibahas. Selain itu, keterlibatan dengan para praktisi di unit pembangkit Pembangkit Listrik Tenaga Gas di Makassar juga akan bermanfaat bagi wacana kita.

Fungsi operasional PLTG terutama didasarkan pada urutan kerja, seperti yang digambarkan dalam diagram terlampir :



Mengenai rangkaian kerja dari langkah pengoperasian PLTG diatas yaitu

1. Langkah Starting;
2. Langkah Kompresi;
3. Langkah Pembakaran;
4. Perpindahan Energi Termis menjadi Mekanik;
5. Perpindahan Energi Mekanik menjadi Listrik.

Saat memutar turbin gas, peralatan harus dihidupkan terlebih dahulu. Perangkat ini disebut dengan diesel starter. Diesel starter mengambil tegangan dari start dari baterai DC 120 Volt, lalu diesel starter melakukan pemutaran pada poros turbin agar diteruskan putarannya ke turbin gas melalui koling. Pada 20% dari putaran terukur (1100rpm) bahan bakar memasuki ruang pengukuran dan dihidupkan oleh busi.

Apabila putaran turbin mencapai suatu titik yang mana energi bisa menopang bebannya sendiri (kompresor) akan terjadi pelepasan kopling diantara unit pengerak dengan turbin gas.

## IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### A. Jenis-jenis PLTG

Menanggapi terjadi peningkatan kebutuhan energi listrik di Makassar maupun sekitarnya, khususnya Perusahaan Listrik Negara PLN, telah membangun beberapa fasilitas pembangkit listrik. Fasilitas yang terletak di Unit Pembangkitan I (sebelumnya disebut sektor Tello) ini mencakup antara lain pusat-pusat pembangkit listrik seperti PLTU, PLTD, dan PLTG. Hal ini mempunyai tujuan untuk

memastikan pasokan listrik yang konsisten dan tidak terputus [7].

Penelitian ini hanya fokus pada pemeriksaan dan pendataan terkait PLTG. Secara khusus, penyelidikan berpusat pada tiga bentuk PLTG yang berbeda di Unit Pembangkitan I:

1. PLTG Westcan;
2. PLTG Aisthom;
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 Aisthom

- 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

C. Jumlah Phase : 3  
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 Coding Fan
- Emergency Fuel Oil Pump
- Diesel Starter
- Battery Charger-120 V
- Trafo Pin Fan
- Rectifier
- Generator Aux Compartment
- Turbin Control Compartment
- Turning Gear
- Exciter
- Trafo Busi

### C. Jenis-jenis Relay Proteksi

Dalam penerapan PLTG (Pembangkit Listrik Turbin Gas), kepatuhan terhadap protokol yang telah ditetapkan tidak selalu menjamin kelancaran pengoperasian, karena berbagai gangguan berpotensi mengakibatkan kegagalan operasional dan kerusakan mesin selanjutnya [8]. Fenomena ini mungkin terjadi pada saat beroperasinya Pembangkit Listrik Sementara

Saluran Listrik (PLTG). Untuk memitigasi permasalahan di atas, maka perlu dilakukan pemasangan sistem proteksi pada PLTG. Hal tersebut mempunyai tujuan untuk memastikan bahwa potensi gangguan yang mungkin timbul di kemudian hari tidak menyebabkan kerusakan langsung pada mesin.

Mekanisme pelindung kelistrikan yang dipakai pada Unit PLTG Pembangkitan dan Makassar meliputi kategori sebagai berikut:

1. Relai Diferensial yang dirancang untuk menghubungkan singkat fasa ke fasa dan fasa ke ground.
2. Relai stator pentanahan Tipe 51GN agar gangguan stator pentanahan,
3. Proteksi ke pentanahan Tipe 6 4 F (untuk gangguan rotor pentanahan).
4. Relai daya balik khususnya Tipe CRV-1 dirancang untuk mendeteksi adanya arus aktif yang mengalir menuju generator.
5. Relai kehilangan medan KLF adalah perangkat yang dirancang untuk mendeteksi dan memitigasi terjadinya pemanasan jika terjadi kehilangan medan.
6. Regulator tegangan otomatis dirancang untuk memitigasi gangguan yang disebabkan oleh tegangan lebih maupun tegangan rendah.

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

Prinsip dasar operasional PLTG di unit manufaktur Makassar tetap konsisten, yang mana prosedur pelaksanaan PLTG disusun menurut langkah-langkah yang berurutan sebagai berikut:

Urutan kerja pelaksanaan PLTG ialah:

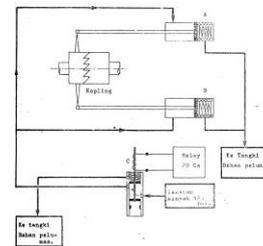
1. Langkah booting
2. Langkah kompresi
3. Pembakaran
4. Mengubah energi panas menjadi energi Mekanik
5. Konversi energi mekanik menjadi energi listrik

##### 1. Proses Starting

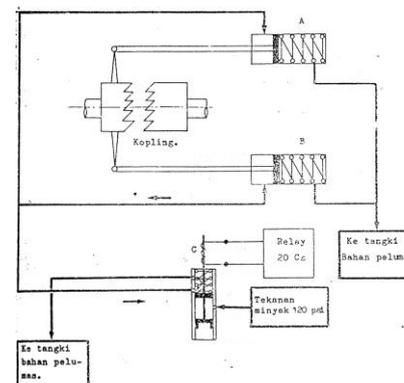
Pada saat menjalankan turbin gas peralatan harus dihidupkan terlebih dahulu perangkat ini disebut diesel starter. Diesel starter mengambil tegangan start dari baterai DC 120 Volt, lalu disel starter melakukan pemutaran terhadap poros turbin agar diteruskan putarannya ke turbin gas melalui kopling pada 1100 rpm bahan bakar memasuki ruang pengukuran dalam waktu semenit dan dinyalakan oleh penyala busi. Kalau putaran turbin mencapai suatu titik dimana energi yang dihasilkan dapat menopang

bebannya sendiri maka terjadi pelapasan koling antara unit penggerak maupun turbin gas. Lebih jelasnya bisa lihat gambar 3.2 dan 3.3 cara memasukkkan koling dan melepas kopling.

gambar 3.2 menunjukkan cara pemasukan kopling yang mana apabila relay 20 cs mengirimkan sinyal listrik ke kumparan c piston dapat naik dan oli akan mengalir melalui pipa A dan B dan oli akan menekan piston agar kopling dapat masuk berbeda halnya gambar 3.3 menunjukkan cara pemisahan kopling jika relay 20cs memberikan sinyal listrik ke kumparan C nantinya pegas akan mendorong piston kebawah dan oli akan mengalir ke tabung A aliran minyak menuju tabung A maupun B tertutup dan pegas pada tabung A.



Gbr. 1 Cara memasukkan coupling



Gbr. 2 Cara memisahkan Coupling

##### 2. Proses Kompresi

Saat kopling dilepas dan putaran turbin mendapat kecepatan 60% dari putaran nominal (3600 rpm), maka diesel starting juga lepas yang kemudian dilanjutkan dengan bekerjanya kompressor. Peranan kompressor adalah untuk mensupply udara bertekanan ke dalam

pembakaran turbin gas, Kompresor ini seporos dengan turbin, yang terdapat dua bagian ialah:

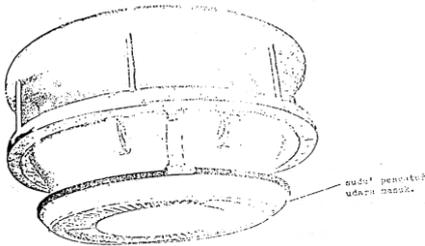
a. Rotor.

Rotor terdapat sudu gerak yang mempunyai fungsi dalam menghisap maupun melakukan penekanan terhadap udara.

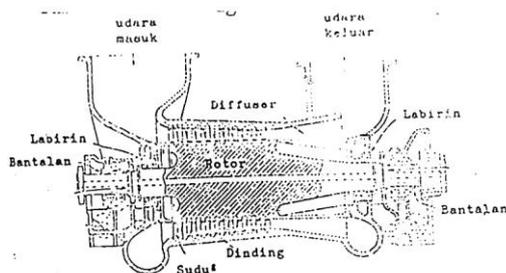
b. Stator.

Stator ialah bagian yang diam dan mempunyai fungsi dalam melakukan pengarahannya terhadap aliran menuju sudu gerakannya.

Sudu pengatur ditempatkan di depan kompresor (gambar 3.4) mengisap udara dari udara sekitar ke dalam kompresor. Kemudian, sudu bergerak pada rotor kompresor, mendorong udara tersebut, menjamin pergerakan udara di dalam udara kompresor untuk mencapai tekanan yang tinggi struktur level kompresor menjadi lebih sempit atau saluran keluar udara udara menjadi lebih kecil yang kemudian volume udara berkurang yang akan menyebabkan kenaikan tekanan udara lebih tinggi lagi pada kondisi suhu normal yaitu pada suhu normal 260 derajat celcius kemudian masuk ke ruang pembakaran.



Gbr. 3 sudu pengaturan udara masuk kompresor

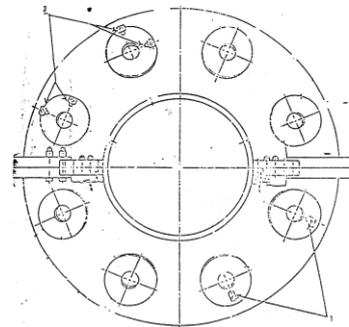


Gbr. 4 Kontruksi Kompresor

### 3. Proses Pembakaran

Udara bertekanan tinggi yang ditimbulkan dari proses kompresi mengalir ke ruang bahan bakar yang sebagian kecil dari udara tersebut dipergunakan untuk mengatomisasi bahan bakar di ruang bakar, menggunakan Sebagian besar udara mendinginkan ruang bakar yang menyebabkan pemanasan awal [11].

Pembakaran terjadi akibat adanya senyawa reaksi diantara molekul oksigen ataupun udara dengan molekul bahan bakar diesel pada ruang bakar inilah udara masuk sehingga bisa bercampur dengan bahan bakar udara atau dengan kata lain udara menerima energi panas yang dipanaskan oleh aksi busi. Ketika pembakaran terjadi nyala api terdeteksi oleh detector api dalam tata ruang bakar. Susunan ruang bakar dapat dilihat pada gambar 3.6.



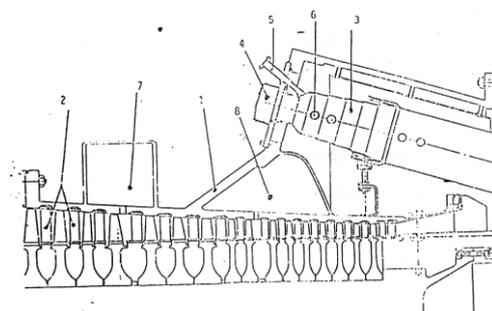
Ket :

1. Busi nyala api
2. Detektor kebakaran

Gbr. 5 Susunan Ruang Bakar

Struktur ruang bakar terdiri dari dinding ruang bakar dan pipa (juga disebut sebagai bushing pembakaran) di dalamnya. Pipa ini memiliki lubang di sekelilingnya untuk memungkinkan udara pembakaran masuk ke ruang bakar dan mencegah api. Kontak langsung di dinding dengan api seperti terlihat pada gambar 3.7

Pada tekanan konstan, suhu di ruang bakar adalah 520°C. Pembakaran menghasilkan gas panas dengan suhu tinggi, yang kemudian diubah menjadi fluida kerja dan turbin gas.



Keterangan :

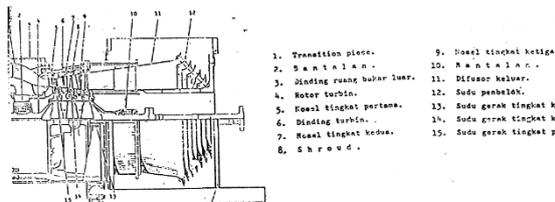
- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| 1. Dinding              | 5. Detektor kebakaran   |
| 2. Diafragma kompresor  | 6. Tabung cross fire    |
| 3. Jaket pembakar       | 7. Slot pemasukan udara |
| 4. Injektor bahan bakar | 8. Udara masuk          |

Gbr. 6 Bagian Kompresor dan ruang pembakar

### 3. Transformasi Energi Termis ke Mekanik

4. Proses mengubah energi panas menjadi energi mekanik terjadi ketika gas panas yang ditimbulkan dari pembakaran masuk menuju turbin [12]. Turbin terdiri dari bagian-bagian yang penting, ialah :
  - a. Rotor ialah bagian turbin yang berputar yang bergerak berada di bilah-bilah yang bergerak ini dipengaruhi oleh gas yang bertekanan tinggi maupun bersuhu tinggi yang menyebabkan poros turbin berputar.
  - b. Stator merupakan bagian tetap pada turbin yang mempunyai fungsi untuk mempercepat aliran gas memperkecil tekanan (memuai) dan mengendalikan aliran gas sesuai dengan sudut masuk sudu-sudu turbin.

Pada turbin, kecepatan putaran mesin ditingkatkan hingga 5100 rpm. Hal ini terjadi karena gas bertekanan dengan suhu tinggi mengenai sudu-sudu turbin, yang membuat rodanya berputar dan menghasilkan energi mekanik. Selama siklus yang dikenal sebagai "siklus brayton terbuka", gas yang mengenai sudu-sudu turbin dilepaskan langsung menuju atmosfer melalui saluran gas buang turbin.



Gbr. 7 Konstruksi Turbin

### 5. Transformasi Energi Mekanik ke Listrik

Sekitar 60% energi mekanik yang ditimbulkan turbin dipakai dalam menggerakkan kompresor itu sendiri dimana kompresor menarik udara lalu mengirimkannya ke bilah turbin untuk mendinginkannya. Sebagian energi mekanik digunakan untuk memutar beban, yang dalam hal ini adalah alternator dan generator, alternator ini mengubah energi mekanik yang ditimbulkan turbin menjadi energi listrik arus bolak-balik.

Untuk mengoperasikan suatu generator tidak cukup mengandalkan energi mekanik turbin saja generator jg memerlukan generator DC sebagai penguat (eksiter). Dorongan DC menyuplai arus DC ke belitan medan rotor generator, menyebabkannya menjadi magnet yang menginduksi stator dan menghasilkan saluran AC melalui stator.

Karena pengoperasian terus menerus dapat menyebabkan mesin menjadi terlalu panas, maka generator perlu didinginkan. Pendinginan pad genset PLTG memakai pendinginan langsung, dalam artian genset didinginkan langsung oleh udara sekitar, yang melewati filter udara.

Energi listrik didapatkan oleh generator lalu ditransfer langsung oleh trafo utama. Trafo ini mempunyai dua fungsi yaitu trafo step up maupun step down [13].

### E. Menghitung Daya Turbin

Dalam menghitung besarnya energi yang dihasilkan dari turbin gas, digunakan perhitungan PLTG Alstom yaitu :

Temperatur sebelum kompresor ( $T_1$ )	: 25°C
Temperatur sesudah kompresor ( $T_2$ )	: 319°C
Temperatur masuk turbin ( $T_3$ )	: 382°
Temperatur keluar turbin ( $T_4$ )	: 374°C
Daya yang dihasilkan (PM)	: 17000 KWatt
Kecepatan aliran yang didapat ( $m_f$ )	: 2,112 kg/s
Jenis bahan bakar	: solar
Nilai panas bahan bakar (LHV)	: 10518,5 kkal/kg
Berat benda (kg)	: 824,02 kg/m <sup>3</sup>

#### 1. Hitungan rasiobahan bakar udara (APR)

Dalam perhitungan ini gas yang ditimbulkan dalam ruang bakar dinggapa mirip gas murni dikarenakan bandingan bahan bakar udara sangat rendah yang jika ingin di hitung hasilnya selisih berkisar 1-2% dari hasil sebenarnya.

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 (ma)

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

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

Maka :

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

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

3. Menghitung kecepatan 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 (WT)

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

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 (PT)

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

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)

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

dimana:

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

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

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. Hitungan 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 :

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

$$= 0,18273$$

$$= 18,273\%$$

Oleh karena itu, daya turbin gas yang dihasilkan adalah 19099,2 k Watt, atau 190992 MW. Hasil perhitungan daya turbin lainnya dapat dilihat pada lampiran.

**F. Prosedur Pengoperasian PLTG**

Persiapan dilakukan dengan menyuplai tegangan pada alat-alat pendukung kendali, kemudian putar saklar pemilih operasi utama ke posisi otomatis lalu putar saklar kendali utama ke posisi awal (lampu indicator start akan meyal) maka peralatan bantu akan bekerja dan mesin diesel akan menyala. Mulai bekerja jika turbin tidak hidup maka mesin diesel akan otomatis hidup sebanyak delapan kali kalau ada delapan kali turbin diesel tidak berhasil maka mesin diesel akan mati. Ketika putaran poros turbin mencapai 3-5 rpm speed relay bekerja, Ketika putaran turbin mencapai 17-20% eksiter dan baterai masuk dan generator mulai menghasilkan tegangan untuk basis kipas beroperasi dan start up. Lampu menyala tegangan awal pembakaran meningkat dan lilin menyala 60 detik, apabila terjadi pembakaran di ruang bakar maka nyala api akan terdeteksi oleh flame detector (lampu nyala). Tegangan pada unit outdoor akan turun Kembali jika dalam waktu 60 detik tidak terjadi pembakaran pada ruang bakar (akhir waktu penyalaan lilin) putaran tidak bertambah atau tetap pada putaran 17-20% pada saat ini. Operator dapat menghentikan atau mencoba lagi untuk menyalakan penyalaan dengan mengatur selector operasi bypass utama ke posisi otomatis. Dengan demikian rangkaian pengapian akan dimulai Kembali ialah busi bekerja maupun fasa pemanasan berakhir dengan terjadi pembakaran di dalam ruang pembakaran dan tegangan terjadi peningkatan menyebabkan bahan bakar melonjak dan suhu meningkat.suhu jika turbin berputar mencapai 40% eksitasi dan penyearah aktif dan eksitasi baterai tidal aktif.

Kemudian turbin berputar hingga 65% dan mesin diesel berputar dingin selama kurang lebih lima menit berhenti, dan Ketika turbin mencapai 95% maka relai kecepatan beroperasi dan akan dioperasikan. Speed relai bekerja IGV terbuka dan relief valve menutup dan pelumas disuplai dari jaringan utama. Pompa pelumas dihubungkan ke poros impeller melalui roda gigi bantu, Ketika roda impeller mencapai 100% maka impeller akan dioperasikan.

## V. KESIMPULAN

Pemerintah Kota Makassar telah menerapkan serangkaian inisiatif untuk secara proaktif memenuhi kebutuhan listrik masyarakat setempat. Upaya tersebut antara lain dengan membangun fasilitas pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber daya alam sebagai sumber energi utamanya, meliputi PLTA, PLTU maupun PLTG. Industri pasokan tenaga listrik didirikan berdasarkan serangkaian kemajuan dan penemuan teknologi yang memungkinkan konversi energi mekanik dan sumber daya alam menjadi tenaga listrik.

PLTG bisa dibedakan dengan pembangkit listrik jenis lain karena menggunakan turbin yang beroperasi dengan menggunakan gas sebagai media kerjanya. Turbin gas dicirikan oleh kemudahan pengoperasiannya. Sistem turbin gas paling dasar terdiri dari tiga komponen penting, khususnya kompresor.

Dalam hal ini mendorong inovasi energi gas dalam pengembangan sumber energi terbarukan termasuk pengembangan hydrogen. Gas alam merupakan elemen penting untuk mendorong dan meningkatkan transportasi dan produksi hydrogen sebagai energi bersih terdepan dalam mencapai netralitas karbon.

Pada saat pengoperasian PLTG tidak selalu bekerja sesuai prosedur yang ada karena kemungkinan terjadinya kegagalan pengoperasian karena adanya gangguan yang mengakibatkan kerusakan motor.

Terjadinya gangguan ini dapat dilihat pada saat pengoperasian PLTG untuk mencegah terjadinya permasalahan tersebut di atas. Oleh karena itu, dilakukan upaya untuk meningkatkan ketahanan PLTG dengan menerapkan sistem proteksi. Sistem ini dirancang untuk mengurangi potensi dampak buruk dari setiap gangguan yang mungkin timbul, sehingga melindungi mesin dari bahaya langsung.

## REFERENSI

- [1] J. Culp, Archie W., *Prinsip-prinsip konversi energi*. Jakarta : Penerbit Erlangga, 2021.
- [2] A. Kadir, *Pengantar, Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: Lembaga Penelitian, Pendidikan & Penerangan Ekonomi & Sosial, 2021.
- [3] S. Asi, *Buku Pegangan Kerja Menangani Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: CV. Aneka, 2021.
- [4] A. E. Fitzgerald, A. Grabel, and D. E. Higginbotham, *Dasar-dasar elektroteknik*. Jakarta: Erlangga, 2021.
- [5] W. D. Stevenson, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta : Erlangga, 2020.
- [6] W. Arismunandar, *Penggerak mula turbin*, 2nd ed. Bandung : ITB, 2020.
- [7] A. Kadir, *Pembangkit Tenaga Listrik*. Jakarta : Universitas Indonesia, 2020.
- [8] E. C. Lister, *Mesin dan Rangkaian Listrik Edisi Keenam*. Jakarta: Erlangga, 2020.
- [9] PLN Pusdiklat, *Relay Proteksi Peralatan Pembangkit*. Jakarta: PT PLN, 2020.
- [10] C. W. Marshall, "Electric Power Stations." Nature Publishing Group UK London, 1944.
- [11] M. Masrianto, "Studi Tentang Proses Pembangkitan Listrik Tenaga Diesel (PLTD) di PT. PLN (Persero) Wilayah Sulselrabar Sektor Tello Makassar," Universitas Negeri Makassar, 2021.
- [12] Sumanto, *Mesin-mesin sinkron*. Yogyakarta : Andi Offset, 2020.
- [13] S. S. Wibowo, *Analisa Sistem Tenaga: Analisa Sistem Tenaga*, vol. 1. Malang: UPT Percetakan dan Penerbitan Polinema, 2018.
- [14] J. Leda, "Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Ujung Pandang," Universitas Atma Jaya Makassar, 2010.
- [15] Sumanto, *Pengetahuan bahan untuk mesin dan listrik*, 1st ed. Yogyakarta: Andi Offset, 2021.