

# **SISTEM FOGGING UNTUK MENAIKKAN DAYA MAMPU PLTG**

## **TUGAS AKHIR**

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Ujian Sarjana*

Oleh :

**DAPOT RUDI SIANIPAR**  
**NIM : 03 813 0011**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2007**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
  2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
  3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)7/9/23

# SISTEM FOGGING UNTUK MENAIKKAN DAYA MAMPU PLTG

## TUGAS AKHIR


Oleh :

**DAPOT RUDI SIANIPAR**

**NIM : 03 813 0011**

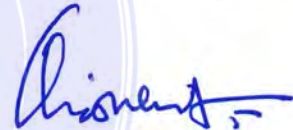
Disetujui

Pembimbing I



( Ir. Amru Siregar, MT )

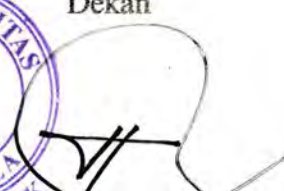
Pembimbing II



( Ir. H. Syafrian Lubis )

Mengetahui

Dekan

  
( Drs. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc )

Ka. Program Studi

  
( Ir. Amru Siregar, MT )

Tanggal Lulus :

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)7/9/23

## RINGKASAN

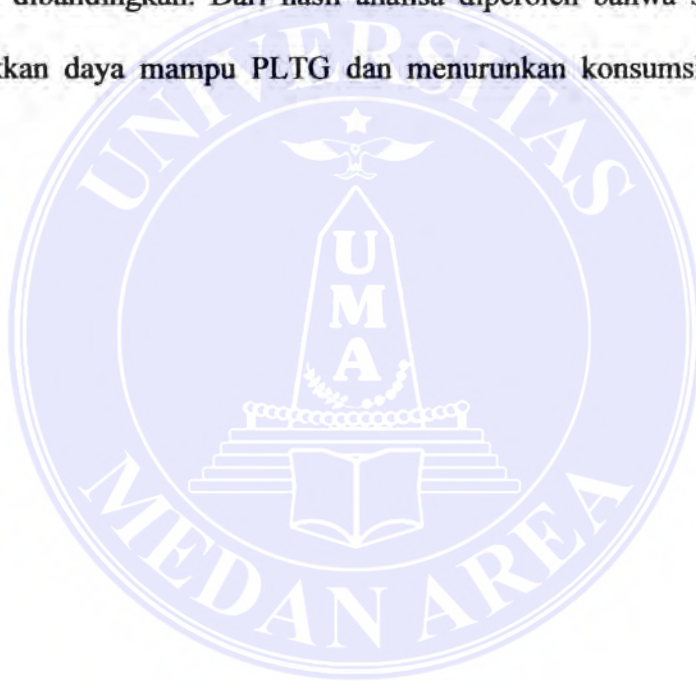
Dasar dari teknologi Turbin Gas adalah pemanfaatan energi dari gas yang bersuhu tinggi hasil pembakaran campuran bahan bakar dengan udara. Jadi fluida kerjanya adalah udara yang dimampatkan oleh kompressor dan kemudian bercampur dengan bahan bakar pada ruang bakar sehingga terjadi pembakaran. Energi dari hasil pembakaran ini selanjutnya akan memutar turbin. Temperatur udara luar sangat mempengaruhi kinerja gas turbin, dimana jika temperatur udara luar tinggi maka volume spesifik udara akan naik, dengan demikian massa aliran udara akan berkurang dan demikian juga sebaliknya.

Masalah yang timbul dalam pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) adalah turunnya daya mampu akibat dari temperatur udara masuk kompressor yang tinggi, sehingga volume spesifik udara meningkat dan massa aliran udara akan berkurang. Akhir-akhir ini kita merasakan peningkatan temperatur udara luar yang diakibatkan oleh pemanasan global. Untuk itu diperlukan seperangkat peralatan yang dapat menurunkan temperatur udara masuk kompressor yang disebut dengan “Inlet Air Fogging”, dengan catatan bahwa peralatan tersebut tidak mengganggu kelancaran operasional gas turbin.

Peralatan “Inlet Air Fogging” menyemprotkan air yang telah mengalami treatment dengan menggunakan pompa ke saluran udara kompressor melalui nozzle untuk menghasilkan butiran-butiran air sesuai ukuran diameter yang dibutuhkan yang bertujuan melembabkan udara, dengan mempertimbangkan tekanan, temperatur dan volume spesifik udara sebelum masuk sudu kompressor, dimana temperatur butiran air yang lebih rendah akan mengakibatkan udara

mengalami penurunan temperatur, dengan demikian kerapatan udara bertambah dan jumlah massa aliran udara bertambah, hal ini juga akan menambah massa aliran gas pembakaran. Pertambahan gas pembakaran ini menyebabkan daya generator bertambah.

Maka dalam hal ini penulis mencoba meneliti kembali bagaimana proses Inlet Air Fogging sehingga mampu menaikkan daya mampu PLTG. Pengambilan data operasi pada PLTG dilakukan pada saat tanpa mempergunakan sistim fogging dan pada saat mempergunakan sistim fogging. Kemudian data ini dianalisa dan dibandingkan. Dari hasil analisa diperoleh bahwa sistim fogging dapat menaikkan daya mampu PLTG dan menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik.



## **ABSTRACT**

Principle of Gas Turbine is using of energy from the higher temperature gas from the combustion of fuel mixture with air. The work fluid is a pressured air by compressor and then mixed with fuel in a combustion chamber for burning. Energy of this combustion will drive the turbine. The external air temperature influence the performance of gas turbine, in which if the external air temperature is higher, the specific volume of air will increase and the air mass flow will decrease, and so do on the contrary.

The problem in operationing of Gas Turbine Power Plant is the lower of power caused by the air temperature enter to compressor is higher, so the specific volume of air will increase and the air mass flow will decrease. In the last time we know the increasing of external air temperature cause by global warming. Therefore it need an equipment that can decrease the air temperature enter into compressor that known as 'Inlet Air Fogging' in a note that the equipment did not disturb the smoothness of turbine gas operational.

The 'Inlet Air Fogging' spray the treatment water using the pump to the air flow of compressor through nozzle according to diameter required for air humidity by considering the pressure, temperature and specific volume of air before enter into compressor, in which the lower temperature of the water drops will cause the air has a lower temperature and the density of air is increase and the amount of air flow is increase and will increase the mass flow of combustion gas to drive the turbine. Additional of combustion gas cause the additional of generator power.

In this case writer try to study and check again how the process of Inlet Air Fogging System to increase the generator power. The collecting of operational data on Gas Turbine Power Plant is hold without using the fogging system and when use the fogging system. And this data will analyzed and compared. Of the analysis indicated that the fogging system will increase the power of Gas Turbine Power Plant and decrease the Spesific Fuel Consumption.



# DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. LATAR BELAKANG .....	1
1.2. PERUMUSAN MASALAH .....	3
1.3. TUJUAN PENELITIAN .....	3
1.4. MANFAAT PENELITIAN .....	4
1.5. BATASAN MASALAH .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. ANALISA THERMODINAMIKA .....	5
2.1.1. Kompresor .....	7
2.1.1.1. Kerja Kompresor Ideal .....	7
2.1.1.2. Kerja Kompresor Aktual .....	7
2.1.1.3. Efisiensi Kompresor .....	8
2.1.2. Ruang Bakar .....	8
2.1.3. Turbin .....	9
2.1.3.1. Kerja Turbin Ideal .....	9
2.1.3.2. Kerja Turbin Aktual .....	10
2.1.3.3. Efisiensi Turbin .....	10

2.1.4. Analisa Pada Generator .....	11
2.2. KONSEP DASAR SISTEM FOGGING .....	11
2.2.1. Sistem Kerja .....	12
2.2.2. Massa Aliran Uap Air .....	15
2.2.3. Jumlah Nozzle .....	16
2.2.3.1. Luas Saluran Udara Masuk Kompresor ..	16
2.2.3.2. Kapasitas Aliran Air Keluar Orifice Nozzle	17
2.2.3.3. Diameter Orifice Nozzle .....	17
2.2.3.4. Kecepatan Aliran Air Keluar Orifice Nozzle	17
2.2.3.5. Penampang Poppet .....	18
2.2.3.6 Tekanan Air Sebelum Masuk Orifice Nozzle	19
2.2.3.7. Luas Bidang dan SudutPenyemburan / Penyemprotan Nozzle .....	20
2.2.3.8. Jarak Antara Nozzle .....	21
2.2.3.9. Pompa .....	21
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>24</b>
3.1. TEMPAT DAN TANGAL PENELITIAN .....	24
3.2. KONSEP DASAR .....	24
3.3. PROSEDUR PENELITIAN .....	25
<b>BAB IV ANALISA DAN PERENCANAAN .....</b>	<b>28</b>
4.1. DATA PERENCANAAN .....	28
4.2. ANALISA THERMODINAMIKA PADA KOMPRESOR	29
4.2.1. Kerja Kompresor Ideal .....	29
4.2.2. Kerja Kompresor Aktual .....	30
4.2.3. Efisiensi Kompresor .....	31



4.3. ANALISA THERMODINAMIKA PADA TURBIN .....	31
4.3.1. Kerja Turbin Ideal .....	31
4.3.2. Kerja turbin Aktual .....	33
4.3.3. Efisiensi Turbin .....	34
4.4. ANALISA PADA GENERATOR .....	34
4.5. ANALISA THERMODINAMIKA PADA RUANG BAKAR	34
4.6. ANALISA ALIRAN UDARA .....	35
4.7. KONDISI IKLIM .....	38
4.7.1. Temperatur Udara .....	38
4.7.2. Kelembaban Relatif .....	39
4.7.3. Rasio Kelembaban .....	39
4.8. MANFAAT PENGGUNAAN SISTEM FOGGING .....	40
4.8.1. Tanpa Menggunakan Sistem Fogging .....	40
4.8.2. Menggunakan Sistem Fogging .....	44
4.9. MASSA ALIRAN AIR PENDINGIN .....	50
4.10. NOZZLE .....	52
4.10.1. Luas Saluran Udara Kompresor .....	52
4.10.2. Jarak Antara Nozzle dan Jumlah Nozzle .....	52
4.10.3. Kapasitas aliran Air Keluar Orifice Nozzle .....	55
4.10.4. Tekanan Air .....	56
4.10.5. Diameter Orifice Nozzle .....	57
4.10.6. Kecepatan Aliran Air Keluaran Orifice Nozzle .....	57
4.10.7. Diameter Nozzle.....	58
4.10.8. Kecepatan Butiran Air Pada Jarak Bidang Penyemburan .....	59

<b>BAB V</b>	<b>PERALATAN UTAMA .....</b>	<b>60</b>
5.1.	DESAIN PEMIPAAN .....	60
5.2.	NOZZLE .....	63
5.3.	PEMIPAAN (PIPING) .....	65
5.4.	POMPA .....	66
5.4.1.	Pompa A .....	69
5.4.1.1.	Losses Friction Pada Fog Manifold Nozzle	69
5.4.1.2.	Losses Minor Pada Fog Manifold Nozzle ..	70
5.4.1.3.	Losses Friction Pada Pipa Utama .....	72
5.4.1.4.	Losses Minor pada Pipa Utama .....	73
5.4.1.5.	Head Pressure .....	74
5.4.2.	Pompa B .....	78
5.4.2.1.	Losses Friction Pada Fog Manifold Nozzle	78
5.4.2.2.	Losses Minor Pada Fog Manifold Nozzle ..	78
5.4.2.3.	Losses Friction Pada Pipa Utama .....	78
5.4.2.4.	Losses Minor Pada Pipa Utama .....	79
5.4.2.5.	Head Pressure .....	79
5.4.3.	Pompa C .....	82
5.4.3.1.	Losses Friction Pada Fog Manifold Nozzle	82
5.4.3.2.	Losses Minor Pada Fog Manifold Nozzle ..	83
5.4.3.3.	Losses Friction Pada Pipa Utama .....	85
5.4.3.4.	Losses Minor Pada Pipa Utama .....	86
5.4.3.5.	Head Pressure .....	86
5.4.4.	Pompa D .....	90
5.4.4.1.	Losses Friction Pada Fog Manifold Nozzle ...	90

5.4.4.2. Losses Minor Pada Fog Manifold Nozzle ..	90
5.4.4.3. Losses Friction Pada Pipa Utama .....	90
5.4.4.4. Losses Minor Pada Pipa Utama .....	91
5.4.4.5. Head Pressure .....	91
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>95</b>
6.1. KESIMPULAN .....	95
6.2. SARAN .....	96
<b>DAFTAR LITERATUR .....</b>	<b>97</b>



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. LATAR BELAKANG

Penggunaan Turbin Gas sebagai penggerak mula pada instalasi pembangkit tenaga listrik mempunyai keuntungan/kelebihan dari penggerak mula lainnya. Keuntungan/kelebihan Turbin Gas antara lain :

- a. Daya yang dibangkitkan relatif besar.
- b. Dapat dengan cepat menyesuaikan fluktuasi beban
- c. Hanya diperlukan sedikit waktu dari program Start-Up sampai Synchron
- d. Tempat/lokasi yang dipergunakan relatif kecil
- e. Ramah terhadap lingkungan

Seiring dengan kemajuan teknologi dan tuntutan permintaan masyarakat akan kebutuhan energi listrik dan keuntungan/kelebihan penggunaan turbin gas seperti dikemukakan di atas maka harus diupayakan langkah-langkah untuk mengoptimalkan daya mampu turbin gas. Salah satu langkah untuk mengoptimalkan daya mampu turbin gas adalah dengan pengaturan massa aliran udara masuk kompressor.

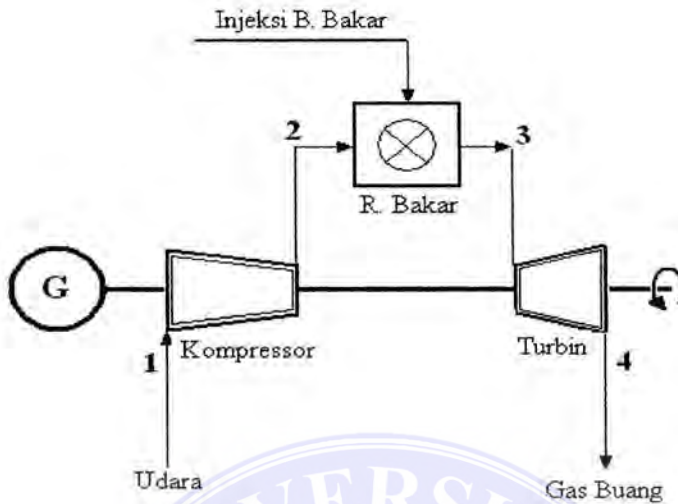
Prinsip kerja turbin gas sangat sederhana, seperti ditunjukkan pada gambar 1.1. Udara luar dimampatkan menggunakan kompressor menuju ruang bakar sehingga tekanan dan temperaturnya naik. Bahan bakar diinjeksikan ke ruang bakar bersama udara pembakaran. Dimana untuk mengawali pembakaran digunakan percikan api (penyalan awal). Dengan demikian terjadi reaksi pembakaran yang menghasilkan gas panas dan dialirkan menuju sudu-sudu turbin

gas untuk memutar poros turbin gas (menkonversikan energi panas menjadi energi mekanik). Putaran poros ini menggerakkan kumparan magnet dalam generator yang menkonversikan energi mekanis menjadi energi listrik. Dimana Generator, Kompresor dan Turbin berada pada satu poros (Single Shaft)

Pada instalasi pembangkit tenaga listrik, kemampuan turbin gas untuk memikul beban dari konsumen merupakan faktor utama yang harus dipenuhi. Hal ini dapat dicapai apabila daya mampu mesin pembangkit lebih besar dari beban, tetapi kenyataannya di lapangan sering terjadi daya mampu mesin pembangkit lebih kecil dari daya yang dibutuhkan oleh konsumen. Hal ini disebabkan antara lain :

- a. Kebutuhan akan energi listrik relatif meningkat.
- b. Mesin mengalami gangguan, sehingga daya mampu mesin pembangkit cenderung menurun.
- c. Diperlukan investasi besar untuk penambahan mesin pembangkit.
- d. Penurunan daya mampu mesin yang diakibatkan temperatur udara masuk kompresor cukup tinggi.

Untuk mengatasi hal tersebut di atas penulis tertarik untuk meneliti upaya peningkatan daya mampu mesin pembangkit, dengan mengatasi salah satu penyebab menurunnya daya mampu turbin gas yaitu pengaruh temperatur udara masuk kompresor. Pada dasarnya jika udara masuk kompresor mengalami penurunan temperatur, dengan demikian kerapatan udara bertambah sehingga massa aliran udara yang akan masuk ke kompresor bertambah, hal ini membantu aliran oksigen lebih banyak masuk ke ruang bakar dan mengakibatkan pembakaran yang lebih sempurna dan massa aliran gas hasil pembakaran bertambah, dengan demikian daya mampu turbin gas bertambah.



Gambar 1.1 : Siklus Turbin Gas

## 1.2. PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian masalah di atas, maka dapat dirumuskan masalah-masalah yang mendorong penelitian ini dilakukan sebagai berikut :

- (1) Bagaimana kebutuhan jumlah air pendingin, massa aliran udara dan bahan bakar yang akan digunakan.
- (1) Bagaimana bentuk dan ukuran sistem fogging pada turbin gas, sehingga dapat dipergunakan dan bermanfaat dengan baik.
- (2) Bagaimana memilih spesifikasi atau karakteristik pompa dan peralatan lain yang akan digunakan.

## 1.3. TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan penulisan ini adalah untuk menganalisa bagaimana

UNIVERSITAS MEDAN AREA turbin gas dengan menurunkan temperatur udara masuk

kompresor dengan mempergunakan peralatan sistem fogging untuk menambah massa aliran udara kompresor, dengan demikian daya mampu turbin gas tersebut akan meningkat.

#### 1.4. MANFAAT PENELITIAN

- (1). Manfaat dari hasil penelitian ini nantinya diharapkan dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat untuk lancarnya operasi turbin gas dengan demikian daya mampu turbin gas akan naik dengan tidak mengabaikan faktor keamanan operasional turbin gas.
- (2). Penulis dapat menerapkan ilmu pengetahuan yang diperoleh selama diperkuliahkan.
- (3). Dapat mengembangkan masalah ini sesuai dengan ilmu yang relevan.
- (4). Sebagai ilmu pengetahuan bagi rekan-rekan mahasiswa.

#### 1.5. BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam tugas sarjana ini merupakan pokok-pokok pembahasan yang meliputi bagian-bagian yang akan dibahas dalam Sistem Fogging, yaitu :

- a. Analisa kebutuhan udara dan bahan bakar.
- b. Analisa kebutuhan air pendingin udara.
- c. Analisa peralatan yang akan digunakan.

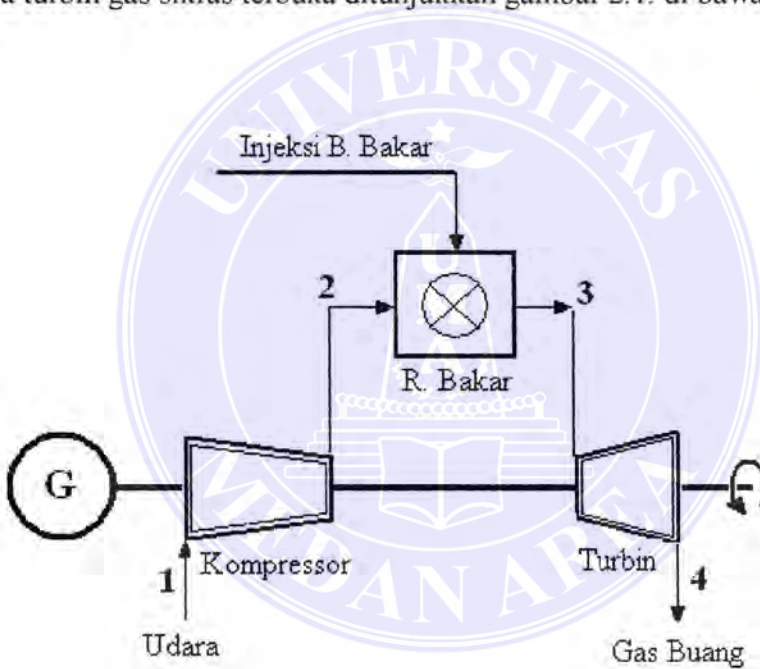
Jadi dalam perencanaan pembahasan tidak pada seluruh komponen yang diperlukan pada sistem fogging.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. ANALISA THERMODINAMIKA

Siklus turbin gas sederhana adalah menggunakan siklus Brayton yang merupakan dasar untuk menganalisa turbin gas tanpa memperhatikan peneapannya apakah dipakai untuk instalasi stasioner, otomotif, lokomotif atau pesawat terbang. Sistem kerja turbin gas siklus terbuka ditunjukkan gambar 2.1. di bawah ini.



Gambar 2.1. : Sistem Kerja Turbin Gas Siklus Terbuka

Sistem kerja turbin gas siklus terbuka sebagai berikut :

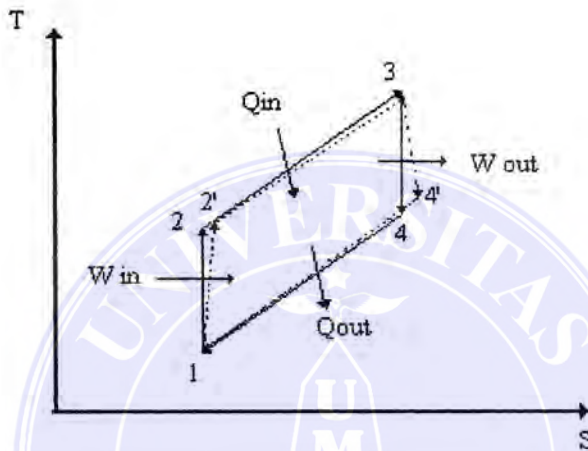
- 1 – 2 : Udara dikompres untuk menaikkan tekanan udara melalui kompresor.
- 2 – 3 : Reaksi pembakaran udara dan bahan bakar pada ruang bakar untuk mengkonversikan energi kimia pada bahan bakar menjadi energi panas

UNIVERSITAS MEDAN AREA hasil pembakaran.



3 – 4 : Gas hasil pembakaran diekspansikan oleh sudu-sudu turbin untuk mengkonversikan energi panas gas hasil pembakaran menjadi energi mekanik. Berupa putaran poros.

Analisa kerja turbin gas secara termodinamika menggunakan Diagram T – S Siklus Brayton ditunjukkan gambar 2.2. di bawah ini.



Gambar 2.2 : Diagram T-S Siklus Brayton

Keterangan gambar 2.2. :

———— = Siklus ideal

..... = Siklus aktual

1 – 2 = Proses kompresi isentropik

1 – 2' = Proses kompresi aktual

2 – 3 = Proses pembakaran ideal pada tekanan konstan

2' – 3' = Proses pembakaran aktual

3 – 4 = Proses ekspansi isentropik

3' – 4' = Proses ekspansi aktual

4 – 1 = Proses pembuangan kalor

## 2.1.1. Kompresor

### 2.1.1.1. Kerja Kompresor Ideal

Pada gambar 2.2 kerja spesifik ideal kompresor. Titik 1-2 ( $W_{k1-2}$ ), yaitu kalor spesifik yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor pada kondisi ideal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 di bawah ini.

$$\begin{aligned} W_{k1-2} &= C_p \cdot (T_2 - T_1) \text{ [kJ/kg]} \\ &= h_2 - h_1 \text{ [kJ/kg]} \dots\dots\dots (2.1) \end{aligned}$$

dimana :

- $W_{k1-2}$  = Kerja spesifik kompresor ideal [kJ/kg]
- $C_p$  = Panas jenis udara pada tekanan konstan [kJ/(kg.K)]
- $T_1$  = Temperatur udara masuk kompresor [K]
- $T_2$  = Temperatur udara keluar kompresor ideal [K]
- $h_1$  = Entalphi udara spesifik masuk kompresor [kJ/kg]
- $h_2$  = Entalphi udara spesifik keluar kompresor [kJ/kg]

### 2.1.1.2. Kerja Kompresor Aktual

Kerja spesifik kompresor aktual pada titik 'Titik 1-2' ( $W_{k1-2}'$ ) yaitu kalor spesifik yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor secara aktual. Besar kerja kompresor aktual dapat dihitung dengan persamaan 2.2 di bawah ini.

$$\begin{aligned} W_{k1-2}' &= C_p \cdot (T_2' - T_1) \text{ [kJ/kg]} \\ &= h_2' - h_1 \text{ [kJ/kg]} \dots\dots\dots (2.2) \end{aligned}$$

dimana :

- $W_{k1-2}'$  = Kerja spesifik kompresor ideal [kJ/kg]
- $C_p$  = Panas jenis udara pada tekanan konstan [kJ/(kg.K)]

UNIVERSITAS MEDAN AREA Temperatur udara masuk kompresor [K]

$T_2$  = Temperatur udara keluar kompresor aktual [K]

$h_1$  = Entalphi udara spesifik masuk kompresor [kJ/kg]

$h_2$  = Entalphi udara spesifik keluar kompresor aktual [kJ/kg]

### 2.1.1.3. Efisiensi Kompresor

Efisiensi kompresor yaitu perbandingan kerja ideal dengan kerja aktual.

Efisiensi kompresor dihitung menggunakan persamaan 2.3 di bawah ini.

$$\eta_k = \frac{(h_2 - h_1)}{(h_{2'} - h_1)} \cdot 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana :

$\eta_k$  = Efisiensi compressor

### 2.1.2. Ruang Bakar

Energi yang dihasilkan bahan bakar merupakan perkalian Nilai Kalor Bawah (LHV) bahan bakar dengan massa aliran bahan bakar seperti pada persamaan 2.4 di bawah ini.

$$Q_{bb} = LHV \cdot \dot{m}_{bb} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$Q_{bb}$  = Energi yang dihasilkan bahan bakar [kJ/s]

LHV = Nilai kalor bawah bahan bakar [kJ/kg]

$\dot{m}_{bb}$  = Massa aliran bahan bakar [kg/det]

Walaupun telah dilakukan usaha agar terjadi pembakaran sempurna, tetapi kenyataannya hal ini tidak terjadi, karena itulah ruang bakar memiliki efisiensi dengan adanya faktor pengurangan tekanan. Karena adanya kerugian

kalor dan tekanan sehingga titik 3 pada diagram siklus Brayton bergeser menjadi titik 3' (seperti pada gambar 2.2), dan kalor gas hasil pembakaran dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.5 dibawah ini.

$$\begin{aligned} Q_{rb} &= C_p \cdot (T_{3'} - T_{2'}) \text{ atau} \\ &= h_{3'} - h_{2'} \dots\dots\dots (2.5) \end{aligned}$$

dimana :

$$\begin{aligned} Q_{rb} &= \text{Energi spesifik gas hasil pembakaran [kJ/kg]} \\ C_p &= \text{Panas jenis gas hasil pembakaran [kJ/(kg.K)]} \\ T_{3'} &= \text{Temperatur gas hasil pembakaran masuk turbin aktual [K]} \\ T_{2'} &= \text{Temperatur udara masuk ruang bakar aktual [K]} \\ h_{3'} &= \text{Entalpi aktual gas hasil pembakaran masuk turbin aktual} \\ &\quad \text{[kJ/kg]} \\ h_{2'} &= \text{Entalpi uadara masuk ruang bakar aktual [kJ/kg]} \end{aligned}$$

### 2.1.3. Turbin

#### 2.1.3.1. Kerja Turbin Ideal

Kerja ideal yang dihasilkan turbin pada proses ekspansi diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.6 di bawah ini.

$$\begin{aligned} W_{t_{3-4}} &= C_p \cdot (T_3 - T_4) \\ &= h_3 - h_4 \dots\dots\dots (2.6) \end{aligned}$$

dimana :

$$\begin{aligned} W_{t_{3-4}} &= \text{Kerja spesifik turbin ideal [kJ/kg]} \\ C_p &= \text{Kalor spesifik gas hasil pembakaran [kJ/(kg.K)]} \\ T_3 &= \text{Temperatur gas hasil pembakaran masuk turbin ideal [K]} \end{aligned}$$

$T_4$  = Temperatur gas hasil pembakaran keluar turbin ideal [K]

$h_3$  = Entalpi gas hasil pembakaran masuk turbin ideal [kJ/kg]

$h_4$  = Entalpi gas hasil pembakaran keluar turbin ideal [kJ/kg]

### 2.1.3.2. Kerja Turbin Aktual

Kerja aktual yang dihasilkan turbin pada proses ekspansi diperoleh dengan persamaan 2.7 di bawah ini.

$$\begin{aligned} W_{t_{3'-4'}} &= C_p \cdot (T_{3'} - T_{4'}) \\ &= h_{3'} - h_{4'} \dots\dots\dots (2.7) \end{aligned}$$

dimana :

$W_{t_{3'-4'}}$  = Kerja spesifik turbin aktual [kJ/kg]

$C_p$  = Kalor spesifik gas hasil pembakaran [kJ/(kg.K)]

$T_{3'}$  = Temperatur gas hasil pembakaran masuk turbin aktual [K]

$T_{4'}$  = Temperatur gas hasil pembakaran keluar turbin aktual [K]

$h_{3'}$  = Entalpi gas hasil pembakaran masuk turbin aktual [kJ/kg]

$h_{4'}$  = Entalpi gas hasil pembakaran keluar turbin aktual [kJ/kg]

### 2.1.3.3. Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin yaitu perbandingan kerja turbin aktual dengan kerja turbin ideal. Efisiensi turbin diperoleh dari persamaan 2.8 di bawah ini.

$$\eta_t = \frac{(h_{3'} - h_{4'})}{(h_3 - h_4)} \cdot 100 \% \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana :

$\eta_t$  = Efisiensi turbin

### 2.1.4. Analisa Pada Generator

Generator berfungsi untuk merubah energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin dalam bentuk putaran poros. Daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan generator merupakan daya netto turbin. Daya netto haruslah lebih besar dari daya keluaran generator, karena terdapat kerugian-kerugian. Daya netto turbin ( $P_T$ ) dioperasikan dari persamaan 2.9 di bawah ini.

$$P_T = \frac{P_G}{\eta_g \cdot \eta_k \cdot \cos \phi} \cdot 100\% \quad (2.9)$$

dimana :

- $P_T$  = Daya netto turbin [MW]
- $P_G$  = Daya generator [MW]
- $\eta_g$  = Efisiensi generator
- $\eta_k$  = Efisiensi kopel
- $\cos \phi$  = Factor daya

## 2.2. KONSEP DASAR SISTEM FOGGING

Konsep dasar yang menjadi pemikiran dalam perencanaan sistem fogging adalah menurunkan temperatur udara masuk dengan tujuan diperoleh volume spesifik udara yang lebih rendah melalui penyemprotan butiran air ke udara masuk kompressor.

Air dalam bentuk butiran disemprotkan sesuai kebutuhan, penyemprotan ini menciptakan luas permukaan basah yang lebih banyak, dan udara yang meninggalkan orifice nozzle berada dalam keseimbangan relatif humidity, suhu dan tekanan. Peralatan ini bersifat adiabatik karena saluran udara diberi penyekat dan kerapatan udara bertambah.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

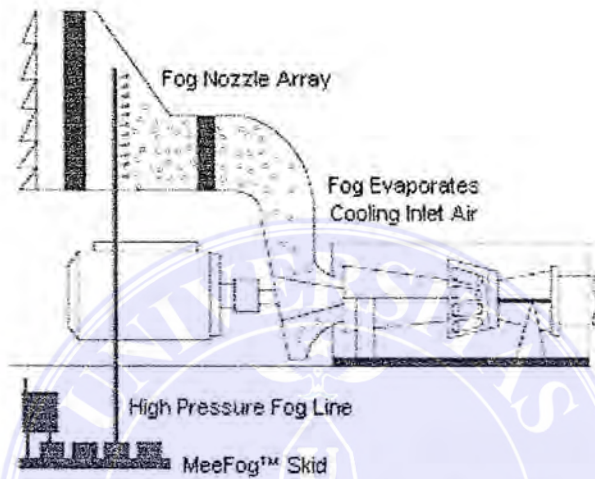
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)7/9/23

### 2.2.1. Sistem Kerja

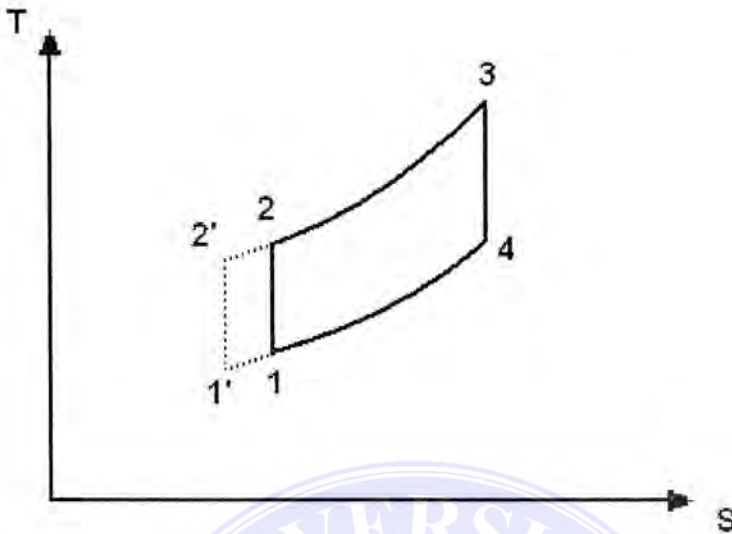
Sistem fogging digunakan untuk mendinginkan udara masuk ke kompresor dengan menyemburkan (spray) butiran-butiran air dengan tekanan tinggi, seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 : Sistem Fogging Pada Turbin Gas

Dari gambar 2.3 di atas ditunjukkan bahwa sistem kerja peralatan sistem fogging sangatlah sederhana, dimana air yang telah mengalami treatment disemprotkan dengan menggunakan pompa ke saluran udara kompresor melalui nozzle untuk menghasilkan butiran-butiran air sesuai ukuran diameter yang dibutuhkan yang bertujuan melembabkan udara, dengan mempertimbangkan tekanan, temperatur dan volume spesifik udara sebelum masuk sudu kompresor, dimana temperatur butiran air yang lebih rendah akan mengakibatkan udara mengalami penurunan temperatur, dengan demikian kerapatan udara bertambah. Hal ini membantu aliran oksigen lebih banyak masuk ruang bakar dan mengakibatkan pembakaran lebih sempurna dan massa aliran gas hasil pembakaran bertambah dengan demikian daya mampu turbin gas bertambah, seperti ditunjukkan pada gambar 2.4 di bawah ini.

UNIVERSITAS MEDAN AREA



Gambar 2.4 : Diagram T-S Pertambahan Daya Mampu Turbin Gas

Keterangan gambar :

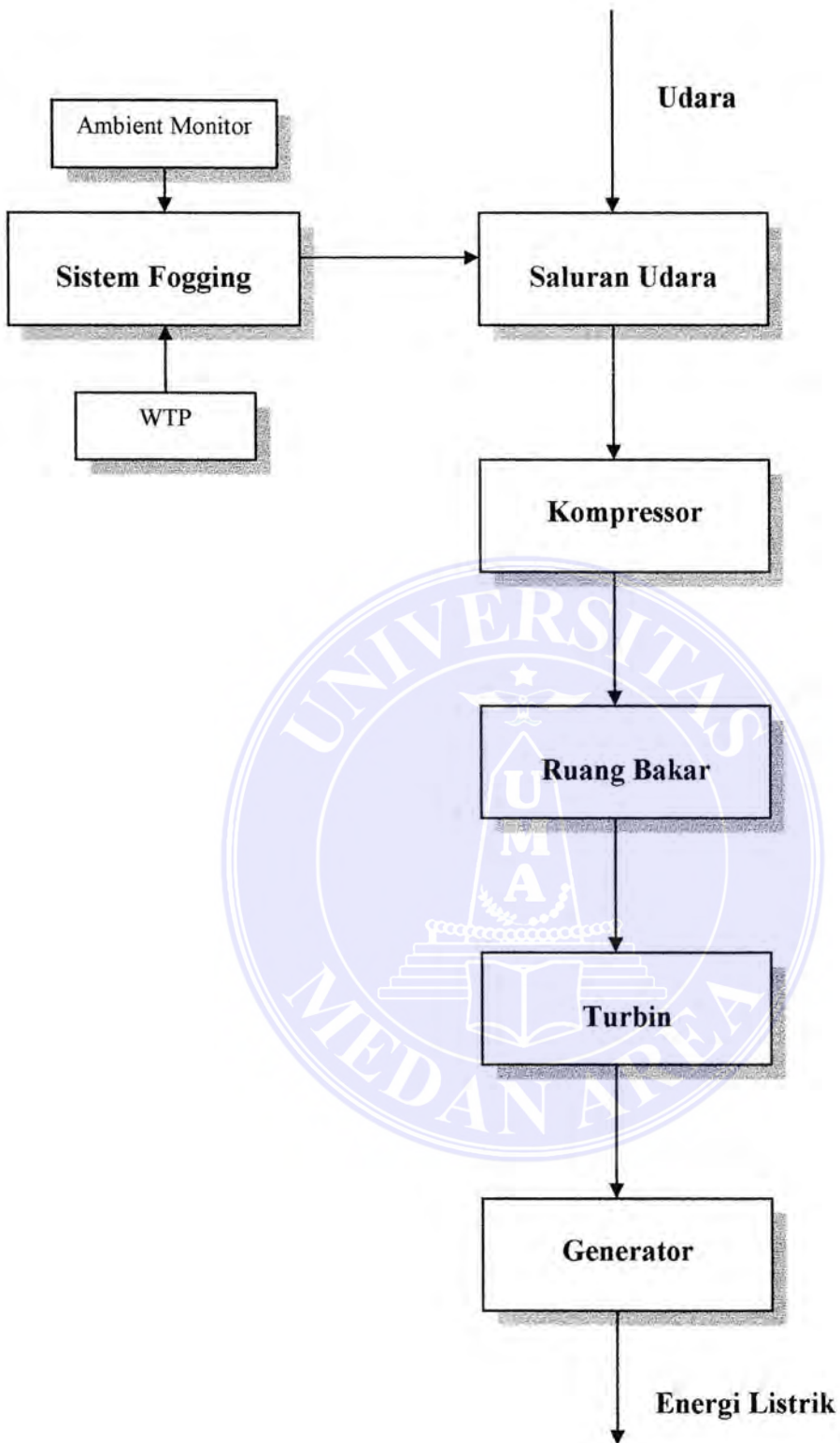
$1'-2'$ ,  $1-2$  dan  $3-4$  : Proses Isentropik

$2'-3$  dan  $4-1'$  : Proses Isobar

Daya mampu turbin gas sebelum temperatur udara masuk kompresor diturunkan ( $T_1$ ) adalah luasan  $1-2-3-4$ . Setelah temperatur udara masuk kompresor diturunkan menjadi  $T_1'$  daya mampu turbin gas menjadi luasan  $1'-2'-3-4$ . Dari gambar 2.4 dapat diketahui daya mampu turbin gas naik sebesar luasan  $1'-2'-2-1$ .

Dari penjelasan sistem kerja dan diagram gambar 2.4 di atas dapat dibuat diagram alir Sistem Fogging, sebagai berikut.





Gambar 2.5 : Bagan Alir Sistem Fogging

Bagan alir di atas menjelaskan bahwa udara yang masuk melalui saluran udara sebelum masuk ke kompressor disemprotkan butiran air, sehingga panas yang ada pada udara diserap oleh air. Sebab temperatur air lebih rendah dari temperatur udara. Hal ini mengakibatkan udara lebih padat dan volume spesifik udara kecil. Dengan demikian jumlah massa aliran udara bertambah dan secara otomatis massa aliran gas pembakaran bertambah. Pertambahan gas pembakaran ini menyebabkan daya generator bertambah.

### 2.2.2. Massa Aliran Uap Air

Untuk mengetahui massa uap air yang terdapat pada udara kondisi tertentu, dipergunakan persamaan 2.10 di bawah ini. (ref. 3 halaman 41) :

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{m_{ua}}{m_{uk}} = \frac{\text{kg uap air}}{\text{kg udara kering}} \\
 &= \frac{p_s \cdot V / R_s \cdot T}{p_a \cdot V / R_a \cdot T} \\
 &= \frac{R_a}{R_s} \cdot \frac{p_s}{p_t - p_s} \\
 &= \frac{287}{461,5} \cdot \frac{p_s}{p_t - p_s} \\
 &= 0,622 \cdot \frac{p_s}{p_t - p_s} \dots\dots\dots (2.10)
 \end{aligned}$$

dimana :

- w = ratio kelembaban (kg uap air / kg udara kering)
- V = Volume campuran uap air dengan udara [m<sup>3</sup>/kg]
- p<sub>t</sub> = Tekanan atmosfer = p<sub>a</sub> + p<sub>s</sub> = (Pascal)
- p<sub>a</sub> = Tekanan parsial uap kering (Pascal)

$R_g$  = Tetapan gas udara kering = 387 J/kg . K

$R_s$  = Teetapan gas untuk uap air = 461,5 J/kg . K

$p_s$  = Tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh (Pascal)

### 2.2.3. Jumlah Nozzle

Jumlah nozzle yang dibutuhkan dipengaruhi oleh :

- Luas saluran kompressor.
- Orifice, diameter dan jarak nozzle.
- Penampang poppet.
- Bidang dan sudut penyemburan/penyemprotan nozzle.

#### 2.2.3.1. Luas Saluran Udara Masuk Kompresor

Persamaan untuk menghitung luas saluran udara masuk kompressor ( $A_s$ ) adalah sebagai berikut :

$$A_s = L \cdot T \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana :

$A_s$  = Luas saluran udara masuk kompressor [ $m^2$ ]

$L$  = Lebar saluran udara [m]

$T$  = Tinggi saluran udara [m]

Maka kecepatan aliran udara ( $V_u$ ) sebagai berikut :

$$V_u = Q_u / A_s \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana :

$V_u$  = Kecepatan aliran udara [m/dtk]

$Q_u$  = Kapasitas aliran udara [ $m^3$ /dtk]

$A_s$  = Luas saluran udara [ $m^2$ ]

### 2.2.3.2. Kapasitas Aliran Air Keluar Orifice Nozzle

Kapasitas aliran keluar orifice nozzle diperoleh dari persamaan 2.13 di bawah ini.

$$Q_o = Q_a / n$$

dimana :

$$Q_o = \text{Kapasitas aliran air keluar orifice nozzle [m}^3/\text{dtk]}$$

$$Q_a = \text{Kapasitas aliran air [m}^3/\text{dtk]}$$

$$n = \text{Jumlah nozzle}$$

### 2.2.3.3. Diameter Orifice Nozzle

Diameter orifice nozzle ( $D_o$ ) digunakan dengan menggunakan persamaan 2.14 di bawah ini (ref. 6 halaman 1)

$$D_o = \{(3 \cdot Q_o / (2 \cdot \sqrt{P_a})\}^{0.5} \dots \dots \dots (2.14)$$

dimana :

$$D_o = \text{diameter orifice nozzle [mm]}$$

$$Q_o = \text{Kapasitas aliran air keluar orifice nozzle [ltr/min]}$$

$$P_a = \text{Pressure [bar]}$$

### 2.2.3.4. Kecepatan Aliran Air Keluar Orifice Nozzle

Kecepatan aliran air keluar nozzle dapat diperoleh dari persamaan 2.15 dibawah ini.

$$V_o = \frac{Q_o}{A_o} \dots \dots \dots (2.15)$$

dimana :

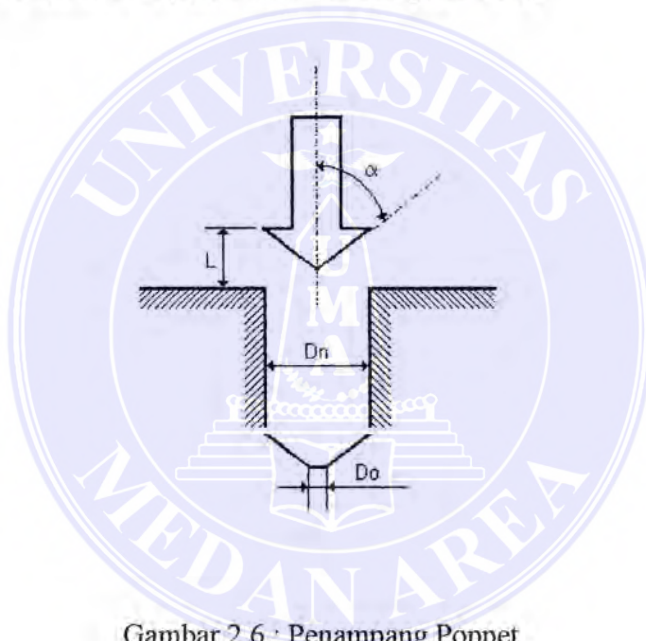
$$V_o = \text{Kecepatan air keluar orifice nozzle [m/dtk]}$$

$Q_0$  = Kapasitas aliran air keluar orifice nozzle [ $m^3/dtk$ ]

$A_0$  = Luas penampang orifice nozzle [ $m^2$ ]

### 2.2.3.5. Penampang Poppet

Penampang poppet adalah memperkecil penampang nozzle untuk menghasilkan diameter butiran air yang diinginkan sehingga tidak menimbulkan efek impact pada sudu kompressor. Nozzle diberi jarum seperti ditunjukkan gambar 2.6 di bawah ini. Untuk memperoleh luas penampang poppet dipergunakan persamaan 2.16 di bawah ini (ref. 2 halaman 189 pers. 8-30)



Gambar 2.6 : Penampang Poppet

$$A_p = \pi \cdot L \cdot \sin \alpha \cdot (D_n - L \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha) \dots\dots\dots(2.16)$$

dimana :

$A_p$  = Luas penampang poppet [ $m^2$ ]

$\pi$  = 3,14

$L$  = Jarak vertikal nozzle ke poppet [m]

$\alpha$  = Sudut poppet

$D_n$  = Diameter nozzle [m]

$D_o$  = Diameter orifice nozzle [m]

### 2.2.3.6 Tekanan Air Sebelum Masuk Orifice Nozzle

Tekanan air sebelum masuk orifice dari persamaan 2.17 (ref. 4 halaman 361 persamaan 6.135) dibawah ini.

$$Q_q = C_d \cdot A_o \left[ \frac{2(P_1 - P_2) / \rho}{1 - \beta^4} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana :

$Q_o$  = Kapasitas aliran air keluar nozzle [ $m^3/dtk$ ]

$A_o$  = Luas penampang orifice nozzle [ $m^2$ ]

$P_1$  = Tekanan air sebelum masuk orifice nozzle [ $N/m^2$ ]

$P_2$  = Tekanan air pada orifice nozzle [ $N/m^2$ ]

$\rho$  = Density air [ $kg/m^3$ ]

$\beta$  =  $D_o/D_n$

$C_d$  =  $0,9965 - 0,00653 \cdot \left( \frac{10^6}{Re_d} \right)^{1/2}$

$Re_d$  = Bilangan Reynold =  $\frac{V_o \cdot D_o}{\nu}$

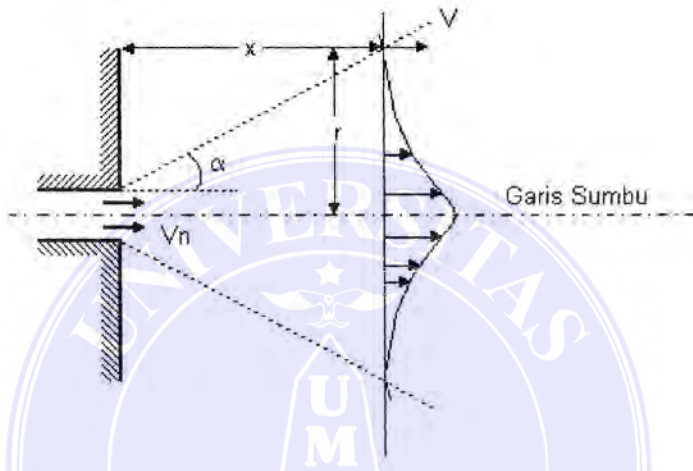
$V_o$  = Kecepatan air keluar orifice nozzle [ $m/dtk$ ]

$D_o$  = Diameter orifice nozzle [m]

$\nu$  = Viskositas kinematik air pada  $T_1 = 25^\circ C$  [ $m^2/dtk$ ]

### 2.2.3.7. Luas Bidang dan Sudut Penyemburan/ Penyemprotan Nozzle

Untuk menghasilkan besar diameter butiran air dan penyemburan yang merata pada saluran udara dipengaruhi oleh luas bidang dan sudut penyemburan/ penyemprotan nozzle. Bidang penyemburan/ penyemprotan nozzle gambar 2.7 diperoleh melalui persamaan 2.18 di bawah ini (ref. 3 halaman 119 pers. 6 – 32).



Gambar 2.7 : Bidang Penyemburan/ Penyemprotan Nozzle

$$V = \frac{7,41 \cdot V_o \cdot \sqrt{A_o}}{x \cdot \{1 + 57,5 (r^2 / x^2)\}^2} \text{ m/dtk} \dots\dots\dots (2.18)$$

dimana :

$V$  = Kecepatan butiran air pada jarak  $x$

$V_o$  = Kecepatan aliran air keluaran orifice nozzle

$A_o$  = Luas penampang orifice nozzle [ $\text{m}^2$ ]

$x$  = Jarak horizontal antara nozzle, luas penyemburan [ $\text{m}$ ]

$r$  = Jari-jari luas bidang penyemburan [ $\text{m}$ ]

dan  $\dots \text{tg } \alpha = (r - \frac{1}{2}D_o) / x \dots\dots\dots (2.19)$

$\alpha$  = Sudut penyemprotan nozzle

$D_o$  = Diameter orifice nozzle [m]

### 2.2.3.8. Jarak Antara Nozzle

Jarak antara nozzle juga mempengaruhi jumlah nozzle yang dibutuhkan. Jarak antara nozzle sama dengan 2 kali jari-jari luas penyemburan. Untuk memperoleh jarak antara nozzle dapat diketahui melalui persamaan 2.20 di bawah ini (ref. 3 halaman 119).

$$\text{GPM} = \frac{\text{GPA} \cdot \text{MPH} \cdot w}{5940} \dots\dots\dots(2.20)$$

dimana :

$w$  = Jarak antara nozzle [Inchi]

GPM = Kapasitas aliran per nozzle [Gallon Per Menit]

GPA = Kapasitas aliran total / luas saluran udara [Gallon Per Arce]

MPH = Kecepatan aliran udara [Mile Per Hour]

5940 = Faktor pengali

### 2.2.3.9. Pompa

Untuk menghitung daya pompa dipergunakan persamaan 2.21 di bawah ini (ref. 4 halaman 338).

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 = \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 + hf + \sum hm - hp \dots\dots (2.21)$$

dimana :

$p_1$  = Tekanan air pada pipa isap [ $\text{N/m}^2$ ]



$\rho$  = Berat jenis air [ $1.000 \text{ kg/m}^3$ ]

$g$  = Gravitasi [ $9,81 \text{ m/dtk}^2$ ]

$V_1$  = Kecepatan aliran air pada tangki [ $\text{m/dtk}$ ]

$Z_1$  = Ketinggian permukaan air pada tangki [ $\text{m}$ ]

$p_2$  = Tekanan air pada pip tekan [ $\text{N/m}^2$ ]

$V_2$  = Kecepatan aliran air pada pipa tekan [ $\text{m/dtk}$ ]

$Z_2$  = Tinggi air yang dialirkan [ $\text{m}$ ]

$h_f$  = Head losses friction [ $\text{m}$ ]

$h_m$  = Head losses minor [ $\text{m}$ ]

$h_p$  = Head pompa [ $\text{m}$ ]

Head losses friction merupakan losses pressure pada pipa dan diperoleh dari persamaan 2.22 di bawah ini (ref. 4 halaman 333).

$$h_f = f \cdot \{ L / d \} \cdot \{ V^2 / (2 \cdot g) \} \dots\dots\dots (2.22)$$

dimana :

$f$  = Friction diperoleh dari Diagram Moody (lampiran V)

$L$  = Panjang pipa [ $\text{m}$ ]

$d$  = Diameter pipa [ $\text{m}$ ]

$V^2$  = Kecepatan aliran air [ $\text{m/dtk}$ ]

$g$  = Gravitasi [ $9,81 \text{ m/dtk}^2$ ]

Head losses minor disebabkan oleh peralatan seperti elbow, tee dan lain-lain.

Untuk menghitung losses pressure dioergunakan persamaan 2.23 di bawah ini (ref. 4 halaman 333).

$$K = \frac{h_m}{V^2 / (2 \cdot g)} \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 K &= \text{Resistansi koefisien} \\
 h_m &= \text{Head losses minor} \\
 &= \Delta P (\rho \cdot g) \dots\dots\dots (2.24) \\
 \Delta P &= \text{Perbedaan tekanan [N/m}^2\text{]} \\
 \rho &= \text{Berat jenis air [1.000 kg/m}^3\text{]} \\
 g &= \text{Gravitasi [9,81 m/dtk}^2\text{]} \\
 V &= \text{Kecepatan air pada pipa [m/dtk]}
 \end{aligned}$$

Daya pompa diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.25 di bawah ini (ref. 4 halaman 637).

$$P_w = (\rho \cdot g \cdot Q \cdot h_p) / (\eta_v \cdot \eta_o) \dots\dots\dots (2.25)$$

dimana :

$$\begin{aligned}
 P_w &= \text{Tekanan pompa [N/m}^2\text{]} \\
 \rho &= \text{Berat jenis air [1.000 kg/m}^3\text{]} \\
 g &= \text{Gravitasi [9,81 m/dtk}^2\text{]} \\
 Q &= \text{Kapasitas aliran air [m}^3\text{/dtk]} \\
 h_p &= \text{pressure head [m]} \\
 \eta_v &= \text{Efisiensi volumetrik} \\
 \eta_o &= \text{Efisiensi operasi}
 \end{aligned}$$

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. TEMPAT DAN TANGAL PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan yang berjarak  $\pm$  20 Km dari kota Medan atau terletak pada koordinat :

$98^{\circ}40' - 98^{\circ}41'$  BT

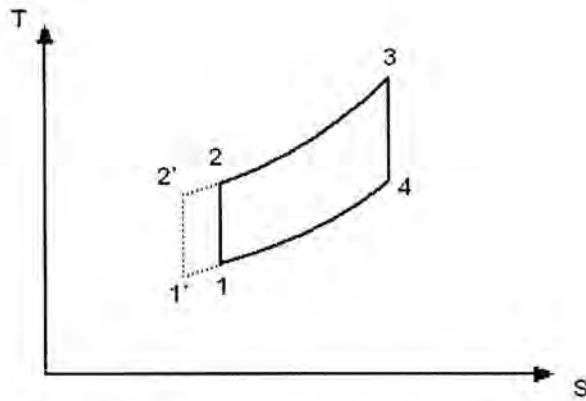
$3^{\circ}45'30'' - 3^{\circ}46'$  LU

Sedangkan jadwal pengambilan data adalah tanggal 7 sampai dengan tanggal 10 Mei 2007.

#### 3.2. KONSEP DASAR

Sistem Fogging digunakan untuk mendinginkan udara masuk kompressor yang bertujuan untuk memperbesar massa jenis udara dengan menyemburkan (sry) butir-butir air dengan tekanan tinggi.

Ilmu pengetahuan yang berperan penting adalah Relative Humadity udara dengan pertimbangan kondisi iklim. Melembabkan udara dengan menyemprotkan butiran-butiran air akan menambah massa aliran udara masuk kompressor. Hal ini akan membantu aliran oksigen lebih banyak masuk ruang bakar dan mengakibatkan pembakaran lebih sempurna dimana gas masuk ke turbin lebih besar sehingga menambah daya mampu pembangkit, seperti ditunjukkan gambar 2.3. diagram T-S Siklus Brayton di bawah ini.



Gambar 3.1 : Diagram T-S Pertambahan Daya Mampu Turbin Gas

Keterangan gambar :

1'-2', 1-2 dan 3-4 : Proses Isentropik

2'-3 dan 4-1' : Proses Isobar

Daya mampu turbin gas sebelum temperatur udara masuk kompressor diturunkan ( $T_1$ ) adalah luasan 1-2-3-4. Setelah temperatur udara masuk kompressor diturunkan menjadi  $T_1'$  daya mampu turbin gas menjadi luasan 1'-2'-3-4. Dari gambar 2.4 dapat diketahui daya mampu turbin gas naik sebesar luasan 1'-2'-2-1.

### 3.3. PROSEDUR PENELITIAN

Dalam pelaksanaan tugas penelitian ini, penulis membuat suatu prosedur penelitian dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

- **Start :**

Pembuatan proposal (outline) tugas akhir dengan judul “Sistem Fogging Untuk Menaikkan Daya Mampu PLTG” dimana sebagai masalah yang akan di angkat sebagai Tugas Akhir.

- **Survey Lapangan :**

Pengambilan data di Turbin Gas – 22 PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan untuk dapat dihitung atau dibandingkan dengan buku-buku referensi dan dapat mengetahui konstruksi dan cara kerja dari sistem fogging.

- **Analisa Massa Aliran Udara Masuk Kompresor Tanpa Menggunakan Sistem Fogging :**

Menganalisa massa aliran udara masuk pada saat sistem fogging tidak dioperasikan dan membuat kesimpulan hasil analisa serta membandingkan dengan hasil analisa saat sistem fogging tidak dioperasikan.

- **Analisa Massa Aliran Udara Masuk Kompresor Dengan Menggunakan Sistem Fogging :**

Menganalisa massa aliran udara masuk pada saat sistem fogging beroperasi dan membuat kesimpulan hasil analisa.

- **Analisa Perencanaan Sistem Fogging Untuk Mendinginkan Udara Masuk Kompresor :**

Membuat analisa perencanaan sistem fogging berdasarkan hasil analisa kebutuhan udara dan kebutuhan air pendingin.

- **Analisa Peralatan Utama :**

Dari hasil pengumpulan data di lapangan maka dapat diketahui peralatan-peralatan yang dibutuhkan, bentuk, ukuran, material dan dianalisa.

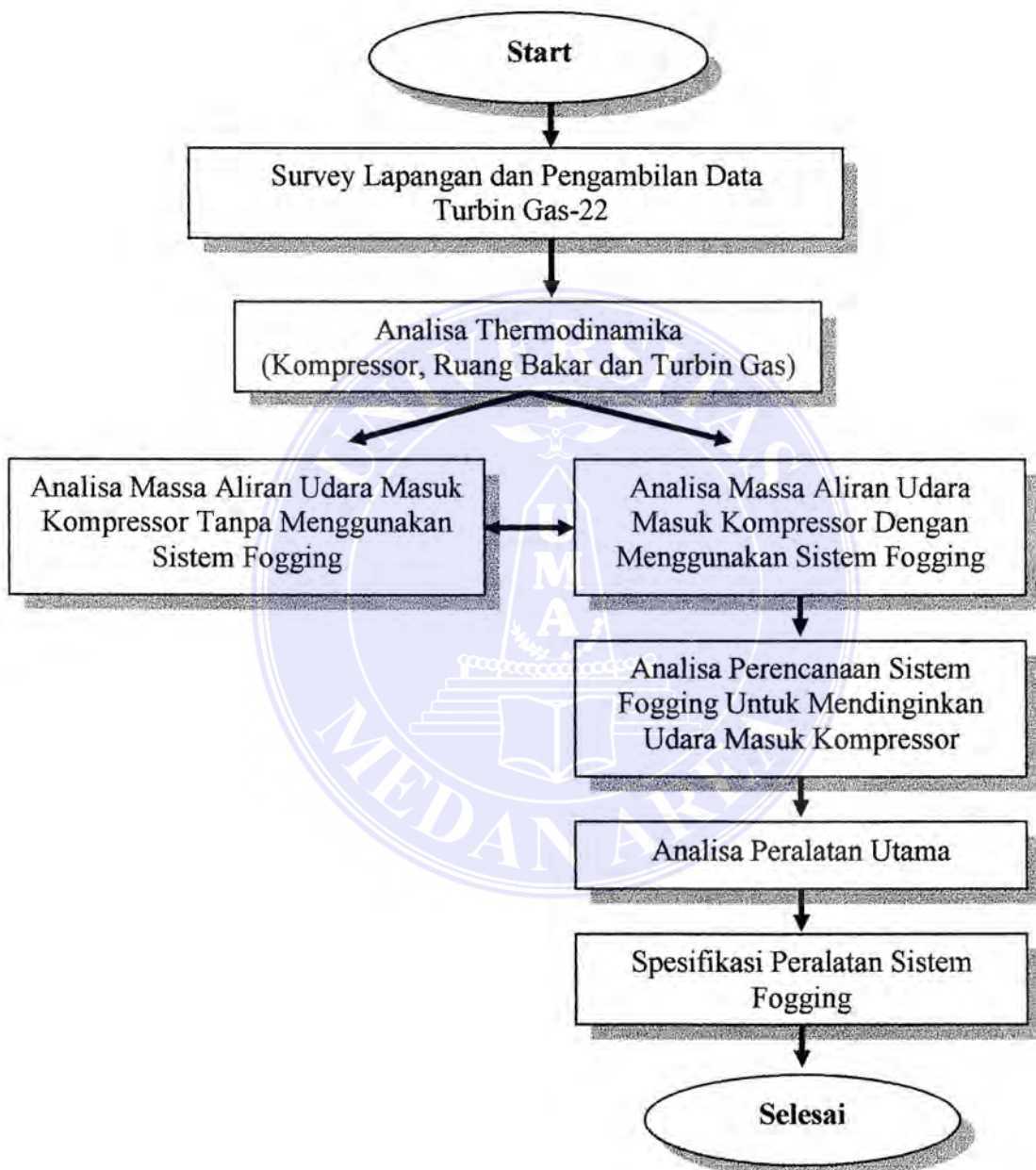
- **Spesifikasi Peralatan Sistem Fogging :**

Membuat daftar spesifikasi peralatan yang digunakan sesuai dengan survey lapangan dan hasil perhitungan.

- **Selesai :**

Pembuatan laporan hasil tugas akhir.

Langkah-langkah prosedur penelitian tersebut di atas dapat digambarkan dengan diagram alir seperti berikut.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. KESIMPULAN

A. Keuntungan penggunaan Sistem Fogging pada Pembangkit Listrik Turbin Gas (hasil perhitungan Bab III dan Bab IV) sebagai berikut :

1. Keandalan meningkat, bahan bakar terbakar lebih sempurna dengan demikian peralatan ruang bakar tidak kotor (tidak menimbulkan asap hitam).
2. Biaya pemeliharaan lebih murah karena keandalan meningkat.
3. Menaikkan daya mampu (5,4 MW) dengan biaya relatif lebih kecil dibandingkan penambahan unit pembangkit baru.
4. Efisiensi meningkat :
  - Pemakaian spesifik bahan baker dapat ditekan sebesar 0,005 ltr/kwh.
  - Biaya minyak pelumas lebih rendah, dimana dengan jam operasi yang sama kWh produksi yang dihasilkan turbin gas lebih tinggi dengan menggunakan sistem fogging.

B. Spesifikasi sistem fogging GT-22 PLN Sektor Belawan :

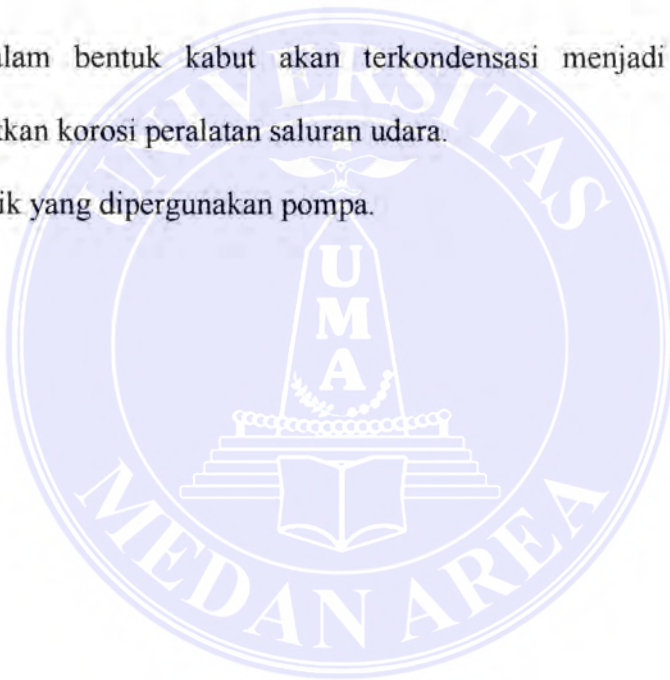
- Tekanan Operasi : 2.000 psi
- Diameter butiran air : 14  $\mu$ m
- Jumlah nozzle : 504
- Kapasitas aliran nozzle : 0,045 GPM
- Total kapasitas aliran : 22,7 GPM
- Daya Penggerak pompa : (10 Hp x 3) + (5 Hp x 1) = 35 Hp

- Kapasitas pendingin : 6°C
- Stage pendingin : 14 stage (0,43 °C per stage)

## 6.2. SARAN

Sebelum mengoperasikan sistem fogging agar memperhitungkan perbedaan temperature udara bola kering dan bola basah jika mengoperasikan dibawah temperature udara bola basah yang dapat mengakibatkan kerugian sebagai berikut :

- A. Butiran dalam bentuk kabut akan terkondensasi menjadi air dan akan mengakibatkan korosi peralatan saluran udara.
- B. Energi listrik yang dipergunakan pompa.





## DAFTAR LITERATUR

1. Norman C. Harris, "Modern Air Conditioning Practice", Third Edition, McGraw Book Company, 1983.
2. Enerst C. Fitch, JR, "Fluid Power and Control System", McGraw Book Company, New York, 1996.
3. Wilbert F. Stoecker, Jerold W. Jones, Supratman, "Refrigerasi dan Pengkondisian Udara", Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1992.
4. White, Frank M, "Fluid Mechanics", second Edition, McGraw book Company, New York, 1986.
5. Mee Industries Inc, "The Mee Fog Turbine Inlet Cooling System", California 2002.
6. Raswari, "Sistem Perpipaan", Universitas Indonesia", 1987.
7. William C. Reynolds, Henry C. Perkins, "Termodinamika Teknik", Edisi kedua, Erlangga, Jakarta 1982.
8. Manual Book Turbine Gas , By SIEMEN AG, 1993
9. [http://www.meefog.com/turbine/gtbd\\_08](http://www.meefog.com/turbine/gtbd_08).
10. [http://www.firerisk.fg.co.uk/sciene\\_3\\_5.htm](http://www.firerisk.fg.co.uk/sciene_3_5.htm).
11. [http://www.engineeringtoolbox.com/18\\_626.html](http://www.engineeringtoolbox.com/18_626.html).
12. [http://www.engineeringtoolbox.com/18\\_459.html](http://www.engineeringtoolbox.com/18_459.html).