



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH KONDISI LINGKUNGAN TERHADAP KINERJA TURBIN GAS  
CENTAUR T-4702 PADA PLATFORM OFF-SHORE NORTH WEST JAVA**

**SKRIPSI**

**HENDAR KUSNANDAR**

**0606073190**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**JUNI 2010**

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Hendar Kusnandar**

**NPM : 0606073190**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 9 Juli 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Hendar Kusnandar

NPM : 0606073190

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : "PENGARUH KONDISI LINGKUNGAN TERHADAP KINERJA TURBIN GAS CENTAUR T-4702 PADA PLATFORM OFF-SHORE NORTH WEST JAVA"

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. I Made Kartika Diputra, Dipl-Ing ( )

Penguji : Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.sc, Ph.D ( )

Penguji : Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng ( )

Penguji : Dr. Ir. Adi Suryo Satyo, M.sc ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 9 Juli 2010

## HALAMAN PENGESAHAN DARI PERUSAHAAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Hendar Kusnandar

NPM : 0606073190

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : "PENGARUH KONDISI LINGKUNGAN TERHADAP KINERJA TURBIN GAS CENTAUR T-4702 PADA PLATFORM OFF-SHORE NORTH WEST JAVA".

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI DARI PERUSAHAAN

Pembimbing I : **AB Hartono** ( )

Penguji : **Isni Subeno** ( )

Penguji : **Hilfan Kalendra** ( )

Penguji : **Slamet** ( )

Penguji : **Degus** ( )

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas semua berkat dan rahmat-Nya sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya. Skripsi ini merupakan salah satu syarat kelulusan berdasarkan kurikulum sarjana Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dalam penulisan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Kedua orang tua saya, adik, kaka, dan seluruh keluarga besar yang senantiasa mendoakan, memberi dorongan dan kasih sayang yang berlimpah
2. Prof. Dr . Ir. I Made Kartika Diputra, Dipl-Ing . Sebagai dosen pembimbing atas semua bimbingan, saran dan diskusi sehingga penulisan skripsi ini dapat selesai dengan tepat waktu.
3. Prof. Dr. Ir. Yulianto S Nugroho, MSc. sebagai dosen yang selalu memberi masukan, saran dan diskusi.
4. Bapak AB hartono , Isni subeno, Hilfan kalendra, Slamet, Degus dan semua tim OA yang telah banyak membantu meluangkan waktu selama bimbingan dalam pengerjaan skripsi diperusahaan beliau.
5. Teuku Firmansyah yang merupakan rekan tim dalam pengerjaan skripsi ini.
6. Semua rekan-rekan Teknik Mesin dan Kapal 2006 atas dukungan tiada hentinya akan skripsi penulis.
7. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis, yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu didalam skripsi ini.

Akhir kata, semoga Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semoga skripsi ini membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 9 Juli 2010

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hendar Kusnandar  
NPM : 0606073190  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**” PENGARUH KONDISI LINGKUNGAN TERHADAP KINERJA TURBIN  
GAS CENTAUR T-4702 PADA PLATFORM OFF-SHORE NORTH WEST  
JAVA ”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 9 Juli 2010

Yang menyatakan

(Hendar Kusnandar)

## ABSTRAK

Nama : Hendar Kusnandar  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : "Pengaruh kondisi lingkungan terhadap kinerja turbin gas centaur T-4702 pada platform off-shore north west java"

**ABSTRAK.** Perusahaan X adalah perusahaan yang bergerak dibidang minyak dan gas bumi, perusahaan X menggunakan Turbin gas centour T-4702 untuk menggerakkan kompresor sentrifugal yang berfungsi untuk lifting minyak bumi dan gas alam yang diangkat dari sumur pengeboran. Turbin gas yang digunakan ada di platform off-shore yaitu dua turbin gas yang dipasang seri, yaitu AX yang menggerakkan kompresor sentrifugal low pressure(LP) dan BX yang menggerakkan kompresor sentrifugal high pressure(HP) sehingga dihasilkan tekanan akhir gas yang tinggi yaitu sekitar 600-700 psi.

Kondisi udara lingkungan yang berubah-ubah pada setiap waktunya menyebabkan turbin gas tidak bekerja pada peforma yang stabil apalagi Turbin gas bekerja pada beban dan putaran yang tinggi.

Dari hasil analisis didapat bahwa Temperatur inlet( $T_0$ ) yang lebih kecil menghasilkan Power output yang lebih besar sehingga kinerja operasional dipagi hari cenderung lebih besar daripada sore hari karena temperatur udara dipagi hari lebih rendah sehingga densitasnya tinggi. Power output maksimal yang dihasilkan kedua tubin gas baik AX maupun BX berbeda pada saat Test Cel I(pada saat acceptace-test) dengan kinerja dilapangan off-shore, yang mana Power output maksimal keduanya di off-shore AX 4000 horse power dan BX 3300 horse power dan ini lebih kecil dibandingkan pada saat Test Cell (acceptance-tes)t yaitu keduanya 4300 horse power, hal ini dipengaruhi oleh temperatur udara lingkungan, posisi penempatan turbin gas, ketinggian, kelembaban, dan tekanan udara lingkungan yang berbeda pada saat di off-shore. Namun kedua Turbin gas tersebut(AX dan BX) masih dalam kerja operasional yang baik setelah dilakukan analisis dan dibandingkan dengan grafik operasionl enveloped yang ada pada perusahaan, yaitu untuk AX bekerja pada Power output 2500-3400 horse power dan BX berada pada Power output 2000-2400 horse power.

**Kata Kunci:**

Turbin gas T-4702 AX dan BX, Temperatur inlet( $T_0$ ), Power output.



## ABSTRACT

Name : Hendar kusnandar  
Study Program : Mechanical Engineering  
Title : "The effect of environment's condition to performance of Gas Turbine Centaur T-4702 on platform off-shore north west java".

X Company is a oil and gas company. X company using gas turbines centour T-4702 to drive the centrifugal compressor which serves to lifting of oin and natural gas taken from drilling wells. Gas turbines is used in off-shore platforms, two gas turbines installed in series, namely gas turbine AX which drive centrifugal compressor with *low pressure* (LP) and BX which drive centrifugal compressors with *high pressure* (HP), so it can to produce the final high gas pressure of about 600 -700 psi.

The changing temperature of environment at any given time caused gas turbines do not work on much less stable Performance of gas turbines working at high load and speed.

From the analysis result shows that the inlet temperature ( $T_0$ ), a smaller yield greater power output so that the operational performance of early mornings tend to be larger than the evening because the emperature of air in the morning is cooler than evening .Maximum power output of gas turbine generated both AX and BX both different when in Test cell (when acceptance-test) with the field performance of off-shore, which is the maximum output power for AX 4000 horse power and for BX 3300 horse power in the off-shore are smaller than at the time of acceptance-test both 4300 horse power. it is influenced by ambient air temperature, gas turbine placement position, altitude, humidity, air pressure and different environments during the off-shore. But the Gas Turbine (AX and BX) are still in operational work that well after the analysis and compared with existing charts operasionl enveloped the company, which is to work on Power Output AX 3200-3400 horse power and BX are in Power output 2000-2400 horse power.

Keywords: T-4702 gas turbine AX and BX, the inlet temperature ( $T_0$ ), Power Output



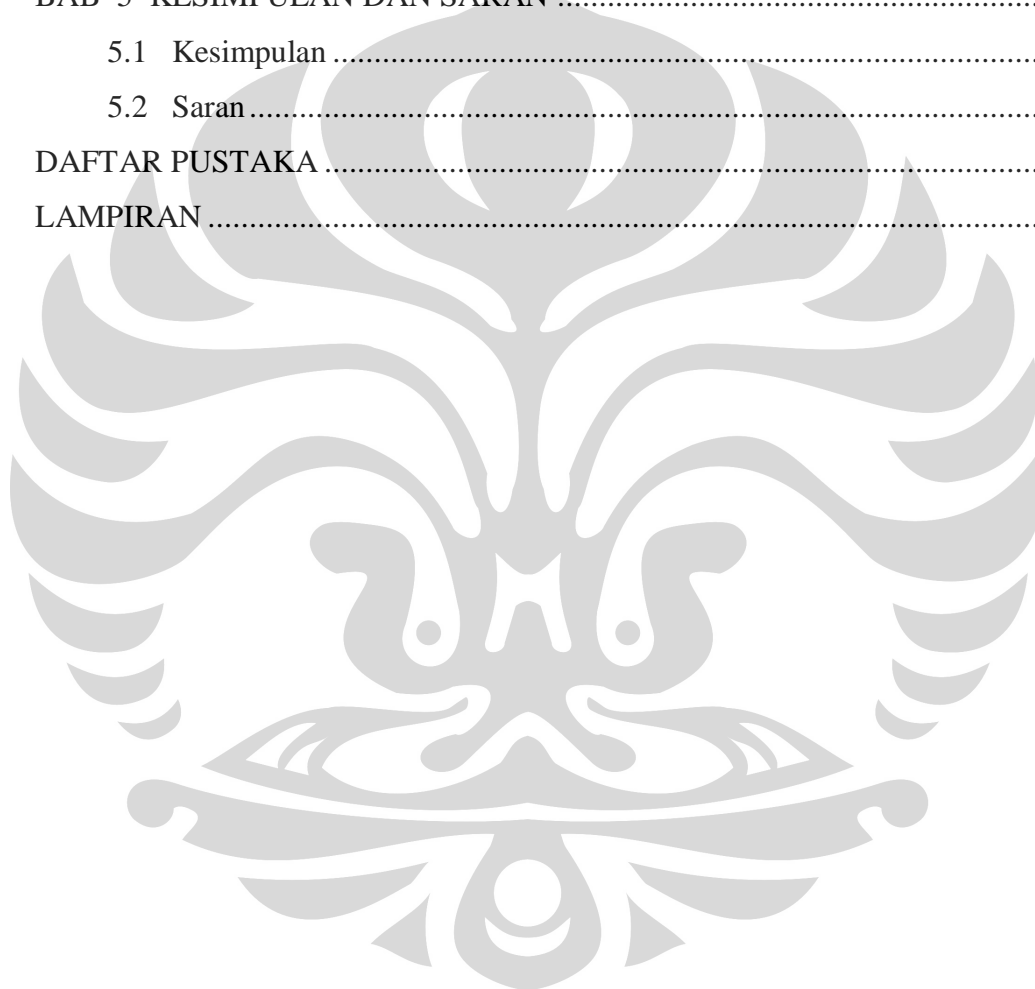
## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN PERUSAHAAN .....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH .....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vii
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR GRAFIK .....	xvii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Judul Penelitian .....	1
1.2 Latar Belakang Masalah .....	1
1.3 Perumusan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	3
1.6 Metodologi Penelitian .....	4
1.7 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 LANDASAN TEORI .....</b>	<b>6</b>
2.1 Klasifikasi Turbin Gas .....	6
2.1.1 Tipe Berdasarkan Siklus Turbin Gas .....	6
2.1.1.1 Turbin Gas Siklus Brayton Tertutup Sederhana .....	8
2.1.1.2 Turbin Gas Siklus Brayton Terbuka Sederhana .....	8
2.1.2 Tipe Berdasarkan Poros Turbin Gas .....	9
2.1.2.1 Turbin gas dengan poros tunggal .....	9
2.1.2.2 Turbin Gas dengan Dua Poros .....	9
2.1.2.3 Turbin Gas dengan Poros Gabungan .....	10
2.2 Komponen-komponen Turbin Gas Centaur T-4702 .....	11

2.2.1	Komponen Utama.....	12
2.2.1.1	Air Inlet Section .....	13
2.2.1.2	Compressor Section.....	13
2.2.1.3	Combustion Section.....	17
2.2.1.4	Turbin Section .....	20
2.2.1.5	Exhaust Section.....	24
2.2.2	Komponen Mesin External .....	24
2.2.3	Aksesoris Eksternal Turbin Gas .....	25
2.3	Engine Support System .....	26
2.4	Komponen – Komponen Kompresor Set.....	28
2.5	Kompresor Sentrifugal .....	29
2.5.1	Karakteristik Kompresor Sentrifugal.....	30
2.5.2	Komponen Utama Komponen Sentrifugal.....	30
2.5.2.1	Komponen Statis .....	30
2.5.2.2	Komponen Dinamis.....	35
2.6	Teori Dasar Unjuk Kerja Kompresor Sentrifugal .....	36
2.6.1	Head.....	37
2.6.1.1	Head Isentropik .....	37
2.6.1.2	Head Politropik.....	38
2.6.2	Efisiensi Kompresor Sentrifugal .....	39
2.6.3	Debit Aliran.....	39
2.6.4	Daya.....	40
2.6.4.1	<i>Daya Kompresor</i> .....	41
2.6.5	Gas Propertis .....	41
2.7	Parameter yang Mempengaruhi Unjuk Kerja Kompresor Sentrifugal .....	42
2.8	Prinsip Dasar Kompresor Sentrifugal.....	44
<b>BAB 3 TURBIN GAS CENTOUR T-4702 DAN KOMPRESOR SENTRIFUGAL .....</b>		<b>45</b>
3.1	Turbin Gas Centour T-4702.....	45
3.2	Spesifikasi Turbin Gas Centour AX dan BX T-4702.....	46
3.3	Prinsip Kerja Turbin Gas Centour T-4702 .....	49
3.4	Sistem Pendukung Turbin Gas Solar Centaur T-4702 .....	51
3.4.1	Tipe Sistem Penyalaan .....	51

3.4.1.1	Prinsip Kerja Sistem Penyalaan .....	52
3.4.2	Sistem Udara pada Turbin Gas Centaur T-4702 .....	52
3.4.2.1	Fungsi Sistem Udara.....	53
3.4.3	Sistem Sudu Tidak Tetap .....	55
3.4.4	Sistem Minyak Pelumas.....	55
3.4.4.1	Pengoperasian Sistem Pelumasan.....	57
3.4.5	Sistem Bahan Bakar.....	58
3.4.5.1	Prinsip Pembakaran Standar .....	59
3.4.5.2	Sistem Pembakaran SoLoNOx .....	59
3.4.5.3	Temperature Zona Utama .....	60
3.5	Kompresor Sentrifugal untuk Turbin Gas Centaur T-4702 .....	61
3.5.1	Spesifikasi Kompresor Sentrifugal C505.....	61
3.5.2	Spesifikasi Kompresor Sentrifugal C306.....	62
3.6	Sistem Perapat Pada Kompresor Sentrifugal .....	63
3.6.1	Sistem Perapat Basah ( <i>Wet Seal System</i> ).....	63
3.6.2	Sistem Perapat Kering ( <i>Dry Seal System</i> ).....	64
3.7	Sistem Katup di Lapangan.....	64
3.8	Sistem Pengontrolan Surge.....	68
<b>BAB 4</b>	<b>PERHITUNGAN DAN ANALISA .....</b>	<b>70</b>
4.1	Penjelasan Grafik Operasional point .....	70
4.1.1	Grafik Operasional Enveloped dilapangan untuk Turbin Gas AX.....	70
4.1.2	Grafik Operasional Enveloped dilapangan untuk Turbin Gas BX.....	71
4.2	Perhitungan data Operasional dilapangan .....	71
4.2.1	Perhitungan Data Operasional AX .....	72
4.2.2	Perhitungan data Operasional BX .....	77
4.3	Grafik-grafik karakteristik dan analisis .....	80
4.3.1	Grafik $T_0$ Vs <i>Power Output</i> AX ( Power Teoritis dan Power aktual) .....	80
4.3.2	Grafik $T_0$ Vs <i>Power Output</i> BX ( Power Teoritis dan Power aktual) .....	81
4.3.3	Grafik AX <i>Acceptance Test, Power Output Corrected</i> dilapangan dan kerja operasional dilapangan .....	82

4.3.4 Grafik BX <i>Acceptance Test, Power Output Corrected</i> dilapangan dan kerja operasional dilapangan.....	84
4.3.5 Grafik Rasio kompresi vs <i>Power Outpout</i> (AX dan BX) .....	85
4.3.6 Grafik <i>Power Output Vs PT Speed</i> (AX dan BX).....	86
4.3.7 Grafik Rasio Kompresi Vs <i>PT Speed</i> (AX dan BX) .....	88
4.4 Contoh kasus .....	90
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	93
5.1 Kesimpulan .....	93
5.2 Saran.....	93
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	94
<b>LAMPIRAN</b> .....	95



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Turbin gas siklus terbuka sederhana.....	7
Gambar 2.2 Siklus Brayton ideal.....	7
Gambar 2.3 Siklus tertutup sederhana .....	8
Gambar 2.4 Turbin gas siklus terbuka sederhana.....	9
Gambar 2.5 Turbin gas poros tunggal.....	9
Gambar 2.6 Turbin gas dua poros dengan ruang bakar seri.....	10
Gambar 2.7 Turbin gas poros gabungan .....	11
Gambar 2.8 Turbin gas Centour T-4702.....	11
Gambar 2.9 Potongan Turbin gas T-4702.....	12
Gambar 2.10 Air Inlet Section.....	13
Gambar 2.11 Compressor Section .....	15
Gambar 2.12 Ruang Bakar tipe annular.....	18
Gambar 2.13 Combustion Camber dan Spark plug .....	19
Gambar 2.14 Sudu stator dan rotor turbin aksial.....	22
Gambar 2.15 Komponen mesin external.....	24
Gambar 2.16 Aksesoris Eksternal.....	25
Gambar 2.17 Skema <i>engine support system</i> .....	27
Gambar 2.18 Set Turbin mesin tampak atas .....	28
Gambar 2.19 Set Turbin mesin tampak samping .....	28
Gambar 2.20 Susunan Turbin gas dan kompresor set .....	29
Gambar 2.21 Potongan kompresor sentrifugal.....	31
Gambar 2.22 <i>Inlet wall</i> .....	31
Gambar 2.23 <i>Guide vane</i> .....	32
Gambar 2.24 Eye seal .....	32
Gambar 2.25 <i>Diffuser</i> .....	33
Gambar 2.26 <i>Return bend</i> .....	33
Gambar 2.27 <i>Labirinth seal</i> .....	34
Gambar 2.28 <i>Return channel</i> .....	34
Gambar 2.29 <i>Diafragm</i> .....	35

Gambar 2.30 <i>Shaft dan Shaft Sleeve</i> .....	35
Gambar 2.31 Impeller .....	36
Gambar 3.1 Turbin gas Centaur T-4702 .....	46
Gambar 3.2 Instalasi Susunan Turbin gas dan Kompresor sentrifugal AX dan BX .....	46
Gambar 3.3 Aliran udara dan hasil pembakaran pada Turbin gas T-4702.....	49
Gambar 3.4 Aliran udara dan aliran pendingin leading edge.....	54
Gambar 3.5 Aliran udara pendingin pada nozzle turbin .....	55
Gambar 3.6 Ruang bakar sistem konvensional .....	59
Gambar 3.7 Ruang bakar sistem SoLoNOx.....	60
Gambar 3.8 Sentrifugal C505 .....	62
Gambar 3.9 Sentrifugal C306.....	63
Gambar 3.10 Posisi valve kurang dari 30 detik starting .....	66
Gambar 3.11 posisi valve pada tekanan 50 psig.....	67
Gambar 3.12 Sistem pengontrolan surge .....	69
Gambar 4.1 Posisi penempatan parameter pada turbin gas T-4702 .....	72
Gambar 4.2 grafik faktor kompresibilitas.....	73



## DAFTAR GRAFIK

<b>Grafik 4.1</b> Grafik operasional Enveloped .....	70
<b>Grafik 4.2</b> Grafik $T_0$ Voperasional Enveloped .....	71
<b>Grafik 4.3</b> Grafik $T_0$ Vs Power Output AX.....	80
<b>Grafik 4.4</b> Grafik $T_0$ Vs Power Output BX .....	81
<b>Grafik 4.5.</b> Grafik AX <i>Acceptance Test, Power Output Corrected</i> dilapangan dan kerja operasional dilapangan.....	83
<b>Grafik 4.6</b> Grafik BX <i>Acceptance Test, Power Output Corrected</i> dilapangan dan kerja operasional dilapangan.....	84
<b>Grafik 4.7</b> Grafik Rasio kompresi vs Power Output(AX dan BX).....	86
<b>Grafik 4.8</b> Grafik <i>PT Speed</i> Vs Power Output (AX dan BX) .....	87
<b>Grafik 4.9</b> Grafik Rasio Kompresi Vs <i>PT Speed</i> (AX dan BX).....	89
<b>Grafik 4.10</b> Grafik Turbin Gas Kinerja normal Vs <i>Topping temperatur</i> .....	91
<b>Grafik 4.11</b> Grafik kompresor sentrifugal Kinerja normal Vs <i>Topping temperature</i> ...	90

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Judul Penelitian

Analisis pengaruh kondisi lingkungan terhadap kinerja Turbin Gas Centaur T-4702 pada platform *off-shore north west java*.

### 1.2 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan akan energi yang semakin meningkat memacu setiap perusahaan oil and gas untuk terus meningkatkan produksinya. Perkembangan ini membuahkan metode-metode baru dalam eksplorasi sumur minyak dan gas alam. Perusahaan X sebagai salah satu perusahaan yang menghasilkan minyak bumi dan gas alam yang berlokasi di *off-shore west java* pun terus meningkatkan produksinya.

Proses pengambilan gas alam dari perut bumi, pada umumnya dilakukan oleh perusahaan ini menggunakan set turbin gas yang terkopel ke kompresor sentrifugal. Turbin gas digunakan untuk menghasilkan putaran *Power Turbin* (PT) yang terkopel dengan kompresor sentrifugal. Kompresor sentrifugal tersebut berfungsi *lifting* mengangkat minyak bumi ke permukaan

Dengan adanya peningkatan permintaan akan gas alam dan untuk memuaskan konsumen, maka kinerja set turbin gas dan kompresor sentrifugal ini harus optimal. Turbin gas yang terkopel dengan Kompresor sentrifugal harus mampu menyalurkan gas pada tekanan maksimum dan kapasitas aliran maksimum yang telah ditentukan oleh perusahaan. Dengan tekanan dan kapasitas aliran gas alam yang ada, turbin gas harus mampu menggerakkan kompresor sehingga kompresor memiliki daya dan putaran yang stabil untuk melakukan kompresi gas alam. Selain itu, kinerja keduanya harus selaras sehingga tidak terjadi kerugian-kerugian bagi pihak konsumen ataupun perusahaan sebagai produsen.

Set turbin gas yang diteliti merupakan dua set turbin gas yang masing-masing terkopel dengan kompresor sentrifugal *Low Pressure*(LP) dan *High*

*Pressure* (HP) yang kita namakan AX (Turbin gas yang menggerakkan kompresor sentrifugal *Low Pressure*) dan BX (Turbin gas yang menggerakkan kompresor sentrifugal *High Pressure*). Kedua kompresor sentrifugal ini dipasang seri yang bertujuan mendapatkan tekanan akhir gas alam yang besar. Pertama-tama Gas alam yang akan dikompresi melalui kompresor LP dan kemudian dikompresi lagi dengan kompresor HP sehingga akan didapat tekanan discharge dari kompresor sentrifugal HP tersebut kira-kira 600psi. Seperti kita ketahui bahwa kerja turbin gas bekerja sepanjang hari dan bekerja pada beban dan putaran yang sangat tinggi. Perusahaan akan mengalami kerugian yang besar apabila Turbin gas ini mengalami Break Down pada saat beroperasi sehingga Turbin gas harus mendapat perhatian dan perawatan yang baik agar terus bisa bekerja dengan baik. Kondisi udara lingkungan yang berubah-ubah pada setiap waktunya menyebabkan turbin gas tidak bekerja pada performa yang stabil dan ini akan merugikan perusahaan.

Oleh karena itu penulis akan melakukan analisis terhadap kinerja dari set turbin gas AX dan BX ini. Suatu analisis terhadap kinerja kedua set turbin gas (AX dan BX) adalah untuk mengetahui pengaruh lingkungan khususnya temperatur lingkungan ( $T_0$  inlet) terhadap kinerja dari turbin gas dan untuk mengetahui sejauh mana deviasi dan optimasi operasional yang dihasilkan oleh kedua set turbin gas tersebut dilapangan, dibandingkan dengan data-data spesifikasi sesuai *performance design* yang tertera dalam manual book, maupun data dalam kinerja pada saat *performance-test* atau *acceptance test* yang dilakukan saat pengambilan unit tersebut ke perusahaan.

### **1.3 Perumusan Masalah**

Tugas akhir ini hanya akan meninjau kinerja dari set turbin gas AX dan BX. Untuk kompresor sentrifugal akan dibahas oleh teman saya lebih lanjut. Turbin gas yang digunakan keduanya baik AX maupun BX merupakan turbin gas centaur T-4702 yang dipasangkan dengan kompresor sentrifugal yang berbeda yang mana berfungsi *lifting* (mengangkat gas alam dari sumur ke permukaan sesuai dengan kebutuhan produsen atau konsumen). Turbin gas AX dan BX terpasang seri dengan speed dan power yang berbeda dan turbin gas centaur T-4702 menggunakan gas alam sebagai bahan bakar. Kinerja ini dipantau

dengan perbedaan operasional saat pagi hari dan sore hari yang mana temperatur pada kedua kondisi itu berbeda tentunya dan kemudian akan dibandingkan dengan grafik operasional dan design point yang telah ditetapkan oleh pabrik pembuat set turbin gas(solar).

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk:

1. Menganalisis pengaruh temperatur lingkungan terhadap kinerja turbin gas T-4702 dilapangan(platform)
2. Mengetahui sejauh mana deviasi dan optimasi operasional yang dihasilkan oleh kedua set turbin gas tersebut dilapangan, dibandingkan dengan data-data spesifikasi ( pada saat TEST CELL *acceptance test*)
3. Membandingkan kinerja set turbin gas pada siang hari dan malam hari
4. Memberikan kesimpulan dan saran terhadap temuan-temuan yang ada

#### 1.5 Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian perlu dilakukan pembatasan agar penelitian bisa lebih terfokus. Adapun batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Satuan yang digunakan untuk Tugas Akhir kami menggunakan British untuk grafik dan Standar Internasional (SI) untuk perhitungan dan data lampiran.
2. Data yang digunakan untuk pengolahan data merupakan data operasi di lapangan, bukan data hasil percobaan.
3. Data yang diambil hanya selama 2 Bulan yaitu Pebruari dan Maret (jam 5.00, jam 11.00, jam 17.00 dan jam 21.00)
4. Performa desain diambil dari spesifikasi standar dari pabrik dan *acceptance test* pada saat *Test Cell*.
5. Penyettingan Kerja turbin AX dan BX tidak pada kerja maksimal namun disesuaikan dengan kebutuhan.

## 1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur mengenai teori dasar turbin gas.
2. Studi Literatur mengenai sistem kerja Turbin gas centaur T-4702
3. Pengambilan data dilapangan untuk turbin gas
4. Melakukan perhitungan dan analisa terhadap performa set turbin gas dengan menggunakan rumus – rumus empiris yang telah ada dalam bentuk perhitungan data dan grafik-grafik karakteristik.
5. Membuat Kesimpulan.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis akan membagi dalam lima bab, dimana masing-masing bab terdiri dari beberapa sub bab. Hal tersebut dimaksudkan untuk memudahkan dan mengarahkan pembahasan agar didapatkan informasi secara menyeluruh. Kerangka penulisan tersebut diuraikan sebagai berikut:

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Dalam bab ini diuraikan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB 2 DASAR TEORI**

Bab ini berisi tentang teori – teori dan penjelasan yang berkaitan dengan jenis-jenis turbin gas, prinsip kerja turbin gas, komponen – komponen dalam sebuah sistem turbin gas dan ,komponen-komponen kompresor sentrifugal yang digunakan, selain itu menjelaskan tentang rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan skripsi ini.

### **BAB 3 TURBIN GAS CENTAUR T-4702 DAN KOMPRESOR SENTRIFUGAL**

Pada Bab ini berisi uraian mengenai Turbin Gas solar centaur T-4702, skema dari turbin gas AX dan BX dan menjelaskan komponen-komponen pendukung terhadap kinerja dari turbin gas ini dan prinsip kerja kompresor sentrifugal C-505 dan C-306.

### **BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA**

Bab ini berisi contoh perhitungan terhadap data – data yang diperoleh (data – data pokok) untuk mendapatkan parameter – parameter yang kemudian akan dituangkan ke dalam bentuk grafik – grafik karakteristik dan analisa terhadap hasil pengolahan data – data pengujian yang tertuang dalam bentuk grafik – grafik karakteristik.

### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan dibahas pada bab-bab sebelumnya serta menjawab tujuan-tujuan dari penelitian. Selain itu bab ini juga mencakup saran-saran yang mungkin berguna untuk pengembangan lebih lanjut.

## BAB 2

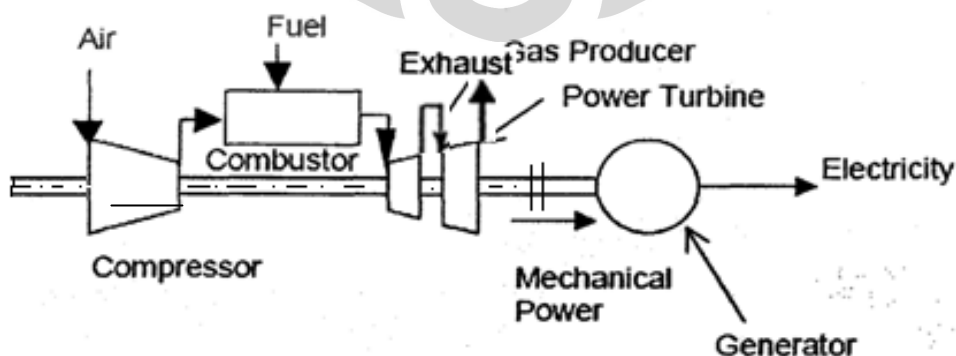
### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Klasifikasi Turbin Gas

Turbin gas adalah alat yang menghasilkan daya mekanikal poros yang menggerakkan alat-alat tertentu seperti pompa, kompresor atau generator listrik. Untuk menghasilkan daya penggerak tersebut, turbin gas bekerja sesuai siklus Brayton yang aktual dengan berbagai deviasi operasional sesuai kondisi dilapangan terhadap siklus Brayton ideal. Semua proses ini erat kaitanya dengan temperatur dan tekanan yang tinggi. Maka tak heran dari tahun ke tahun perkembangan turbin gas lebih difokuskan pada pencarian material turbin yang memiliki daya tahan yang lebih tinggi terhadap temperatur dan putaran yang tinggi.[1]

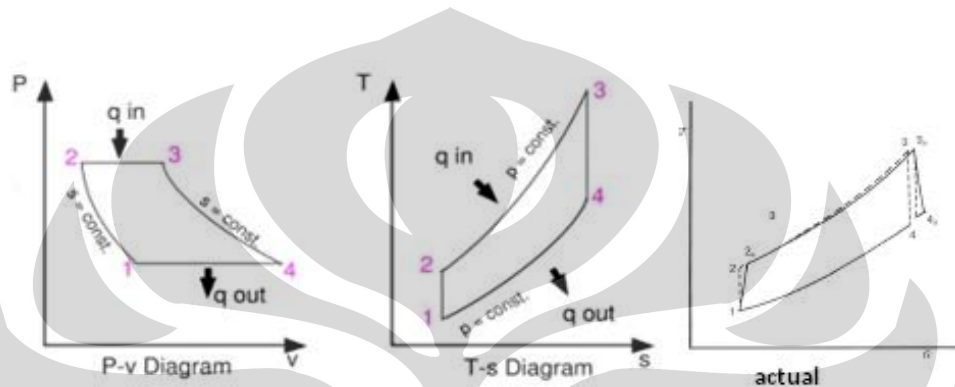
##### 2.1.1 Tipe Berdasarkan Siklus Turbin Gas

Secara termodinamik, proses turbin gas disebut juga dengan siklus turbin gas sederhana yang biasanya dikenal dengan siklus Brayton. Siklus turbin gas sederhana ini pertama kali diajukan oleh seorang insinyur dari universitas Boston, George Brayton, pada akhir abad 19[3]. Siklus Brayton ini terdiri dari tiga proses dasar, yaitu proses kompresi fluida yang dilanjutkan dengan penambahan kalor/panas(pembakaran) pada tekanan tetap kemudian berekspansi.



**Gambar 2.1** Turbin gas siklus terbuka sederhana

Gambar 2.1 merupakan turbin gas dengan siklus brayton sederhana yang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu kompresor yang menghisap udara bebas untuk dikompresi sehingga menghasilkan udara bertekanan, kemudian komponen ruang bakar yang berfungsi untuk penambahan energi panas dengan tekanan tetap. Udara panas hasil pembakaran ini akan berekspansi untuk menggerakkan turbin yang terhubung dengan beban seperti generator atau kompresor.



**Gambar 2.2** Siklus Bryton ideal dan aktual

Dari gambar diatas dapat dilihat diagram klasik PV (*Pressure Volume*) dan TS (*Themperature-entrophy*) dari siklus Brayton ideal. Diagram ini menunjukkan proses yang terjadi pada gambar . Penjelasan adalah sebagai berikut[3]:

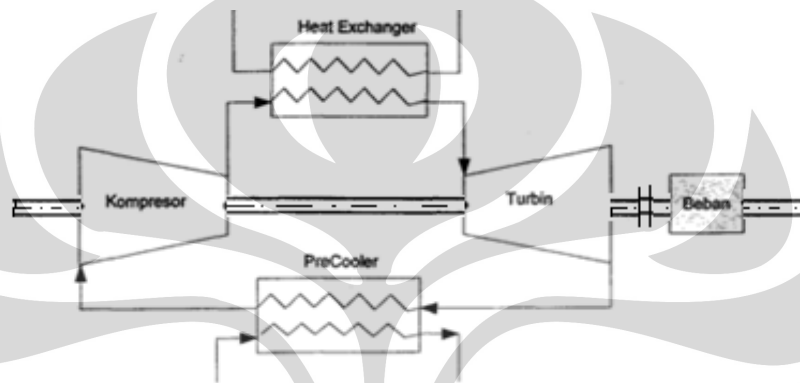
- 1-2 Menunjukkan proses kompresi yang terjadi pada kompresor
- 2-3 Menunjukkan penambahan kalor pada tekanan tetap saat terjadi proses pembakaran.
- 3-4 Menunjukkan udara dan gas panas yang berekspansi
- 4-1 Menunjukkan proses pendinginan pada tekanan tetap

Daya ataupun energi yang dihasilkan oleh turbin gas dapat digunakan dalam berbagai macam bentuk. Hal ini dikarenakan, mesin yang menggunakan siklus Brayton ini dapat diadaptasikan menjadi berbagai macam aplikasi yang telah dikembangkan. Tentunya siklus Brayton yang digunakanpun dapat divariasikan dan disesuaikan dengan perkembangan yang telah dilakukan.[1]



### 2.1.1.1 Turbin Gas Siklus Brayton Tertutup Sederhana

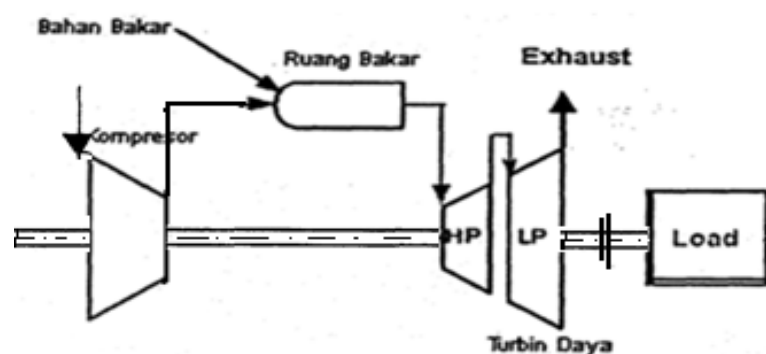
Turbin gas dengan siklus tertutup ini menggunakan fluida kerja yang mengalir pada aliran tertutup dan mengalami penambahan dan pelepasan kalor. Proses kompresi dan ekspansi yang dilakukan sama dengan proses pada siklus terbuka, sedangkan untuk proses pembakaran diganti dengan proses penambahan kalor menggunakan alat seperti heat exchanger. Setelah udara dikompresikan kemudian dipanaska oleh heat exchanger. Udara panas ini kemudian menggerakkan turbin. Udara ini lalu didinginkan dan dialirkan kembali ke kompresor.



Gambar 2.3 Siklus tertutup sederhana

### 2.1.1.2 Turbin Gas Siklus Brayton Terbuka Sederhana

Tipe turbin gas yang sering dipakai sekarang ini adalah siklus terbuka sederhana. Karakteristiknya adalah mengambil udara lingkungan ke kompresor sebagai substansi kerja yang setelah dikompresikan diteruskan keruang bakar. Diruang bakar, temperatur dinaikan ketingkat tertentu sesuai dengan banyak bahan bakar yang dibakar, kemudian diekspansikan ke atmosfer dengan melewati turbin.[5]



**Gambar 2.4** Turbin gas siklus terbuka sederhana

Pada industri minyak dan gas, turbin gas yang digunakan adalah turbin gas siklus terbuka. Pada bagian turbin dayanya dihubungkan ke kompresor untuk menginjeksikan atau menyedot gas alam. Pada umumnya turbin set ini dibagi menjadi dua bagian utama yaitu, bagian pembangkit gas (*gas generator*) dan bagian turbin daya (*Power turbin*), bagian pembangkit gas terdiri dari kompresor, ruang bakar dan turbin tekanan tinggi (*gas generator turbin*). Sedangkan bagian turbin daya terdiri dari turbin tekanan rendah.

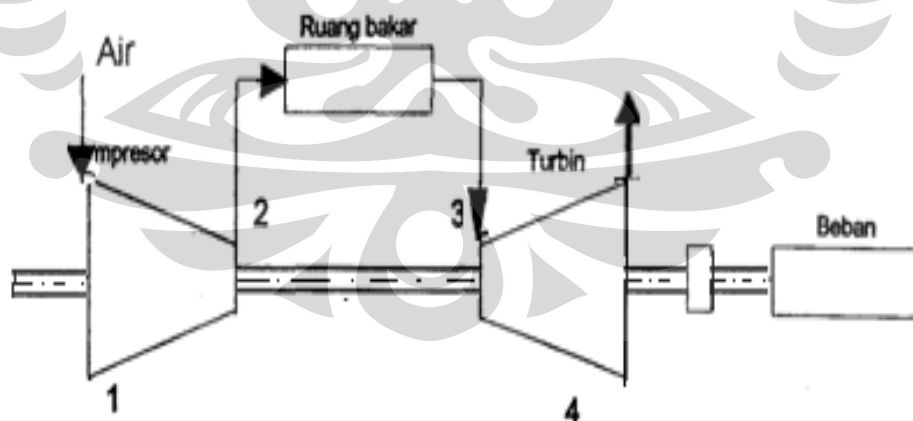
### 2.1.2 Tipe Berdasarkan Poros Turbin Gas

Berdasarkan konfigurasi poros mekaniknya, turbin gas terdiri atas :

1. Sistem turbin gas dengan poros tunggal
2. Sistem turbin gas dengan dua poros
3. Sistem turbin gas dengan poros gabungan

#### 2.1.2.1 Turbin gas dengan poros tunggal

Turbin gas dengan sistem ini menggunakan satu poros yang menghubungkan kompresor, turbin dan beban.



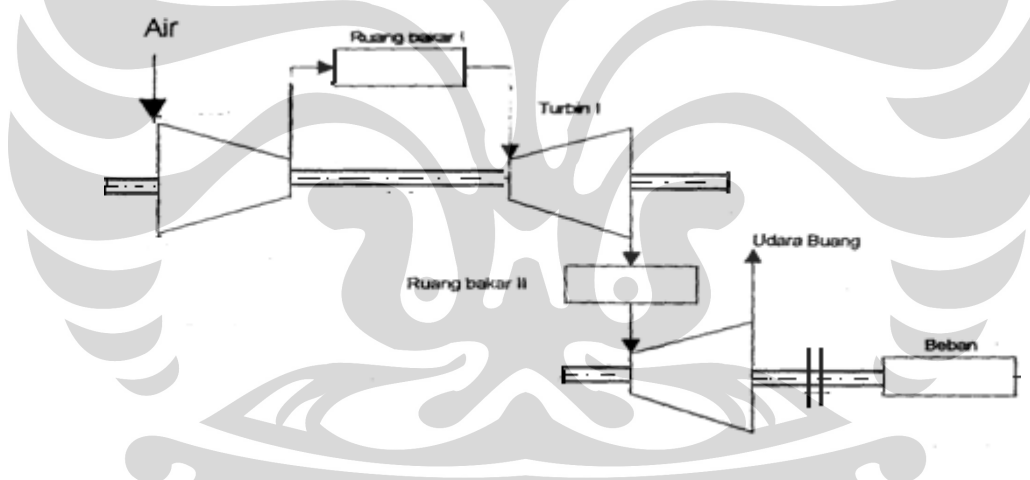
**Gambar 2.5** Turbin gas poros tunggal

#### 2.1.2.2 Turbin Gas dengan Dua Poros

Sistem turbin gas dengan dua poros ini mempunyai dua unit turbin gas set yang terpisah, yaitu turbin gas penggerak kompresor (*gas generator turbin*)

dan turbin gas yang menghasilkan daya (*power turbin*) dan mengerakan beban. Jadi, poros pertama menghubungkan gas produser turbin dengan kompresor sedangkan poros yang satunya lagi menghubungkan turbin daya dengan beban. Sistem inipun mempunyai beberapa tipe, sebagai berikut :

- a. Turbin gas dua poros dengan ruang bakar tunggal, merupakan sistem turbin yang sering digunakan oleh turbin gas sekarang ini. Hanya menggunakan satu buah ruang bakar yang menghasilkan gas panas yang dialirkan ke gas generator turbin lalu ke turbin daya.
- b. Turbin gas dua poros dengan ruang bakar seri, menggunakan dua buah ruang bakar. Ruang bakar pertama mengalirkan gas panas ke gas generator. Sedangkan ruang bakar kedua, memberi energi panas dari gas yang dikeluarkan gas generator turbin yang kemudian dialirkan ke turbin daya.

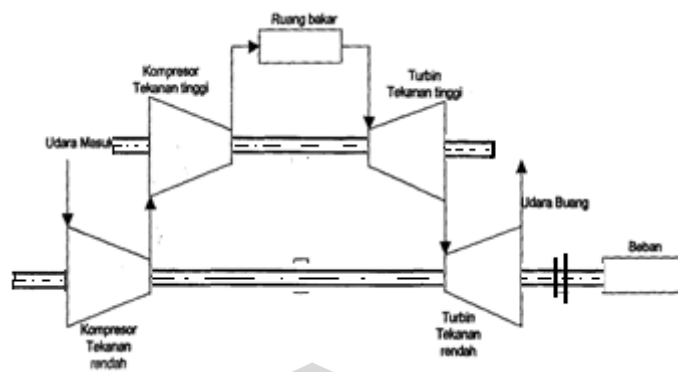


**Gambar 2.6** Turbin gas dua poros dengan ruang bakar seri

- c. Turbin gas dua poros ruang bakar paralel, juga menggunakan dua ruang bakar. Kedua ruang bakar ini mendapatkan suplai udara bertekanan dari kompresor, akan tetapi ruang bakar pertama mengalirkan gas panas ke gas generator turbin dan ruang bakar kedua mengalirkan gas panas ke turbin daya.

### 2.1.2.3 Turbin Gas dengan Poros Gabungan

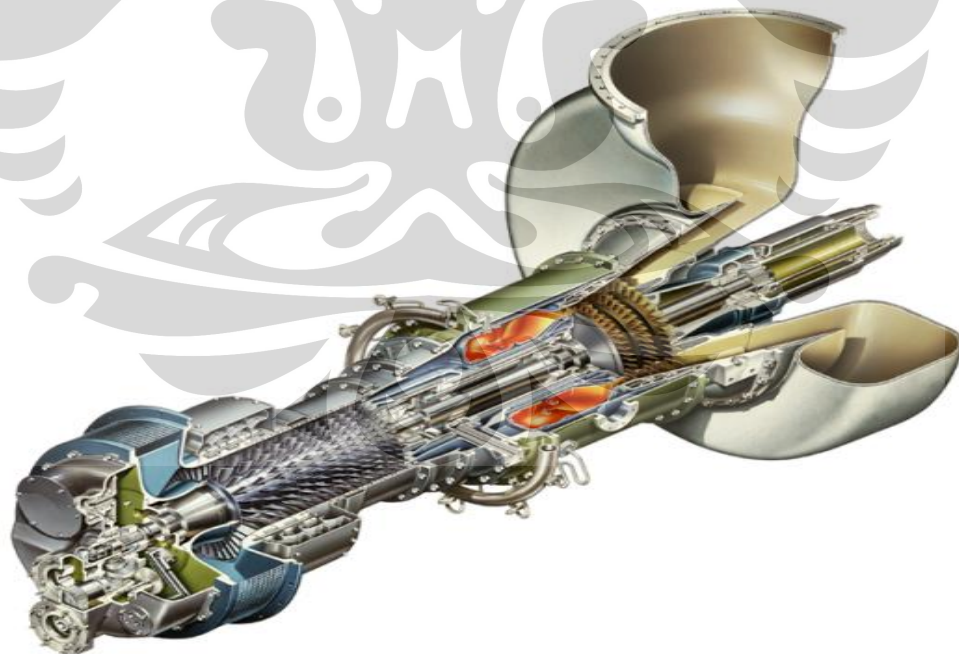
Sistem ini merupakan gabungan antar kompresor tekanan rendah dan tekanan tinggi, serta turbin tekanan rendah dan tekanan tinggi.



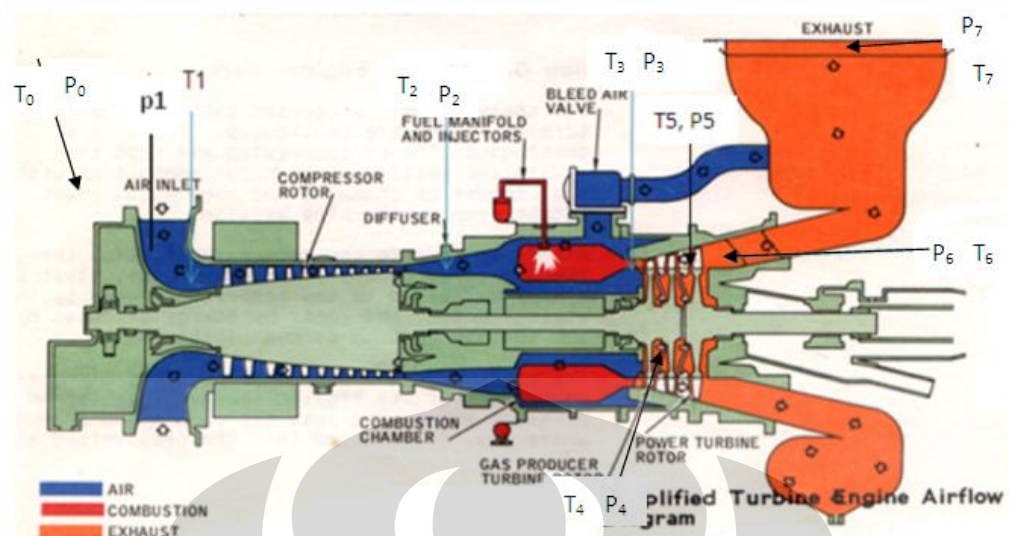
**Gambar 2.7** Turbin gas poros gabungan

## 2.2 Komponen-komponen Turbin Gas Centour T-4702

Turbin gas yang digunakan oleh Pertamina PHE ONWJ ltd adalah jenis turbin gas berporos split, yaitu 2 blade *gas production*(GP) dan 1 blade *power turbin*(PT), Turbin gas biasanya digunakan untuk menggerakkan kompresor sentrifugal. Jenis turbin gas yang digunakan dipertamina PHE adalah Turbin Gas T-4702.[1]



**Gambar 2.8** Turbin Gas Centour T-4702



**Gambar 2.9** Potongan Turbin gas T-4702

Keterangan :

$T_0$  dan  $P_0$  = Temperatur dan Tekanan Ambient

$T_1$  dan  $P_1$  = Temperatur dan tekanan inlet pada saat masuk kompresor aksial

$T_2$  dan  $P_2$  = Temperatur dan tekanan(PCD) pada saat keluar dari kompresor aksial atau yang akan masuk ke combustion chamber

$T_3$  dan  $P_3$  = Temperatur dan tekanan gas hasil pembakaran pada saat keluar dari Combustion chamber

$T_4$  dan  $P_4$  = Temperatur dan tekanan gas diantara 2 blade *Gas production (GP)*

$T_5$  dan  $P_5$  = Temperatur dan tekanan gas pada saat masuk ke *Power Turbin (PT)*

$T_6$  dan  $P_6$  = Temperatur dan tekanan gas pada saat keluar dari *Power Turbin (PT)*

$T_7$  dan  $P_7$  = Temperatur dan tekanan gas pada saat keluar exhaust kembali ke udara luar(lingkungan).

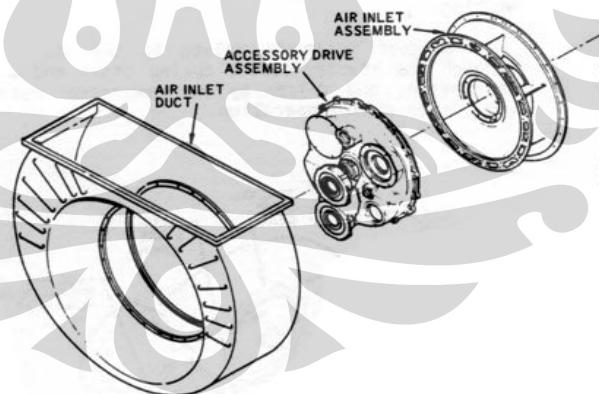
### 2.2.1 Komponen Utama

Komponen utama merupakan kompoen terpenting yang ada pada turbin gas, komponen ini terdiri dari *Air inlet section*, *compressor section*, *combuster section* dan *exhaust section*. Keempat komponen ini memiliki fungsi masing-masing yang menjalankan kerja turbin gas dengan baik.[1]

### 2.2.1.1 Air Inlet Section

Air Inlet section berfungsi untuk menyaring kotoran dan debu yang terbawa dalam udara sebelum masuk ke kompresor. Bagian ini terdiri dari:

1. *Air Inlet Housing*, merupakan tempat udara masuk dimana didalamnya terdapat peralatan pembersih udara.
2. *Inertia Separator*, berfungsi untuk membersihkan debu-debu atau partikel yang terbawa bersama udara masuk.
3. *Main Filter*, merupakan penyaring utama yang terdapat pada bagian dalam inlet house, udara yang telah melewati penyaring ini masuk ke dalam kompresor aksial.
4. *Air intake Duct/Plenum*, berfungsi untuk membagi udara agar merata pada saat memasuki ruang kompresor.



**Gambar 2.10** Air Inlet Section

### 2.2.1.2 Compressor Section

Kompresor merupakan salah satu bagian yang sangat penting dalam sistem turbin gas, pada bagian ini adalah aksial flow kompresor yang berfungsi untuk mengkompresikan udara dari air inlet suction hingga bertekanan tinggi sehingga

pada saat terjadi pembakaran dapat menghasilkan gas panas berkecepatan tinggi yang dapat menimbulkan daya output turbin yang besar.[1]

Aksial flow compesor terdiri dari empat bagian yaitu

1. *Variable Guide Vane Assembly*

*Variable vane assembly* terdiri atas 3 bagian, yaitu yang paling pertama disebut *Inlet Guide Vane*. Fungsi dari IGV yaitu untuk mengatur volume udara yang akan masuk ke kompresor, disesuaikan dengan kebutuhan. Untuk 2 bagian lainnya yaitu merupakan *variable stator*.

2. *Compressor Rotor Assembly*

Merupakan bagian dari kompresor aksial yang berputar pada porosnya. Rotor ini memiliki 11 tingkat sudu yang mengkompresikan aliran udara secara aksial dari 1 atm menjadi 9 kalinya sehingga diperoleh udara yang bertekanan tinggi. bagian ini tersusun dari *wheels, stubshaft, tie bolt* dan sudu-sudu yang tersusun konsentris disekeliling sumbu rotor. Sudu rotor menaikkan kecepatan tangensial atau momentum aliran udara, yaitu mengubah temperatur atau tekanan aliran udara. Secara fisik, sudu rotor menaikkan kecepatan tangensial atau momentum aliran udara, yaitu mengubah energi kinetik udara. Jadi, sudu rotor kompresor memberikan energi pada aliran udara dengan menaikkan momentum angular (torsi) dari udara.[1]

3. *Compressor Stator*

Untuk *compressor stator* pada centaur T-4702 tidak menempel pada casing. berfungsi untuk mengarahkan atau mengurangi kecepatan aliran udara. Dengan mengurangi kecepatan tangensial dari aliran udara, momentum angular dikonversikan menjadi tekanan. Hal ini berarti energi kinetik aliran diubah menjadi energi potensial.

4. *Diffuser Assembly*

Bagian ini terbuat dari baja yang dilas dalam proses pembuatannya. *Diffuser assembly* mendukung kerja dari GP turbin. *Diffuser assembly* berada pada belakang casing assembly dan didepan *combustion case*. Fungsi utama dari bagian ini adalah mengkonversi kecepatan menjadi tekanan, sehingga kecepatan udara yang akan masuk ke *combustion section* tidak terlalu besar.

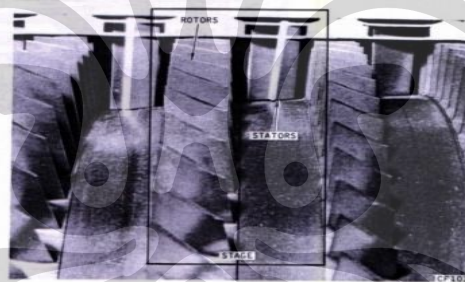
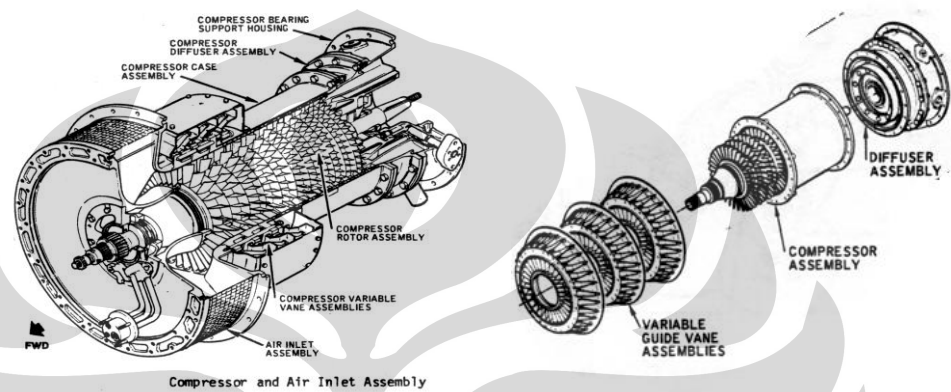


Figure 2.0-12. Compressor Components

**Gambar 2.11** *Compressor Section*

Sebagian besar gas turbin modern menggunakan kompresor aksial, akan tetapi pada desain turbin gas yang berukuran lebih kecil digunakan kompresor sentrifugal. Kompresor aksial dapat dikenali dengan barisan *airfoil*, yaitu sudu sedangkan kompresor sentrifugal seperti roda mempunyai masukan aksial dan keluaran radial. Pada setiap tingkatan, kompresor sentrifugal dapat menciptakan head yang lebih dibandingkan kompresor aksial. Sedangkan kompresor aksial mempunyai saluran aliran udara yang lebih besar dibandingkan kompresor



sentrifugal sehingga dapat mengkompresi udara lebih banyak. Untuk alasan yang sama, kompresor aksial menghasilkan kerugian gesekan lebih kecil dibandingkan kompresor sentrifugal.

Oleh karena perbedaan tersebut, kedua kompresor tersebut mempunyai aplikasi yang berbeda. Kompresor sentrifugal sering digunakan pada aplikasi aliran rendah dan rasio tekanan yang tinggi., seperti pada pipa gas, servis sumur minyak dan gas. Proses kimia, dan refrigasi gas. Untuk kompresor aksial digunakan pada aplikasi aliran tinggi dan rasio tekanan tingkat yang rendah dan yang membutuhkan efisiensi yang tinggi, seperti pada turbin gas industri.[9]

Perumusan termodinamika mengenai kerja kompresor dapat dilihat dari rumus-rumus yang akan diterangkan dibawah, semua penomoran dari setiap variable yang digunakan sesuai dengan yang terdapat di gambar[2] .Tekanan masuk adalah  $P_0=P_1$ , yang dalam kondisi akan melewati saluran masuk sehingga mengalami pengurangan tekanan ( *Pressure loss*). Akan tetapi, sering diabaikan, begitu juga dengan perhitungan data operasi pada bab IV, sehingga  $P_0=P_1$ , Udara melewati kompresi dan mengalami kenaikan tekanan sehingga keluar dengan tekanan yang tinggi,  $P_2$ . Maka, rasio tekanan ( $Pr$ ) pada kompresor adalah :

$$Pr = P_2/P_0$$

Untuk proses isentropic berlaku :

$$\frac{T_{20}}{T_2} = \left[ \frac{P_2}{P_0} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$T_{2i}$  = Temperatur Isentropik keluar kompresor

$T_1$  = Temperatur masuk kompresor (K)

$P_2$  = Tekanan Keluar kompresor( bar)

$P_1$  = Tekanan masuk kompresor (bar)

$\gamma$  = Rasio kalor spesifik, untuk udara aktual adalah 1,44

Pada hubungan isentropik menunjukkan fungsi dari rasio tekanan dan temperatur. Pada konteks ini diberlakukan pada keadaan proses termodinamika ideal, maka efisiensi kompresor adalah

$$\eta_c = \frac{\text{Ideal(isentropik)head}}{\text{actualhead}} = \frac{h_{2i} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{T_{2i} - T_1}{T_2 - T_1}$$

$$T_2 - T_1 = (T_{2i} - T_1) \frac{1}{\eta_c}$$

$$\Delta T_{21} = \frac{T_1}{\eta_c} \times \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]$$

Kerja yang dilakukan kompresor:

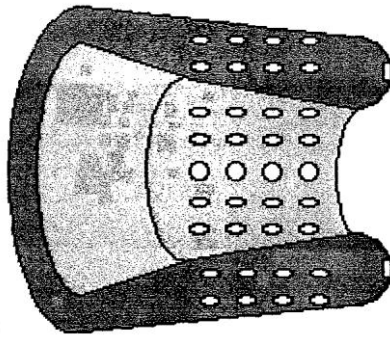
$$W_k = m_a \times c_{pa} \times (T_2 - T_1) = m_a \times c_{pa} \times \frac{T_1}{\eta_c} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]$$

$W_k$  = Kerja Kompresor (kW)

$m_a$  = aliran massa udara (kg/s)

### 2.2.1.3 Combustion Section

Pada bagian ini terjadi proses pembakaran antara bahan bakar dengan fluida kerja yang berupa udara bertekanan tinggi dan bersuhu tinggi. Fungsi ruang bakar adalah untuk menambahkan energi panas ke aliran udara, sehingga menaikkan temperatur aliran udara melewati ruang bakar. Ruang bakar yang sering digunakan adalah ruang bakar tipe annular, selain tipe ini ada juga ruang bakar tubular, dan turbo-annular yang merupakan kombinasi antara tubular dan annular.[8] Dibawah ini merupakan gambar dari ruang bakar tipe annular.



**Gambar 2.12** Ruang Bakar tipe annular

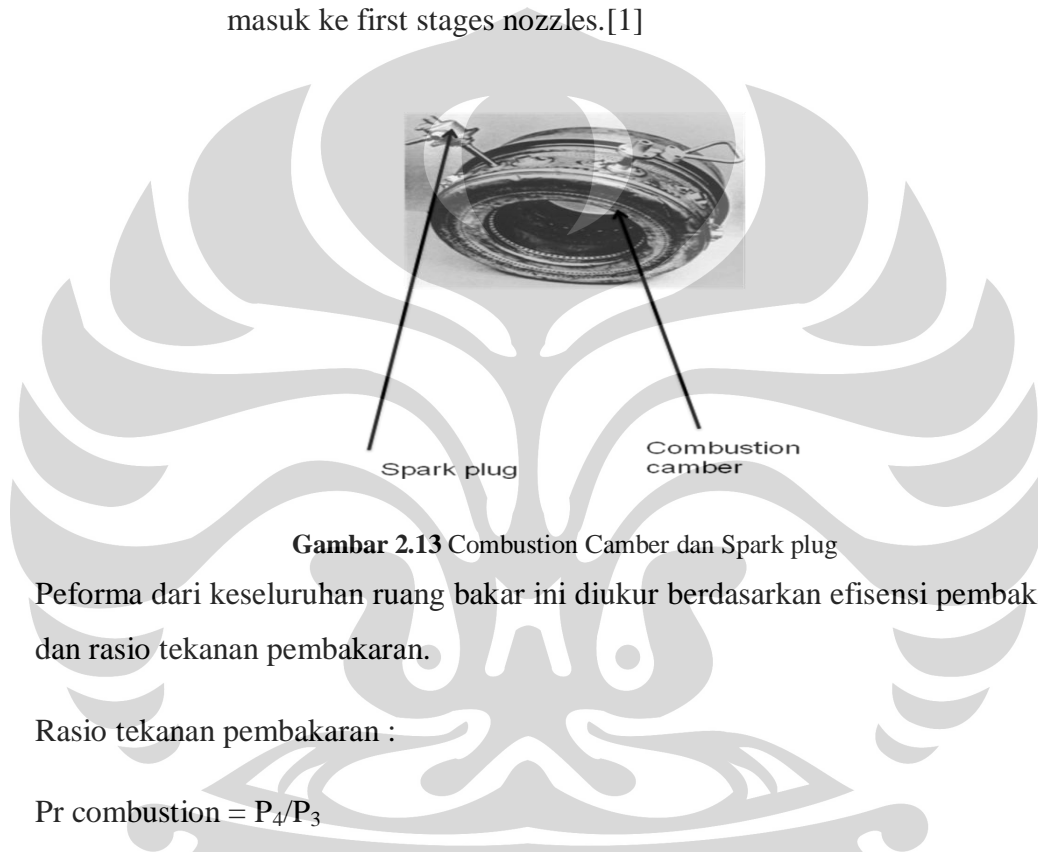
Ruang bakar tipe annular ini sering digunakan pada turbin gas kecil karena ruang bakar ini mengelilingi poros rotor sehingga lebih cocok untuk kompresor aksial yang digunakan pada turbin gas. Selain itu, ruang bakar ini menggunakan ruang antar kompresor dan turbin sehingga seharusnya sistem annular ini memiliki tekanan hilang *pressure loss* yang lebih rendah dan membuat mesin berdiameter minimum.[8]

Fungsi dari keseluruhan sistem adalah untuk mensuplai energi panas ke siklus turbin. Sistem pembakaran ini terdiri dari komponen-komponen berikut yang jumlahnya bervariasi tergantung besar frame dan penggunaan turbin gas. komponen-komponen itu adalah :

- a. *Combustion Chamber*, berfungsi sebagai tempat terjadinya pencampuran antara udara yang telah dikompresi dengan bahan bakar yang masuk.
- b. *Fuel Injector*, berfungsi sebagai tempat masuknya bahan bakar ke dalam combustion liner.
- c. *Fuel Manifold*, berfungsi untuk mensuplai fuel yang akan disalurkan melalui fuel injector.
- d. *Ignitors (Spark Plug)*, berfungsi untuk memercikkan bunga api ke dalam combustion chamber sehingga campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar.

Zona pembakaran pada *combustion chamber* ada tiga yaitu:

- a. *Primary Zone*, merupakan tempat dimana bahan bakar berdifusi dengan udara kompresor untuk membentuk campuran udara bahan bakar yang siap dibakar.
- b. *Secondary Zone*, adalah zona penyempurnaan pembakaran sebagai kelanjutan pembakaran pada primary zone
- c. *Dilution Zone*, merupakan zona untuk mereduksi temperatur gas hasil pembakaran pada keadaan gas yang diinginkan pada saat masuk ke first stages nozzles.[1]



**Gambar 2.13** Combustion Chamber dan Spark plug

Performa dari keseluruhan ruang bakar ini diukur berdasarkan efisiensi pembakaran dan rasio tekanan pembakaran.

Rasio tekanan pembakaran :

$$Pr \text{ combustion} = P_4/P_3$$

Kalkulasi rasio ini berdasarkan perbandingan tekanan keluar (exhaust) dengan tekanan masuk (inlet), rasio ini mengindikasikan adanya tekanan yang hilang selama aliran mengalir di dalam ruang bakar. Idealnya rasio ini seharusnya sama, tidak ada tekanan hilang, akan tetapi untuk mencapai pembakaran sempurna, maka dibutuhkan ekspansi, pencampuran dan resikulasi aliran yang menciptakan tekanan hilang yang cukup signifikan.

Tekanan hilang yang terjadi (*pressure Loss*)

$$\Delta P = \frac{P_3 - P_4}{P_3} \times 100\%$$

Efisiensi Pembakaran

$$\eta_b = \frac{\text{Energikeluar}}{\text{Energibahanbakar}} = \frac{m_{\text{air}} \cdot c_p \cdot (T_4 - T_3)}{m_{\text{fuel}} \cdot q_b}$$

Efisiensi pembakaran menunjukkan kemampuan ruang bakar untuk mengubah energi kimia bahan bakar menjadi panas.

Energi pembakaran yang dihasilkan adalah:

$$E_{\text{pemb}} = m_f \cdot \eta_b \cdot LHV$$

Atau

$$E_{\text{pemb}} = (m_a + m_f) \cdot c_{pg} \cdot (T_3 - T_2)$$

Pada ruang bakar mi tentunya terjadi pencampuran udara dan bahan bakar. Perbandingan massa keduanya disebut juga *fuel-air ratio* (F).

$$F = \frac{m_f}{m_a}$$

$$F = \frac{h_4 - h_3}{LHV \eta_a - (h_4 - h_3)}$$

LHV = Lower heating value dan bahan bakar (kJ/kg.K)

$m_a$  = aliran massa udara (kg/s)

$m_f$  = aliran massa bahan bakar (kg/s)

#### 2.2.1.4 Turbin Section

Turbin section merupakan tempat terjadinya konversi energi kinetik menjadi energi mekanik yang digunakan sebagai penggerak kompresor sentrifugal dan perlengkapan lainnya. Dari daya total yang dihasilkan, kira-kira 60 % digunakan untuk memutar kompresornya sendiri, dan sisanya digunakan untuk kerja.

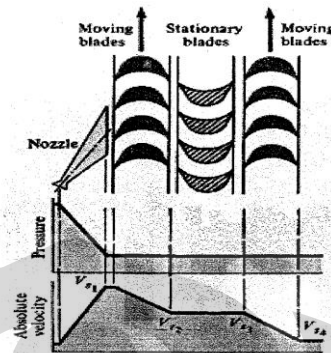
Komponen-komponen pada turbin section adalah sebagai berikut :

- a. *Turbin Rotor Case*
- b. *First Stage Nozzle*, yang berfungsi untuk mengkonversikan tekanan menjadi kecepatan gas panas yang akan masuk ke first stage GP Turbine.
- c. *First Stage GP Turbine*, berfungsi untuk mengkonversikan energi kinetik dari aliran udara yang berkecepatan tinggi menjadi energi mekanik berupa putaran rotor.
- d. *Second Stage Nozzle*, yang berfungsi untuk mengkonversikan tekanan menjadi kecepatan gas panas yang akan masuk ke second stage GP Turbine.
- e. *Second GP Turbine*, berfungsi untuk memanfaatkan energi kinetik yang masih cukup besar dari first stage GP Turbine untuk menghasilkan kecepatan putar rotor yang lebih besar.
- f. *3<sup>rd</sup> Nozzle* yang berfungsi untuk mengkonversikan tekanan menjadi kecepatan gas panas yang akan masuk ke PT Turbine.
- g. *PT Turbine*, berfungsi untuk memanfaatkan energi kinetik untuk dikonversi menjadi energi mekanik berupa putaran rotor yang nantinya akan digunakan untuk memutar kompresor sentrifugal.

Sistem turbin gas ini terdiri dari turbin produksi gas (*gas generator turbine* GP) dan turbin daya (*power turbine* PT). Turbin yang digunakan oleh hampir seluruh turbin gas adalah turbin aksial. Terdiri dari rotor dan stator yang mempunyai 1-3 tingkat. Walaupun mempunyai nama yang sama, turbin aksial mempunyai fungsi yang sangat berbeda dengan kompresor aksial. Turbin aksial, mengubah seluruh energi kinetik menjadi energi mekanik, menyerap seluruh energi aliran dan mengkonversikannya menjadi putaran poros dan torsi[4]. Ekspansi yang terjadi mengakibatkan tekanan, temperatur, dan densitas menurun.

Aliran udara panas hasil pembakaran mengalir melewati *inlet guide vane*, mengalami ekspansi dan secara tangensial mengarahkan aliran sehingga tekanan dan temperatur tinggi diubah menjadi kecepatan aliran tangensial. Gas yang berekspansi ini keluar dari stator mengenai sudu turbin sehingga menggerakkannya. Pada rotor, aliran udara, lebih lanjut diekspansikan dan diarahkan kembali secara tangensial. Percepatan aliran udara yang melewati

lalu sudu menambah reaksi percepatan tangensial pada sudu turbin. Proses ini terus berulang sampai melewati beberapa tingkatan stator dan rotor.



Gambar 2.14 Sudu stator dan rotor turbin aksial

### 1. Turbin 1 (*Gas Generator Turbine*)

Setelah mengalami peningkatan temperatur, tekanan masuk turbin berekspansi sehingga turun pada nilai tekanan tertentu, rasio ekspansi tersebut adalah:

$$P_{r\ Tgp} = \frac{P_5}{P_3}$$

$$\frac{T_3}{T_{5i}} = \left[ \frac{P_3}{P_5} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Efisiensi isentropik *gas producer/generator turbine* adalah:

$$\eta_{tgp} = \frac{h_3 - h_5}{h_3 - h_{5i}} = \frac{T_3 - T_5}{T_3 - T_{5i}}$$

Maka :

$$\Delta T_{35} = T_3 \cdot \eta_{t,x} \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{P_3}{P_5} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \right]$$

$T_5$  = Temperatur isentropik keluar turbin (K)

$\gamma$  = rasio kalor spesifik, untuk gas = 1,33

Kerja output teoritis yang dilakukan turbin ( $W_{tgp}$ ) adalah:

$$W_k = (m_a + m_f) c_{pg} x (T_3 - T_5) = m_{ex} x c_{pg} x T_3 x \eta_{t,x} \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{P_3}{P_5} \right)^\gamma} \right]$$

$m_{ex}$  = aliran massa keluar (gabungan antara mssa udara dan bahan bakar) (kg/s)

## 2. Power Turbin(PT)

$$P_{rPt} = \frac{P_5}{P_6}$$

Rasio Ekspansi :

Untuk proses isentropik berlaku:

$$\frac{T_5}{T_{6i}} = \left[ \frac{P_5}{P_6} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$T_{5i}$  = temperatur isentropik keluar turbin (K)

Efisiensi isentropik turbin *gas producer*..

$$\eta_{ipt} = \frac{h_5 - h_6}{h_5 - h_{6i}} = \frac{T_5 - T_6}{T_5 - T_{6i}}$$

Maka :

$$\Delta T_{56} = T_5 x \eta_{ipt,x} \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{P_5}{P_6} \right)^\gamma} \right]$$

Kerja output teoritis yang dilakukan turbin ( $W_k$ ) adalah:

$$W_k = (m_a + m_f) c_{pg} x (T_4 - T_5) = m_{ex} x c_{pg} x T_5 x \eta_{ipt,x} \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{P_5}{P_6} \right)^\gamma} \right]$$

kerja output aktual dapat dihitung dan kecepatan putar poros dan torsi yang diberikan:



$$W_a = \frac{2\pi N_{tgp} \tau}{60}$$

$N_{tgp}$  = Kecepatan putar poros (rpm)

$\tau$  = Torsi (Nm)

Efisiensi thermal :

$$\eta_{th} = \frac{W_a}{LHV \cdot m_f} \times 100\%$$

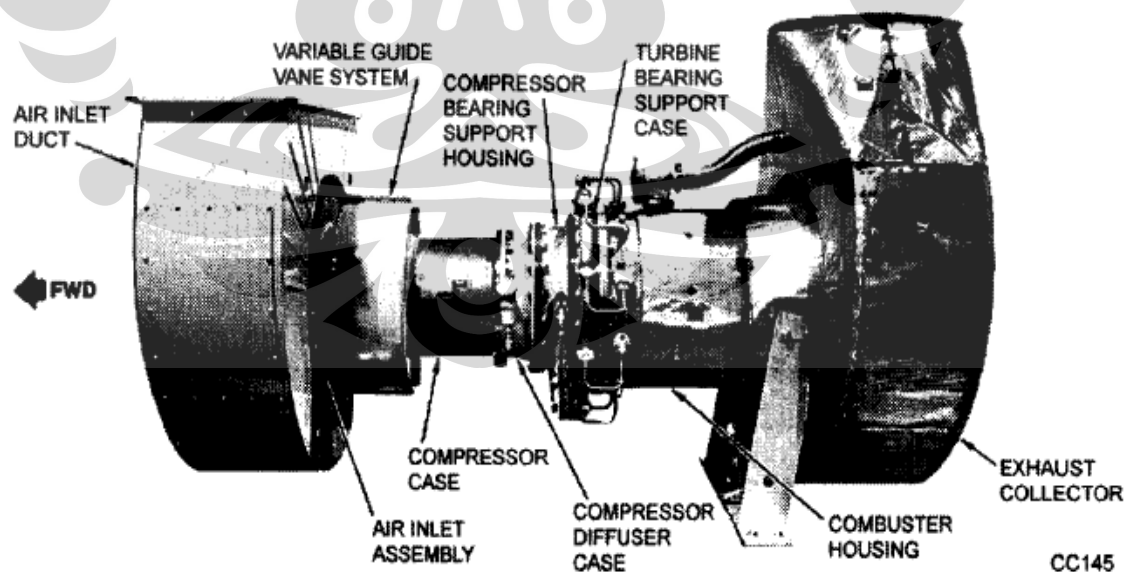
Konsumsi bahan bakar spesifik turbin gas set adalah:

$$SFC = \frac{m_f}{w_t} = \frac{3600 \times F}{w_t} \text{ (kg / kW.hour)}$$

### 2.2.1.5 Exhaust Section

Exhaust section adalah bagian akhir turbin gas yang berfungsi sebagai saluran pembuangan gas panas sisa yang keluar dari turbin gas. Gas keluar dari PT turbin melalui exhaust diffuser pada *exhaust frame assembly*, lalu mengalir ke *exhaust collector* dan kemudian dibuang ke atmosfer.[1]

### 2.2.2 Komponen Mesin External

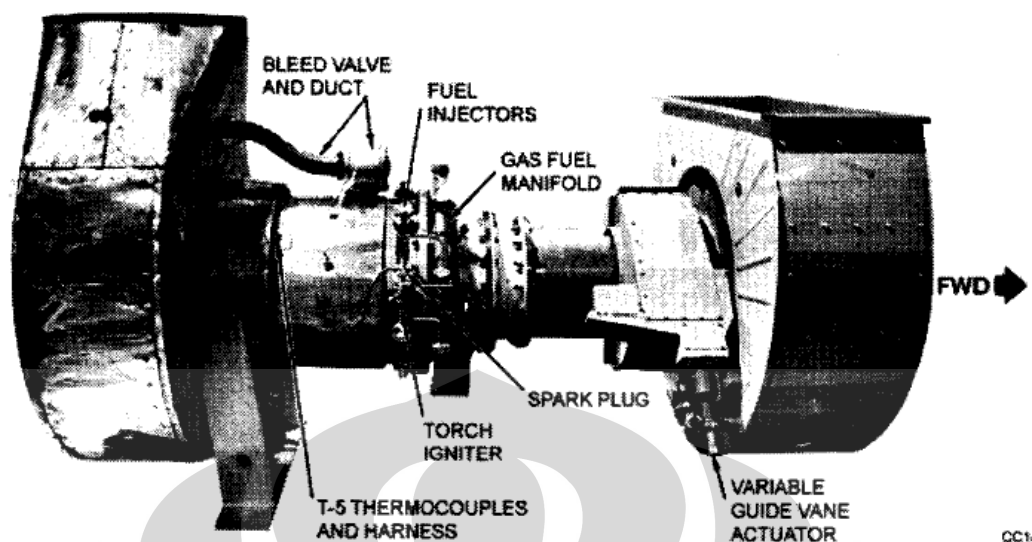


Gambar 2.15 Komponen mesin external

Beberapa komponen eksternal penting dalam turbin gas ini adalah:

- a. *Air inlet duct* yang merupakan komponen yang meneruskan udara ke *air inlet assembly*.
- b. *Air inlet assembly* berfungsi untuk menyaring seluruh udara akan masuk ke mesin dan menyediakan udara untuk *accessory drive assembly*
- c. *Variable guide vane system* komponen berfungsi untuk mencegah terjadinya stall pada saat mesin mengalami akselerasi
- d. *Compressor case* merupakan tempat stator dan rotor berada untuk mengatur udara pada kompresor
- e. *Compressor diffuser case* komponen yang merupakan bagian exit pada saat udara yang keluar dari kompresor aksial ke *combuster chamber* dan berfungsi untuk mengubah energi kinetik menjadi energi yang bertekanan.
- f. *Compressor bearing support housing* merupakan komponen yang mendukung bearing kompresor yang menyediakan lube oil masuk dan keluar mesin dan meneruskan udara ke *combuster chamber*.
- g. *Turbine bearing support case* komponen yang meneruskan aliran dari turbin bearing ke *combuster assembly*
- h. *Combuster housing* merupakan daerah yang dekat dengan *combuster chamber* dan *gas producer assembly* dan *combuster housing* ini merupakan tempat pemasangan termokopel untuk mengukur temperatur di daerah tersebut.
- i. *Exhaust collector* merupakan tempat keluarnya udara hasil pembakaran yang telah melalui turbin ke udara luar (atmosfer)

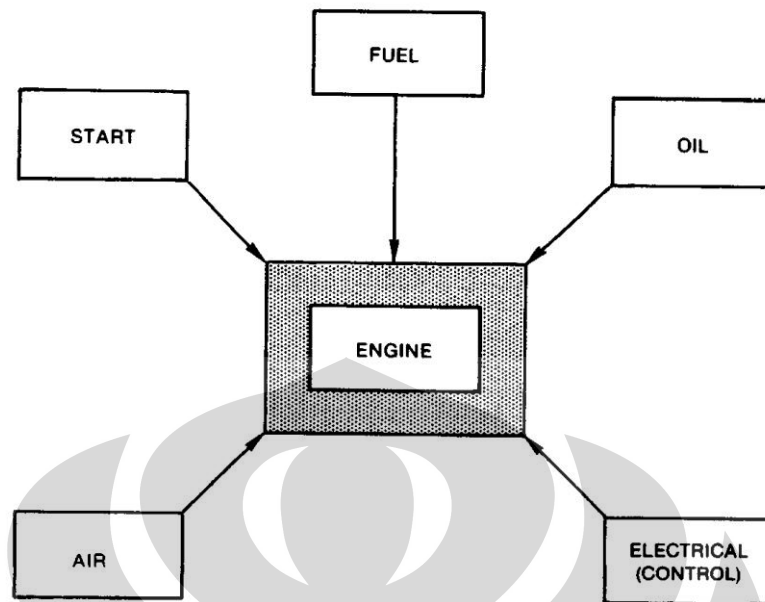
### 2.2.3 Aksesoris Eksternal Turbin Gas



Gambar 2.16 Aksesoris Eksternal

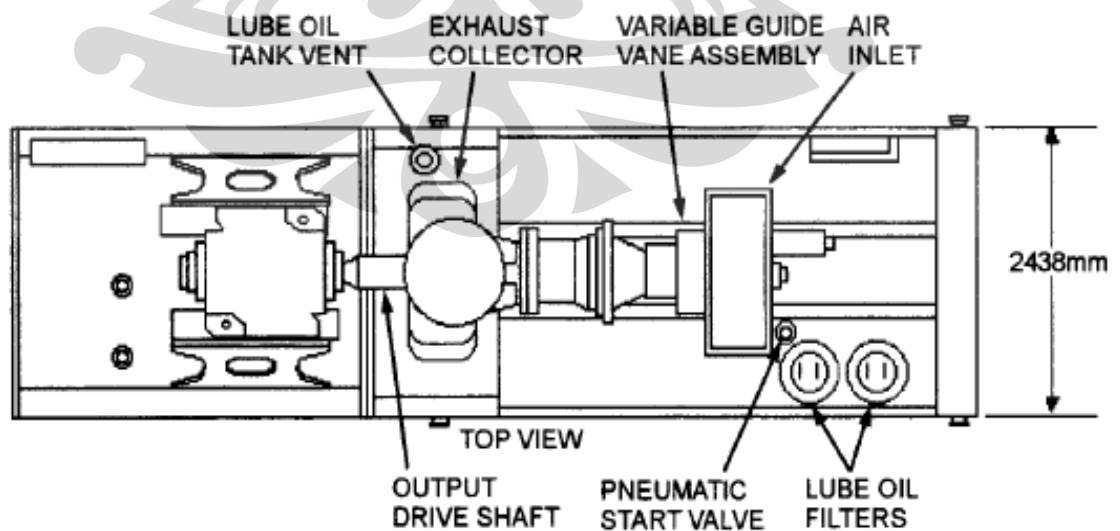
- a. *Variable guide vane actuator* komponen yang menyediakan *power hidrolik* ke *guide vane*
- b. *Gas fuel manifold* mensuplai *gas fuel* ke *fuel injektor*
- c. *Torch igniter* dan *spark plug* memercikan api pada saat mesin sedang starting.
- d. *Fuel injector* menginjeksi *fuel* ke daerah *combuster chamber* untuk proses pembakaran
- e. *Bleed valve dan duct* komponen yang membuang kelebihan udara selama proses starting
- f. *T5 thermocouple* dan *harnes* mengukur temperatur pada stage ke 3 pada nuzzle turbin.

### 2.3 *Engine Support System*

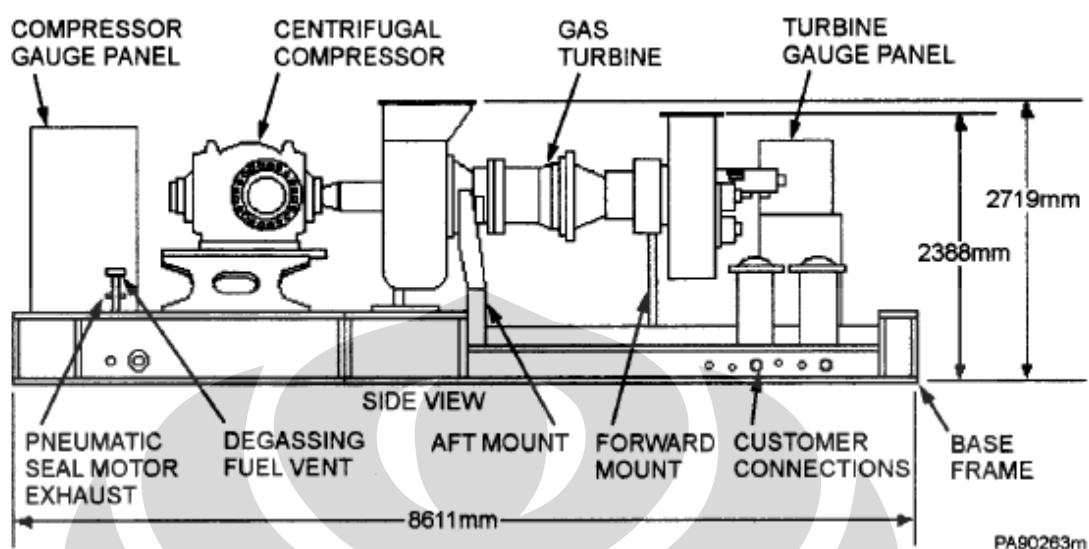


Gambar 2.17 Skema engine support system

*Engine support system* meliputi *fuel system*, *oil system*, *electrical(control) system*, *air system* dan *start system*. Turbin gas ini akan bekerja dengan baik apabila didukung oleh sistem-sistem tersebut sehingga sistem-sistem ini menjadi salah satu perhatian terhadap performa dari kinerja turbin gas ini karena setiap komponen dari masing-masing sistem ini memiliki fungsi yang berbeda untuk mendukung kinerja mesin dengan baik. [1]



**Gambar 2.18** Set Turbin engine tampak atas

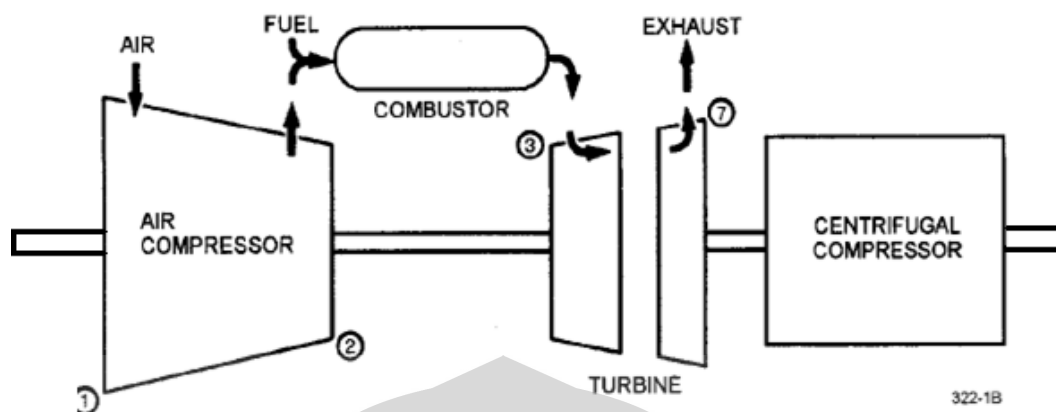


**Gambar 2.19** Set Turbin engine tampak samping

Gambar diatas menunjukkan set tubin gas yang terpasang dengan kompresor sentrifugal dan penempatan engine support maupun sistem-sistem yang diperlukan pada set turbin engine ini. Gambar 2.18 merupakan tampak dari atas dan untuk gambar 2.19 merupakan tampak samping, nama-nama tersebut menunjukkan posisi dari sistem-sistem tersebut.

#### 2.4 Komponen – Komponen Kompresor Set

Dalam industri perminyakan dan gas, turbin gas biasanya digunakan untuk menggerakkan kompresor sentrifugal. Jenis turbin gas dan kompresor yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan dari konsumen. Dalam hal ini, biasanya paket turbin gas dan kompresor sentrifugal ini disebut kompresor set. Kompresor set merupakan suatu paket operasional yang terdiri dari beberapa komponen terkait yang bekerja secara selaras. Kompresor set terdiri dari beberapa komponen utama, antara lain turbin gas, kompresor sentrifugal, poros penghubung antar turbin gas dengan kompresor, sistem pengontrolan dan katup - katup, serta tambahan – tambahan lain untuk mendukung operasional kompresor set. Pada kompresor sentrifugal dan turbin gas terdapat berbagai komponen di dalamnya.[9]



Gambar 2.20 Susuna Turbin gas dan Kompresor set

## 2.5 Kompresor Sentrifugal

Pada penelitian ini, tipe kompresor yang digunakan ialah kompresor sentrifugal. Kompresor sentrifugal adalah peralatan mekanik yang digunakan untuk memberikan energi kepada fluida gas, sehingga gas dapat mengalir dari suatu tempat ke tempat lain. Penambahan energi ini bisa terjadi karena adanya konversi energi mekanik ke dalam energi tekanan. Kompresor sentrifugal termasuk ke dalam kompresor dinamik, dimana kompresor ini memiliki prinsip kerja yaitu mengkonversikan energi kecepatan gas yang dibangkitkan oleh aksi yang dilakukan oleh impeller yang berputar dari energi mekanik unit penggerak menjadi energi tekanan di dalam diffuser. Unit penggerak kompresor sentrifugal kompresor sentrifugal pada penelitian ini adalah turbin gas.[9]

Kompresor sentrifugal ini digerakkan oleh turbin daya yang merupakan salah satu bagian dari turbin gas. Kompresor sentrifugal ini digunakan di bidang perminyakan dan gas, antara lain :

- a. Mengumpulkan gas, kompresor sentrifugal digunakan untuk aplikasi menangani gas alam di sumur pada kepala sumur.
- b. *Boosting*, aplikasi untuk meningkatkan tekanan gas dari kepala sumur.
- c. Penyimpanan atau pengambilan, aplikasi dimana pipa gas diinjeksikan atau ditarik dari fasilitas penyimpanan gas.
- d. Transmisi, aplikasi dengan input dari tambang gas alam dan output ke kota.

- e. Re-injeksi gas, aplikasi yang menginjeksikan gas kembali ke lapangan untuk pemeliharaan tekanan atau konservasi.
- f. *Gas lift*, aplikasi yang menginjeksikan gas ke sumur minyak untuk dicampur dengan minyak tanah agar mempermudah pengambilan dari atas.

### 2.5.1 Karakteristik Kompresor Sentrifugal

Karakteristik kompresor sentrifugal secara umum sebagai berikut :

- a. Memiliki masukan aksial dan keluaran radial
- b. Mampu menciptakan head yang lebih besar dibandingkan kompresor aksial
- c. Aplikasi aliran rendah dan rasio tekanan yang tinggi
- d. Kapasitas tersedia dari kecil sampai besar
- e. Tekanan discharge dipengaruhi oleh density gas
- f. Kerugian gesek lebih besar dibandingkan kompresor jenis aksial

### 2.5.2 Komponen Utama Komponen Sentrifugal

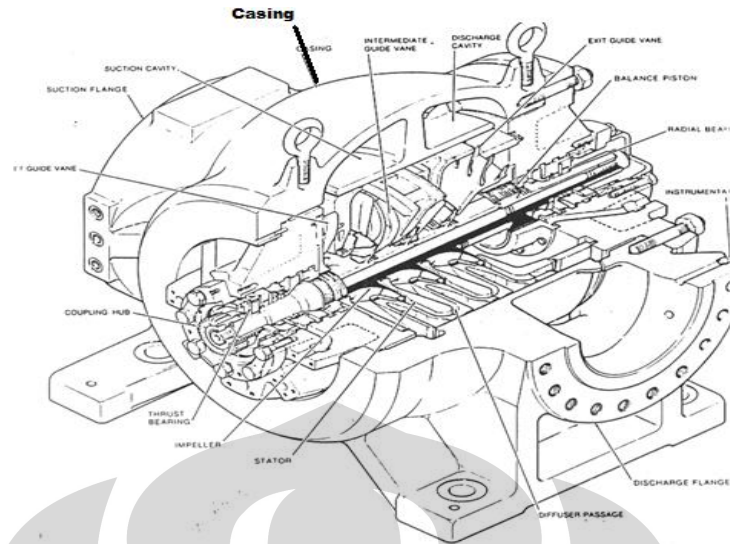
Kompresor sentrifugal terdiri dari beberapa komponen yang dinamis dan statis. Komponen – komponen tersebut terdiri dari beberapa bagian yang fungsinya saling berhubungan. Komponen yang dinamis disebut rotor dan komponen yang statis disebut juga stator. Berikut akan dijelaskan bagian dan fungsi yang terdapat pada komponen statis dan dinamis.

#### 2.5.2.1 Komponen Statis

##### 1. *Casing*

Casing merupakan bagian paling luar kompresor yang berfungsi :

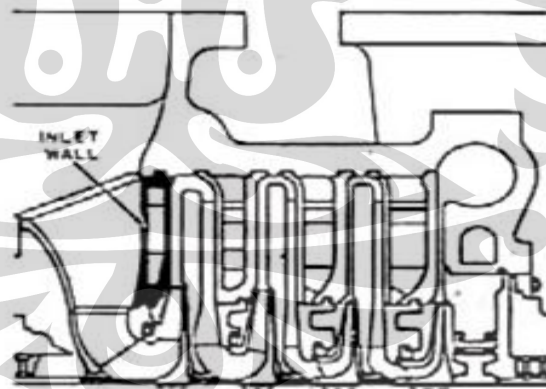
- a. Sebagai pelindung terhadap pengaruh mekanik dari luar.
- b. Sebagai pelindung dan penumpu dari bagian yang bergerak.
- c. Sebagai tempat kedudukan *suction port* dan *discharge port* serta bagian diam lainnya.



**Gambar 2.21** Potongan kompresor sentrifugal

## 2. *Inlet Wall*

*Inlet wall* adalah diafragma atau dinding penyekat yang dipasang pada sisi masukan sebagai *inlet channel* dan berhubungan dengan *inlet port*. Karena berfungsi sebagai saluran gas masuk pada *stage* pertama, maka material *inlet wall* harus tahan terhadap abrasi dan erosi.



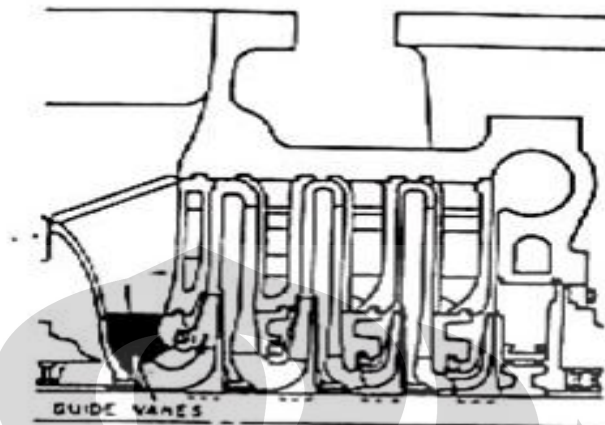
**Gambar 2.22** inlet wall

## 3. *Guide Vane*

*Guide vane* ditempatkan pada bagian depan *eye impeller* pertama pada bagian *inlet channel*. Fungsi utama *guide vane* adalah mengarahkan aliran agar gas dapat masuk impeller dengan distribusi yang merata. Konstruksi vane terbagi



dua, yaitu *fixed* dan *movable* posisi sudutnya dengan tujuan agar operasi kompresor dapat bervariasi dan dicapai efisiensi dan stabilitas yang tinggi.



Gambar 2.23 Guide vane

#### 4. *Eye Seal*

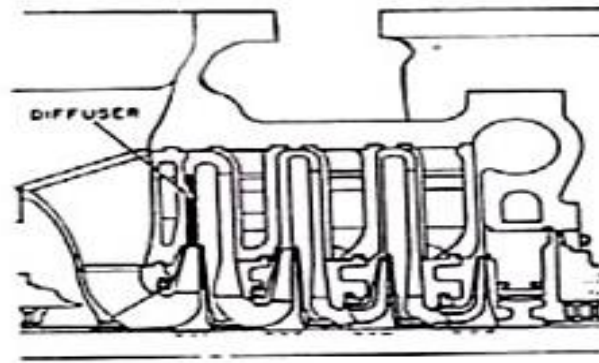
*Eye seal* ditempatkan di sekeliling bagian luar *eye impeller* dan di tumpu oleh *inlet wall*. *Eye seal* selalu berbentuk satu set ring logam yang mengelilingi *wearing ring* impeller. *Eye seal* memiliki fungsi dalam mencegah aliran balik dari gas yang keluar dari *discharge impeller* kembali ke sisi *suction*.



Gambar 2.24 Eye seal

#### 5. *Diffuser*

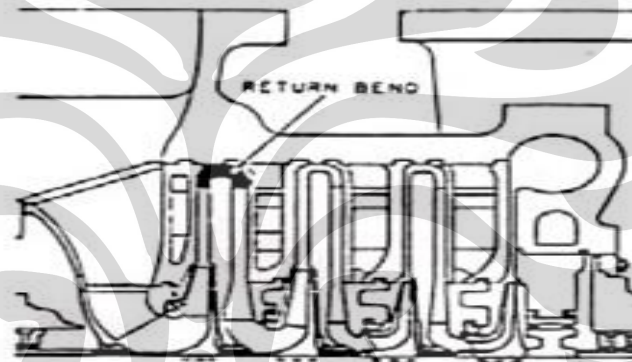
*Diffuser* berfungsi untuk merubah energi kecepatan yang keluar dari *discharge impeller* menjadi energi potensial (dinamis). Untuk multi stage dipasang diantara inter stage impeller.



Gambar 2.25 Diffuser

#### 6. Return Bend

*Return bend* berfungsi membelokkan arah aliran gas dari *diffuser* ke *return channel* untuk masuk pada *stage* berikutnya. *Return bend* dibentuk oleh susunan diafragma yang dipasang dalam casing.

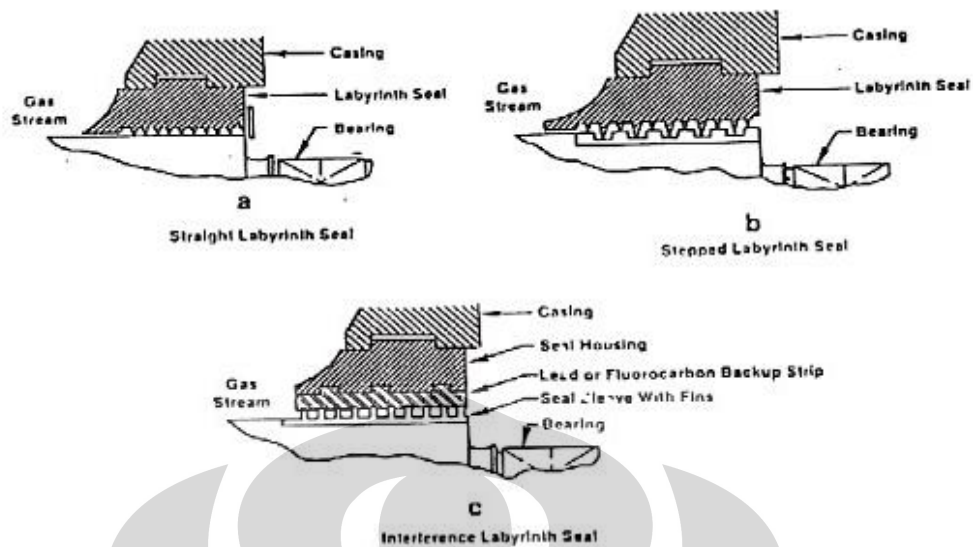


Gambar 2.26 Return bend

#### 7. Labirinth Seal

Labirinth seal digunakan untuk menyekat pada daerah :

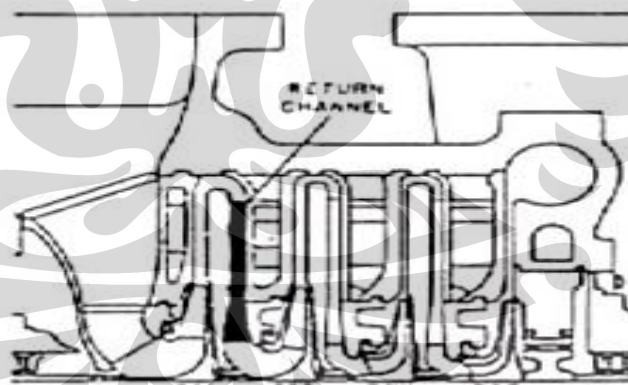
- Shaft dan diafragma sebagai shaft seal.
- Casing dan shaft sebagai casing seal.



Gambar 2.27 Labirinth seal

### 8. Return Channel

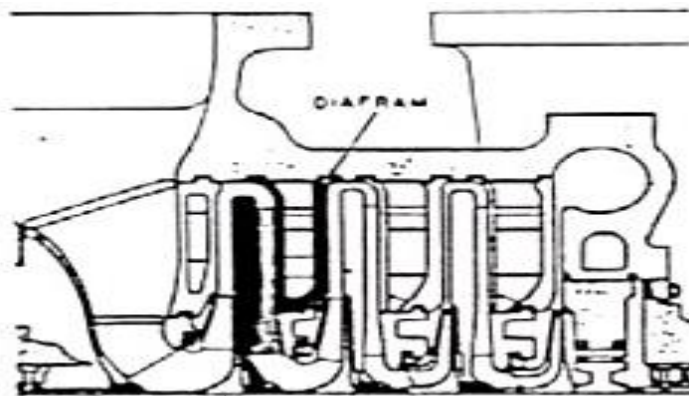
Return channel adalah saluran yang berfungsi memberi arah aliran gas dari return bend masuk ke dalam impeller berikutnya. Return channel dilengkapi dengan fixed vane dengan tujuan memperkecil turbulensi aliran gas pada saat masuk stage berikutnya sehingga dapat memperkecil vibrasi.



Gambar 2.28 Return channel

### 9. Diafragma

Diafragma merupakan bagian dalam kompresor yang berfungsi sebagai penyekat antar *stage* dan tempat kedudukan *eye seal* maupun *interstage seal*. Dengan pemasangan diafragma secara seri, akan terbentuk tiga bagian penting, yaitu *diffuser*, *return bend*, dan *return channel*. Diafragma ditempatkan didalam casing dengan konfigurasi *tongue-groove* sehingga mudah dibongkar pasang.

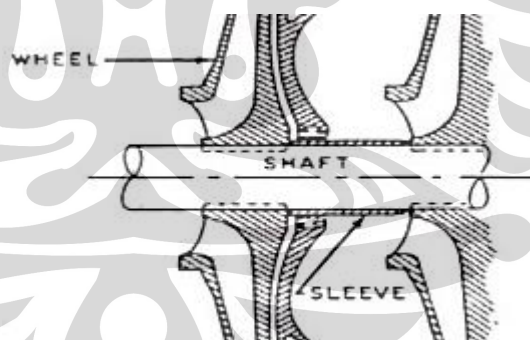


Gambar 2.29 Diafragn

### 2.5.2.2 Komponen Dinamis

#### 1. Shaft and Shaft Sleeve

Shaft atau poros transmisi digunakan untuk mendukung impeller dan meneruskan daya dari turbin gas ke impeller. Untuk penempatan impeller pada shaft digunakan pasak. Pada kompresor multistage, posisi pasak dibuat selang-seling agar seimbang. Sedangkan jarak antar stage dari impeller digunakan *shaft sleeve* yang berfungsi sebagai pelindung shaft terhadap korosi, erosi, abrasi dari aliran dan sifat gas, serta untuk penempatan *shaft seal* diantara stage impeller.[9]

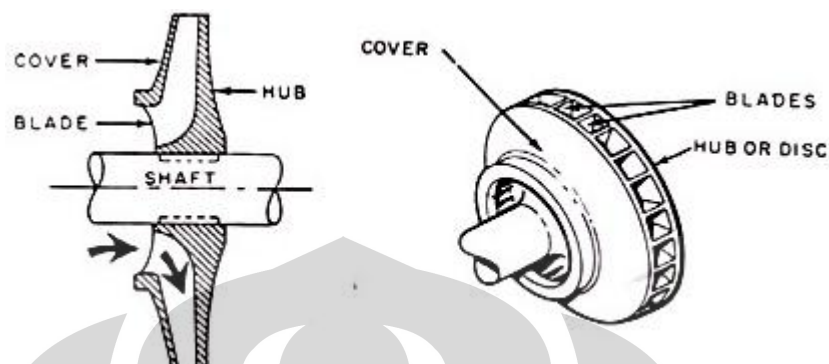


Gambar 2.30 shaft dan Shaft Sleeve

#### 2. Impeller

*Impeller* berfungsi menaikkan tekanan dan menaikkan kecepatan tangensial gas dengan mekanisme perputaran sehingga menimbulkan gaya inersia pada gas. Hal ini menyebabkan gas mengalir dari *eye impeller* ke *discharge tip*. Karena

adanya perubahan jari-jari dari sumbu putar antara *tip* sudu masuk dengan *tip* sudu keluar maka terjadi kenaikan energi kinetik.



Gambar 2.31 impeller

### 3. Bearing

Bearing adalah bagian internal kompresor yang berfungsi untuk mendukung beban radial dan aksial yang berputar dengan tujuan memperkecil gesekan dan mencegah kerusakan pada komponen lainnya. Pada kompresor sentrifugal terdapat dua jenis bearing, yaitu :

#### a. *Journal bearing*

Digunakan untuk mendukung beban dengan arah radial (tegak lurus poros).

#### b. *Thrust bearing*

Digunakan untuk mendukung beban kearah aksial (sejajar poros).

## 2.6 Teori Dasar Unjuk Kerja Kompresor Sentrifugal

Unjuk kerja kompresor sentrifugal berkaitan dengan beberapa parameter utama, yaitu :

- Head
- Efisiensi
- Debit Aliran
- Daya

Untuk dapat mengetahui nilai masing-masing parameter berdasarkan kondisi operasi, maka digunakan berbagai rumus perhitungan dan proses pendekatan. Kompresor sentrifugal didalam proses kerjanya dapat ditinjau dengan menggunakan dua pendekatan :

- a. Proses isentropik, yaitu proses yang menggunakan asumsi ideal, dimana proses berlangsung pada entropi konstan tanpa adanya panas yang masuk dan keluar. Namun demikian, pada kenyataannya energi panas tidak bisa diubah secara keseluruhan menjadi kerja, karena ada kerugian.
- b. Proses Politropik adalah proses kerja aktual yang dihasilkan oleh kompresor.

### 2.6.1 Head

Energi dibutuhkan untuk mengubah kuantitas gas dari suatu nilai tekanan ke tekanan yang lebih tinggi. Head didefinisikan sebagai energi yang ditambahkan pada gas melalui mekanisme percepatan yang terjadi akibat perputaran impeller. Head dibutuhkan untuk mencapai suatu rasio tekanan tertentu. Head terbagi menjadi dua, yaitu head isentropik dan head polytropik. Berikut ini akan dijabarkan lebih lengkap mengenai head pada kompresor sentrifugal.

#### 2.6.1.1 Head Isentropik

Head isentropik merupakan energi per satuan massa yang diperlukan oleh kompresor pada kondisi dimana tidak terjadi perpindahan panas pada sistem. Head isentropik mengabaikan kerugian – kerugian yang terjadi selama proses untuk mencapai suatu rasio tekanan tertentu. Berikut ini merupakan persamaan head pada kondisi isentropik :

$$H_{isen} = 53,35 \frac{(T_1 + 459,67) \times Z_{avg} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]}{\left( \frac{\gamma-1}{\gamma} \right) \times SG}$$

$H_{isen}$  : Head isentropik (ft.lbf/lbm)

$T_1$  : Temperatur masuk (°F)

$Z_{avg}$  : Faktor kompresibilitas rata – rata saat masuk dan keluar

$P_1$  : Tekanan masuk (Psia)

$P_2$  : Tekanan keluar (Psia)

$SG$  : Specific gravity

$\gamma$  : Rasio panas spesifik

### 2.6.1.2 Head Politropik

Head politropik merupakan energi per satuan massa yang diperlukan oleh kompresor pada proses polytropik dengan kondisi gas saat masuk dan saat keluar kompresor sama. Head polytropik merupakan head yang telah mempertimbangkan kerugian – kerugian yang terjadi selama proses penambahan energi pada aliran gas. Kerugian – kerugian mekanis dan aerodinamis merupakan suatu hal yang pasti terjadi pada mesin dinamis seperti kompresor sentrifugal. Head yang lebih besar dibutuhkan untuk mengkompensasikan kerugian yang terjadi selama proses kompresi untuk mencapai suatu rasio tekanan tertentu. Berikut merupakan persamaan pada kondisi polytropic :

$$H_{poly} = \frac{53,35}{SG} \times Z_{avg} \times \frac{n}{n-1} \times T_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$H_{poly}$  : Head polytropik (ft.lbf/lbm)

$T_1$  : Temperatur masuk (°F)

$Z_{avg}$  : Faktor kompresibilitas rata – rata saat masuk dan keluar

$P_1$  : Tekanan masuk (Psia)

$P_2$  : Tekanan keluar (Psia)

$SG$  : Spesific gravity

$n$  : Eksponen polytropik

Nilai  $n$  merupakan kondisi gas selama proses kompresi. nilai  $n$  membandingkan antara kondisi tekanan dan temperatur saat masuk dan keluar kompresor. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk mencari nilai  $n$  :

$$\frac{n}{n-1} = \frac{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}{\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}$$

Dimana :

$T_1$  : Temperatur masuk kompresor

$T_2$  : Temperatur keluar kompresor

P<sub>1</sub> : Tekanan masuk kompresor

P<sub>2</sub> : Tekanan keluar kompresor

### 2.6.2 Efisiensi Kompresor Sentrifugal

Efisiensi merupakan faktor penting dari suatu kerja kompresor. Efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan antara head pada kondisi isentropic dengan head yang terjadi selama proses di lapangan. Efisiensi menggambarkan kondisi yang dapat diraih oleh suatu kerja kompresor agar dapat mencapai suatu rasio tekanan tertentu. Efisiensi dapat dihitung dengan persamaan[9] :

$$\eta = \frac{H_{isen}}{H_{poly}} \times 100\%$$

### 2.6.3 Debit Aliran

Laju aliran gas pada kompresor sentrifugal dapat dinyatakan dalam berbagai bentuk seperti :

- Actual inlet volume flow* merupakan laju aliran yang terjadi pada tekanan dan temperatur yang terjadi di lapangan.
- Standard inlet volume flow* pada kondisi standard yaitu pada tekanan 14,7 psia dan suhu 60°F = 520° R.
- Mass flow rate* : laju aliran massa yang dinyatakan dalam satuan kg/s.

*Actual inlet volume flow* dinyatakan dengan persamaan berikut ini :

$$Q_{act} = \frac{(19.631) \times Q_{std} \times Z_1 \times (T_s + 459.67)}{P_s}$$

Dimana :

Q : Laju aliran (cfm)

Z<sub>1</sub> : Faktor kompresibilitas pada aliran masuk kompresor

T<sub>s</sub> : Temperatur masuk (°F)

P<sub>s</sub> : Tekanan masuk (Psia)

Mmscfd : Laju aliran dalam keadaan tekanan dan temperatur standar

Bila debit dihitung dalam laju aliran massa, maka harus dilihat hubungan kapasitas dan laju aliran massa.



$$\dot{m} = \frac{Q \times \rho}{60}$$

Dimana :

- $\dot{m}$  : Laju aliran massa (lb/s)  
 Q : Actual inlet volume flow (cfm)  
 $\rho$  : Densitas (lbm/ft<sup>3</sup>)  
 60 : Faktor konversi menit ke detik

Sedang  $\rho$  dapat dihitung dari persamaan berikut ini :

$$PV = mRT \Rightarrow \frac{m}{V} = \frac{P}{RT}$$

Maka

$$\rho = \frac{P}{RT}$$

Bila dikoreksi terhadap faktor kompresibilitas, maka persamaan densitas menjadi :

$$\rho = \frac{144 \times P_1 \times SG}{53,35 \times Z \times T_1}$$

Dimana :

- $\rho$  : Densitas (lbm/ft<sup>3</sup>)  
 P<sub>1</sub> : Tekanan masuk (Psia)  
 T<sub>1</sub> : Temperatur masuk (°F)  
 Z : Faktor kompresibilitas  
 SG : Spesifik gravity  
 144 : Faktor konversi dari psia ke lb/ft<sup>2</sup> (1 lb/ft<sup>2</sup> = 144 psi)  
 53,35 : Konstanta gas (british unit)

#### 2.6.4 Daya

Daya yang merupakan faktor penting pada kinerja kompresor sentrifugal karena berkaitan dengan aliran massa yang dapat dialirkan pada kompresor dan head yang dihasilkan selama proses kompresi. Daya pada kompresor sentrifugal terbagi menjadi dua, yaitu :

1. Daya gas

$$W_{gas} = \frac{\dot{m} \times H_{poly}}{550}$$

Dimana :

$W_{gas}$  : Daya yang dibutuhkan untuk mengkompresikan gas (HP)

$\dot{m}$  : Laju aliran massa (lb/s)

$H_{poly}$  : Head polytropis (ft. Lbf/lbm)

$550 \left( \frac{ft.lbf}{\frac{sec}{HP}} \right)$  : Faktor konversi daya (HP)

#### 2.6.4.1 Daya kompresor

Daya kompresor merupakan perbandingan antara daya gas dengan efisiensi mekanis. Selama proses kompresi, kompresor sentrifugal mengalami kehilangan daya (*internal losses*) yang terjadi friksi pada operasi kompresor. Kerugian yang terjadi pada kompresor diasumsikan sekitar 2%. Sehingga, daya yang secara nyata dibutuhkan kompresor, yaitu :

$$W_{cc} = \frac{W_{gas}}{\eta_{mekanis}}$$

$W_{cc}$  : Daya yang dibutuhkan kompresor (HP)

$\eta_{mekanis}$  : Efisiensi mekanis (98%)

#### 2.6.5 Gas Propertis

Gas properties merupakan faktor penting karena menentukan spesifik gravity dan rasio panas jenis spesifik. Panas jenis spesifik merupakan jumlah panas yang dibutuhkan untuk meningkatkan temperatur per unit massa. Panas jenis spesifik ( $\gamma$ ) merupakan rasio perbandingan antara panas jenis pada tekanan konstan ( $C_p$ ) dengan panas jenis pada volume konstan ( $C_v$ ) [6]. Sedangkan spesifik gravity (SG) merupakan rasio antara berat molekul gas dengan berat molekul udara. Spesifik gravity digunakan untuk menghitung energi yang ditambahkan ke gas oleh kerja kompresor. Untuk menghitung gas propertis, digunakan langkah sebagai berikut :

- a. Siapkan data komposisi gas campuran dengan setiap mol fraksinya.
- b. Siapkan tabel berat molekul (BM), tekanan kritis (Pc), dan temperatur kritis (Tc) setiap fraksi gas.
- c. Masukkan juga nilai kalor spesifik pada tekanan konstan, Cp untuk setiap gas, pada temperatur kondisi campuran. (dengan satuan berbasis mol, seperti Btu/lbm mol atau J/k mol. K).
- d. Hitung dan buat daftar kontribusi dari setiap gas untuk berat molekul, tekanan kritis, temperatur kritis dan panas spesifik dengan mengalikannya dengan mol fraksi setiap gas.
- e. Jumlahkan masing-masing kontribusi setiap gas hingga didapat parameter dalam kondisi campuran (BM mix, Pc mix, Tc mix dan Cp mix).
- f. Hitung nilai perbandingan panas spesifik,  $\gamma$  dengan persamaan :

$$\gamma = \frac{C_p}{C_p - 1,986} \dots\dots \text{(British unit)}$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_p - 8,314} \dots\dots \text{(SI unit)}$$

## 2.7 Parameter yang Mempengaruhi Unjuk Kerja Kompresor Sentrifugal

Unjuk kerja kompresor sentrifugal dipengaruhi oleh beberapa parameter, antara lain sebagai berikut :

### 1. Pengaruh Suhu Gas Masuk (T<sub>1</sub>)

Bila suhu gas masuk naik menyebabkan :

- Kerapatan massa gas menurun pada kapasitas yang sama.
- Laju aliran massa yang dihasilkan menurun.
- Daya yang dibutuhkan oleh kompresor naik.
- Pressure ratio menurun.
- Begitu pula sebaliknya.

### 2. Pengaruh Tekanan Gas Masuk (P<sub>1</sub>)

Pada kompresor yang beroperasi pada putaran konstan dan laju aliran volume yang sama, maka penurunan tekanan gas masuk menyebabkan :

- Laju aliran gas keluar kompresor turun.

- Tekanan gas keluar kompresor turun.
- Kebutuhan daya kompresor turun.
- Untuk menjaga tekanan gas keluar kompresor yang konstan, maka kompresor diharuskan beroperasi dengan putaran tinggi, akibatnya daya yang dibutuhkan oleh kompresor bertambah.

### 3. Pengaruh Jenis Gas (SG)

Bila jenis gas berubah komposisinya dan specific gravity (SG) gas turun menyebabkan :

- Laju aliran massa menurun.
- Daya yang dibutuhkan kompresor menurun.

### 4. Pengaruh Faktor Kompresibilitas (Z)

Faktor kompresibilitas gas sangat dipengaruhi oleh jenis/komposisi gas dan tekanan dan temperatur. Bila Z naik dan kapasitas konstan menyebabkan :

- Daya yang diperlukan kompresor naik.
- Pressure ratio menurun.
- Dan begitu pula sebaliknya.

### 5. Pengaruh Putaran Kompresor (N)

Perubahan putaran kompresor akan berpengaruh banyak terhadap karakteristik kompresor.

Dengan kenaikan putaran kompresor mengakibatkan :

- Naiknya kapasitas/laju aliran massa sebanding dengan kenaikan putarannya.
- Naiknya head yang sesuai dengan perbandingan putaran pangkat <sup>2</sup>.
- Naiknya kebutuhan daya yang diperlukan sesuai dengan perbandingan putaran pangkat <sup>3</sup>.
- Dan begitu pula sebaliknya.

Hal tersebut diatas dapat dilihat dari teori kesamaan sebagai berikut :

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left( \frac{N_2}{N_1} \right) \quad \frac{H_2}{H_1} = \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad \frac{W_2}{W_1} = \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^3$$

### 6. Pengaruh Perubahan Diameter Luar Impeler (D2)

Perubahan ukuran diameter luar impeler mempunyai pengaruh yang sama dengan perubahan putaran. Bila ukuran diameter luar impeler diperbesar dimana kompresor beroperasi pada putaran tetap, maka menyebabkan :

- Kenaikan kapasitas sebanding dengan perbandingan kenaikan diameter.
- Kenaikan head sebanding dengan perbandingan kenaikan diameter impeller pangkat 2.
- Kenaikan daya yang diperlukan kompresor sesuai dengan perbandingan kenaikan diameter impeller pangkat 3.

#### 7. Pengaruh Laju Aliran Massa (m)

Pada kondisi awal yang sama, kenaikan laju aliran massa mengakibatkan :

- Kenaikan tenaga yang diperlukan kompresor.
- Dan begitu pula sebaliknya.

### 2.8 Prinsip Dasar Kompresor Sentrifugal

Kompresor sentrifugal terdiri dari casing stationer yang berisi impeller yang dapat bergerak secara rotasional yang memberikan kecepatan tinggi pada fluida, dalam hal ini gas. Fungsi dari casing adalah untuk mereduksi kecepatan keluar gas dari impeller dan mengubah energi kinetik dari gas menjadi energi tekanan statik. Zone perlambatan pada casing ini dikenal dengan nama difuser dan memiliki peran dalam meningkatkan kapasitas tekanan dari kompresor.

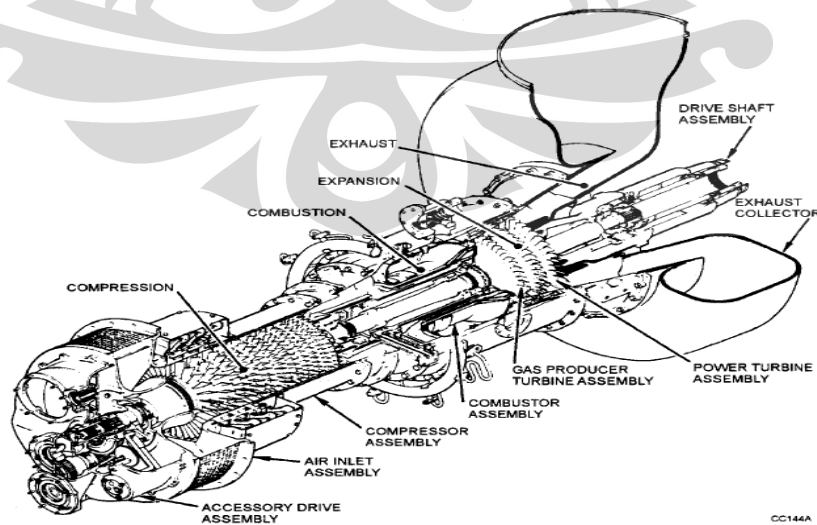
Dalam pengoperasian secara umum, gas mengalir dari inlet guide vane untuk diarahkan sebelum memasuki impeller. Gas yang dihisap dari pusat impeller dan diputar dengan kecepatan tinggi oleh sudu pada piringan impeller. Gaya inersia ditransmisikan oleh impeller dimana, gerakan rotasional dari impeller menyebabkan gas mengalami percepatan sentripetal oleh pressure head sehingga tekanan statik meningkat dari pusat impeller sampai ujung impeller. Peningkatan tekanan statik ini dipertahankan di diffuser, dimana aliran gas berkecepatan tinggi yang meninggalkan ujung impeller berkurang. Kemudian aliran gas diarahkan oleh sudu keluar dari kompresor dengan tekanan yang disesuaikan dengan kebutuhan. Pada kompresor sentrifugal, 2/3 dari peningkatan tekanan terjadi pada sudu rotor dan sisanya terjadi pada sudu stator.[9]

## BAB 3

# TURBIN GAS CENTAUR T-4702 DAN KOMPRESOR SENTRIFUGAL

### 3.1 Turbin Gas Centour T-4702

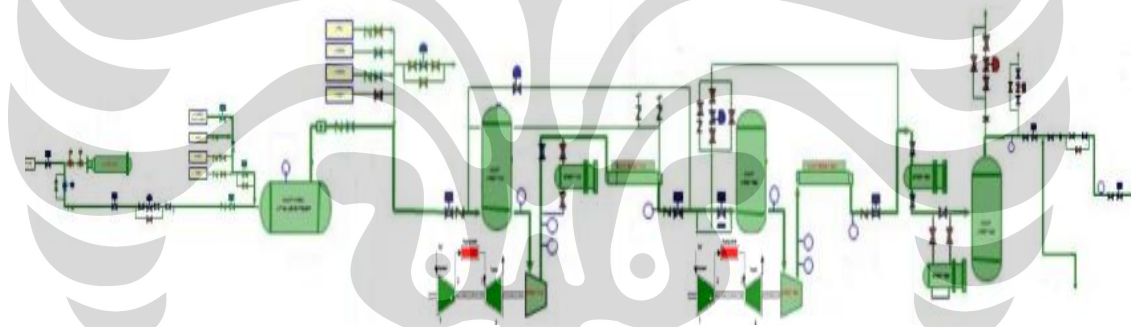
Salah satu contoh turbin gas yang sering digunakan di perusahaan minyak dan gas bumi adalah turbin gas yang di produksi oleh perusahaan solar. Perusahaan ini awalnya merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pembuatan material untuk pesawat terbang kemudian berkembang untuk membuat turbin gas untuk pesawat terbang. Selanjutnya perusahaan ini dipercaya oleh departemen kelautan amerika serikat memproduksi turbin gas sebagai sistem propulsi pada kapal, sehingga menciptakan turbin gas yang jauh lebih kecil, ringan mudah dipelihara dan dapat diandalkan dibandingkan dengan turbin gas industri lainnya[5]. Sejak saat itu , turbin gas solar mulai dipakai oleh banyak industri. Melihat potensi pasar yang membutuhkan turbin gas kecil, ringan dan dengan daya yang lebih besar dibandingkan dari yang pertama. Saat ini perusahaan solar memproduksi turbin gas dan kompresor untuk bidang perminyakan dan gas dan bidang pembangkit listrik.



**Gambar 3.1** Turbin gas Centour T-4702

### 3.2 Spesifikasi Turbin Gas Centaur AX dan BX T-4702

Turbin gas yang dibahas dalam penelitian ini merupakan dua set turbin gas yang masing-masing terkopel dengan kompresor sentrifugal *Low Pressure* (LP) dan *High Pressure* (HP) yang kita namakan AX (Turbin gas yang menggerakkan kompresor sentrifugal *Low Pressure*) dan BX (Turbin gas yang menggerakkan kompresor sentrifugal *High Pressure*). Kedua kompresor sentrifugal ini dipasang seri yang bertujuan mendapatkan tekanan akhir gas alam yang besar. Pertama Gas alam yang akan dikompresi melalui kompresor sentrifugal LP dan kemudian dikompresi lagi dengan kompresor sentrifugal HP sehingga akan didapat tekanan discharge dari HP kompresor sentrifugal tersebut kira-kira 600-700 psi.[1]



**Gambar 3.2** Instalasi Susunan Turbin gas dan Kompresor sentrifugal AX dan BX

Dalam penelitian ini turbin gas yang digunakan adalah jenis centour T-4702 AX maupun BX memiliki spesifikasi pabrik (pada saat running tes) sebagai berikut.

Spesifikasi Turbin Gas AX:

- A. Memiliki 2 poros (*Split shaft*), satu poros penggerak kompresor aksial sedangkan poros satunya untuk menggerakkan kompresor sentrifugal(kompresor booster)
- B. Kompresor aksial:
  - Terdiri dari sebelas tingkat
  - Memiliki variable inlet guide vane

- Rasio kompresi 1:8
  - Kecepatan maksimum pada saat *acceptance test* 15500 rpm
- C. Ruang pembakaran
- Tipe ruang bakar anular
  - Tipe pembakaran konvensional dan SoLoNO<sub>x</sub>(tipe pembakaran dengan campuran miskin), 10 injektor bahan bakar (konvensional), 12 injektor bahan bakar ( SoLoNO<sub>x</sub>)
  - Sistem pembakaran *torch ignitor system*
- D. Turbin produksi gas
- Terdiri dari dua tingkat
  - Kecepatan max 14500
- E. PT(turbin daya)
- Terdiri dari satu tingkat
  - Kecepatan max 13000 rpm
  - Bahan bakar gas alam, bahan bakar alternative
  - Sistem start= *pneumatic* dan *direct- drive AC*
  - Power output max (4300 horse power)
  - Power output operasional (3100-3450 horse power)
  - Temperature keluaran 786.65 K
- F. Aliran masa ,  $m= 15.87 \text{ kg/s}$
- G. Fungsi : Menggerakan kompresor sentrifugal C-505 dengan mengkompresi gas alam yang memiliki tekanan masuk 80 Psia (450,254 kPa) dan tekanan keluar 239,5 Psia (1549,97 kPa)

#### Spesifikasi Turbin Gas BX:

- A. Memiliki 2 poros (*Split shaft*), satu poros penggerak kompresor aksial sedangkan poros satunya untuk menggerakan kompresor sentrifugal(kompresor booster)



B. Kompresor aksial:

- Terdiri dari sebelas tingkat
- Memiliki *variable inlet guide vane*
- Rasio kompresi 8 : 1
- Kecepatan maksimum pada saat *acceptance test* 15500 rpm

C. Ruang pembakaran

- Tipe ruang bakar anular
- Tipe pembakaran konvensional dan SoLoNO<sub>x</sub> (tipe pembakaran dengan campuran miskin), 10 injektor bahan bakar (konvensional), 12 injektor bahan bakar ( SoLoNO<sub>x</sub>)
- Sistem pembakaran = *torch ignitor system*
- Bahan bakar gas alam.

D. Turbin produksi gas

- Terdiri dari dua tingkat
- Kecepatan max 15000

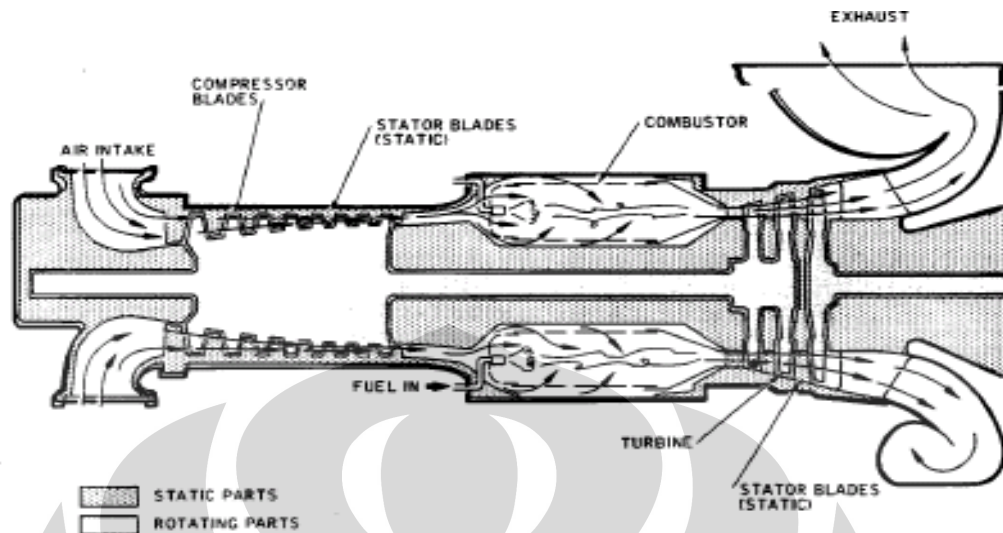
E. PT(turbin daya)

- Terdiri dari satu tingkat
- Kecepatan max 14500
- Sistem start pneumatic dan direct- drive AC
- Power output max 3345 horse power
- Power output operasional 2450 horse power
- Temperatur keluaran 751.65 K

F. Aliran masa ,  $m=$   
14.70 kg/s

G. Fungsi :  
Menggerakkan kompresor sentrifugal tekanan masuk 239,5 Psia (1549,97 kPa) dan Tekanan keluar 700 Psia (4724,99 kPa).

### 3.3 Prinsip Kerja Turbin Gas Centour T-4702



**Gambar 3.3** Aliran udara dan hasil pembakaran pada Turbin gas T-4702

Gambar diatas merupakan potongan dari gas turbin, dari sana bisa kita lihat aliran fluida udara dan daerah kompresor, combustion, turbine dll. Pertama turbin menerima tahanan 250 Psi yang berasal dari pressure vessel dan memutar starter pneumatik yang menyebabkan kompresor berputar dan Rpm naik, sehingga *air inlet duct* menghisap udara luar atau udara lingkungan (terjadi proses penyaringan pada air inlet duct ). Pada saat kerja turbine 30% hanya *starter pneumatik* yang bekerja untuk memutar kompresor dan pada saat 30%-60% kerja terjadi pembakaran (*ignition*) diikuti starter pneumatik masih menyala. Namun pada saat kerja *turbine engine* tersebut kira-kira 66%, stater tersebut melepas secara sentrifugal karena alat ini dirancang seperti itu, sehingga putaran turbine engine ketika sudah melewati 66-100% murni seluruhnya dihasilkan dari hasil pembakaran (*ignition*). Proses starting kira-kira memakan waktu 5 menit dan kira-kira 25 menit turbin gas akan bekerja secara optimal.

Udara yang masuk air inlet duct bertekanan 1 atmosfer, pada air inlet tersebut udara disaring sehingga ketika masuk ke kompresor udara dalam keadaan bersih. Hal ini dikarenakan jika udara yang masuk ke turbin gas tersebut kotor maka akan terjadi pengendapan deposit pada turbin gas sehingga akan mengurangi kerja

turbin gas tersebut. Sebelum masuk ke kompresor, udara diatur volumenya oleh *inlet guide vane* sesuai kebutuhan untuk proses pembakaran. Pada awal terjadinya pembakaran, suplai udara yang diperlukan pada proses tersebut relatif sedikit karena jika udara yang masuk tidak diatur atau terlalu banyak maka akan terjadi *stall* dimana pembakaran yang terjadi menghasilkan daya yang terlalu besar, sementara putaran kompresor belum optimal. [7]

Setelah melewati *inlet guide vane* udara masuk ke kompresor, mula-mula masuk pada bagian rotor yaitu bagian yang berputar, lalu melewati stator bagian yang diam yang berfungsi mengarahkan udara yang berasal dari rotor agar udara tersebut mengalir dengan teratur, udara mengalami peningkatan tekanan pada setiap stage dari kompresor tersebut, dan merupakan persamaan eksponensial bukan persamaan linear karena pada setiap stage peningkatan tekanannya tidak sama, selanjutnya udara akan sampai stages stator yang terakhir. ketika melewati setiap stage dari terjadi *losses* disana dan sebenarnya energi tidak hilang namun hanya terkonversi ada yang menjadi panas dan ada yang menjadi kecepatan. Setelah melewati bagian kompresor, udara bertekanan kira-kira 9 bar dan memiliki kecepatan yang sangat tinggi lalu melewati diffuser dan pada diffuser tersebut kecepatan udara dikonversi ke tekanan karena udara tersebut akan memasuki daerah *combustion chamber* sehingga kecepatannya harus kecil karena jika kecepatannya terlalu besar atau tidak dikonversi oleh diffuser maka udara tersebut akan menghambat proses pembakaran atau bahkan memadamkan api pada *combustion chamber* tersebut, setelah melewati diffuser udara yang bertekanan tinggi tersebut dicampur dengan fuel lalu terjadilah pembakaran yang dahsyat dan dari pembakaran tersebut meningkatkan temperature dan entropy yang sangat signifikan sekali. Gas hasil pembakaran tersebut kemudian melewati nozzle sehingga gas tersebut dikonversi kembali dari tekanan menjadi kecepatan sehingga udara yang memiliki kecepatan tersebut menumbuk sudu-sudu turbin dan terjadilah gaya aksi reaksi sehingga terjadi konversi dari energi kinetik menjadi energi mekanik dan gas memutar turbine *Gas Producer* (GP) dan *Power Turbine*(PT). Daya yang dihasilkan dari turbin gas tersebut, 60% digunakan

untuk memutar kompresor aksial. Dengan kata lain, 60% daya yang dihasilkan dari keseluruhan sistem ini, digunakan untuk memutar turbin gas sendiri. Sisanya kira-kira 30-40% digunakan untuk memutar kompresor sentrifugal, yang merupakan satu shaft dengan PT.

### **3.4 Sistem Pendukung Turbin Gas Solar Centaur T-4702**

Untuk mengoperasikan kompresor set pertama dilapangan dibutuhkan sistem penyalan khusus. Sistem yang digunakan adalah sistem penyalan pneumatik, sitem penyalan ini berupa motor yang memutar mesin untuk mempercepat turbin agar dapat beroperasi pada kecepatan yang dibutuhkan. Sumber energinya adalah dari tekanan gas yang ada atau udara yang dibuat di lapangan.

#### **3.4.1 Tipe Sistem Penyalan**

Ada dua jenis sistem penyalan yang digunakan oleh set turbin gas kompresor solar tipe centaur T-4702, yaitu motor penyalan dengan baling-baling ( vane tipe start motor) dan motor penyalan dengan turbin (turbin tipe start motor). Penyalan tipe motor turbin merupakan sistem baru yang tidak memerlukan sistem pelumasan eksternal.

Pada penyalan tipe motor baling-baling (vane tipe start motor ), dibutuhkan otomisai pada baling-baling motor. Motor tipe baling-baling ini dioperasikan secara pneumatik yang dapat menghasilkan torsi lebih kurang dari 30% dari kecepatan mesin. Untuk mentransfer torsi gigi dan kompling. Starter adapter inipun berfungsi untuk mencegah mesin memutar motor kembali. Untuk penyalan tipe motor turbin digunakan turbin radial berkecepatan tinggi. Kecepatan putar tinggi yang dihasilkan oleh turbin dikurangi oleh roda gigi planetary( *planetary gear*) kecepatan kurang lebih dari 6000 rpm. Putaran ini pun diteruskan mesin melalui starter adapter yang menggunakan roda gigi, untuk starter adapter yang memakai roda gigi dapat diganti dengan kopling (*sprag clutch*), tidak terkecuali pada penyalan tipe motor baling-baling.

### 3.4.1.1 Prinsip Kerja Sistem Penyalaan

Saat sistem kontrol diperintahkan untuk menyalakan mesin ataupun hanya tes putaran, maka pemberian pelumasan selama 30 detik akan dilakukan terlebih motor penyalaan akan membuka *shutoff valve*. Hal ini akan membuat motor penyalaan akan berputar, memutar mesin sampai dengan 30%-70% kecepatan putar gas generator turbin, untuk tes putar mesin, mesin akan berputar tanpa batas waktu tertentu sampai operator memberhentikan. Akan tetapi, lama waktunya tes tidak boleh melebihi waktu habisnya oli pada lubrikatornya.

Jika sistem penyalaan dilakukan untuk mengoperasikan set turbin gas, maka sistem kontrol akan menentukan waktu agar tercapai kecepatan putar 15% dari kecepatan generator turbin, lamanya waktu ini sangat tergantung dari detik dan paling lama adalah 5 menit jika dibutuhkan pemulihan panas sistem, jika pembakaran pada mesin telah terjadi, sistem bahan bakar dan sistem penyalaan akan meningkat kecepatan tingginya menjadi 60% dari kecepatan *gas generator turbin*. Setelah sistem bahan bakar telah dapat mempertahankan kecepatan mesin pada 60% maka motor penyalaan akan dilepas dari mesin oleh kopling dan berhenti.

### 3.4.2 Sistem Udara pada Turbin Gas Centaur T-4702

Dalam gas turbin hal yang dipastikan harus selalu tersedia adalah udara. Udara mempunyai fungsi utama dalam membantu terjadinya pembakaran. Untuk pembakaran, udara dikompresi dulu oleh kompresor. Selain itu udara juga berfungsi untuk memberi tekanan pada prapat oli, pendingin untuk piringan rotor turbin dan nozel tingkat pertama, mencegah jatuh (*surge*) pada kecepatan kritis, dan menyediakan udara kontrol untuk sistem pembakaran. Sistem udara pada mesin akan sangat tergantung pada tekanan udara yang dikeluarkan oleh kompresor pada tingkat terakhir (*discharge air pressure*) yang dilambangkan dengan Pcd.

#### 3.4.2.1 Fungsi Sistem Udara

Seperti yang telah disebutkan diatas, sistem udara pada mesin turbin gas mempunyai beberapa fungsi, yaitu:

a. Udara untuk pembakaran

Akibat putaran dari rotor kompresor, maka udara yang ada disekitar mesin akan terhisap masuk. Udara ini akan dikompresikan oleh beberapa tingkat kompresor lalu dialirkan melalui diffuser ke ruang bakar. Di ruang bakar, bahan bakar diinjeksikan sehingga tercipta campuran bahan bakar yang siap untuk dibakar. Hal ini akan mengubah udara bertekanan menjadi berkecepatan tinggi yang akan ber ekspansi dan mengubah energy kecepatan menjadi energi mekanik yang menggerakkan turbin lalu dikeluarkan melalui saluran pembuangan.

b. Udara keluaran (*bleed air*)

Pada saat percepatan atau perlambatan kecepatan putar, untuk mencegah terjadinya *surge* maka, udara berlebih ditarik keluar dari selubung ruang bakar. Biasanya hal ini terjadi pada putaran mesin dibawah 75%. Untuk melakukan hal ini maka digunakan katup udara keluaran (*bleed air valve*) yang bekerja pada Pcd (tekanan keluaran kompresor) dan mengarahkan udara buangan tersebut ke saluran pembuangan.

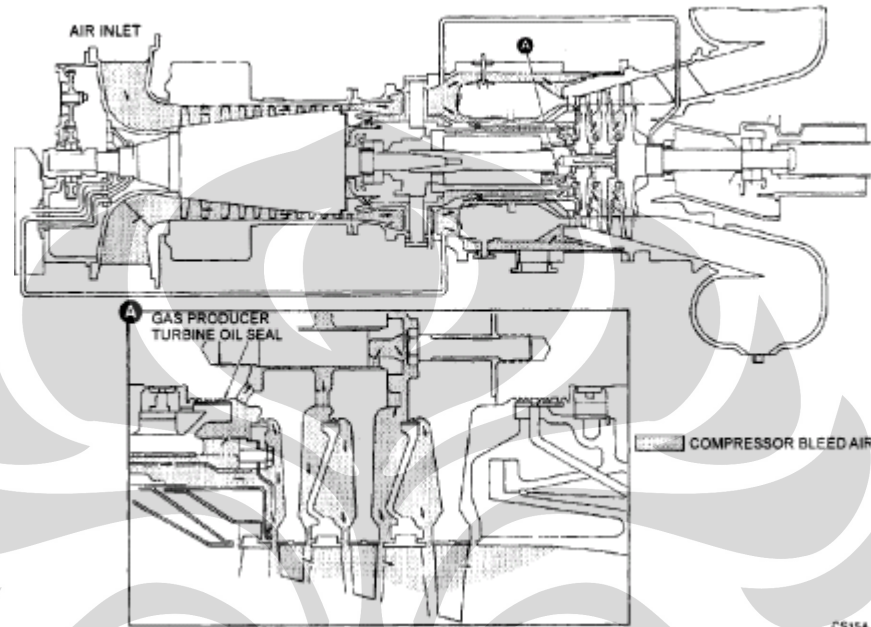
c. Udara control (*control air*)

Udara keluaran kompresor(Pcd) memberikan sinyal kepada katup pengontrol bahan bakar. Hal ini bertujuan untuk mengatur aliran bahan bakar agar dapat menghasilkan rasio udara bahan bakar yang tepat saat percepatan.

d. Pendingin turbin

Aliran udara yang berfungsi untuk mendinginkan rotor turbin adalah udara yang diambil dari kompresor tingkat sebelas. Aliran udara ini melewati lubang yang tersedia pada selubung bantalaan kompresor ke baut rotor turbin, dari tempat tersebut udara mengalir ke pusat piringan rotor turbin, sebagian udara ini diarahkan untuk mendinginkan piringan rotor turbin

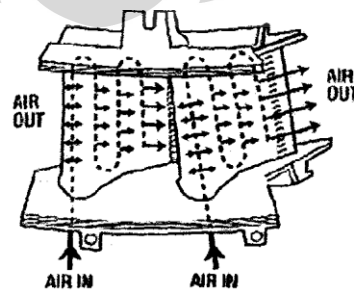
pertama dan kedua, sedangkan sisanya diarahkan untuk mendinginkan *leading edge* dari rotor turbin tingkat pertama.



**Gambar 3.4** Aliran udara dan aliran pendingin leading edge

e. Pendingin nozzle

Aliran yang digunakan untuk mendinginkan nozzle adalah udara keluran kompressor. Udara ini dikumpulkan dari sebagian udara yang tidak digunakan untuk pembakaran mengalir diluar ruang bakar. Aliran udara ini mengalir memasuki lubang nozzle dan kelura melalui lubang *trailing edge* setiap nozzle tingkat pertama.



**Gambar 3.5** Aliran udara pendingin pada nozzle turbin

- f. Prapat oli dengan tekanan udara (*oil seal pressurizing air*), k ali ini aliran udara bertekanan keluraan kompresor digunakan untuk mencegah oli yang digunakan untuk pelumasan bearing ( bantalan) mask ke kompresor, ruang bakar, dan bagian turbin, mesin menggabungkan empat labirin prapat bertekanan udara untuk mecepat tujuan tersebut.

### 3.4.3 Sistem Sudu Tidak Tetap

Sistem sudu tidak tetap, merupakan bagian dari sistem aliran udara karena sistem ini mengatur aliran udara yang masuk ke mesin. Sistem sudu tidak tetap ini terdapat dibagian depan dari kompresor, tujuan dari sistem ini adalah menjaga peforma maksimum dari kompresor saat penyalaan, percepatan dan operasi normal. Sistem ini bereaksi terhadap perubahan Pcd yang mengontrol secara pneumatik dan secara hidrolik mengoperasikan perubahan sudu tingkat satu dan dua serta sudu pengatur masukan (*inlet guide vane*). Perubahan posisi sudu dapat memvariasikan sudu aliran udara yang mengalir ke bialah rotor dan kompresor. Perubahan sudut aliran ini menetapkan karakteristik dari rasio kompresi. Saat Pcd berada dibawah 32 psig, sudu bergerak ke posisi maksimum terbuka.[1]

### 3.4.4 Sistem Minyak Pelumas

Sistem ini mempunyai fungsi primer untuk mendinginkan mesin dan memberi pelumas bantalan (*bearing*). Sedangkan fungsi sekundernya adalah memberikan energi untuk sistem kontol hidroulik, menyediakan minyak untuk pelumasan sistem pneumatik dana sumber liquid untuk sitem prapat basah ( *wet seal system*).

Untuk mencapai fungsi-fungsi tersebut sitem pelumas didukung oleh beberapa komponen. Yaitu:

- a. Tangki minyak oli, terdapat dua buah tangki, terdapat dua tangki minyak pelumas yang berkapasitas 500-600 gallon. Tangki ini mempunyai



detector level yang menunjukkan banyaknya minyak dalam tangki. Alarm yang mengindikasikan minyak tinggal sedikit akan menyala, yaitu jika level minyak dibawah 464 gallon saat mesin sedang beroperasi dan secara otomatis akan mematikan mesin jika minyak pelumas berapa pada level dibawah 400 gallon. Kemudian alrm juga akan menyala jika minyak didalam tangki melebihi 624 galon.

b. Pompa minyak pelumas, terdapat tiga macam pompa ,yaitu:

Pompa pembantu saat lubrikasi awal, bekerja dengan tekanan sampai 20 psig dan debit 66 gpm. Pompa ini berfungsi untuk memberikan minyak pelumas untuk pelumasan motor penyala.Pompa cadangan setelah pelumasan. Setelah menghentikan kerja mesin, minyak pelumas diberikan ke bantalan-bantalan mesin dan kompresor sentrifugal yang bersuhu tinggi dengan tujuan untuk pendinginan, hal ini dilakukan oleh motor cadangan setelah pelumasan.Pompa minyak pelumas utama. Pompa ini berputar sampai dengan 2000rpm saat mesin bekerja pada kecepatan turbin 100%, sehingga mampu mengalirkan minyak 74gpm pada tekanan 55 psig. Sedangkan mesin dan aksesorisnya memerlukan total aliran pelumasan hanya 60 gpm.

c. Penyaringan minyak pelumas. Semua mesin turbin gas telah dilengkapi dengan sistem penyaringan rangkap, yang terdiri dari dua unit identik penyaring. Setiap penyaringan mempunyai kapasitas 19 galon dan tiga buah 5 mikron elemen penyaring yang dapat diganti.

d. Pengontrol tekanan minyak pelumas. Tekanan minyak diatur oleh PCV901, yang merupakan alat pengatur besar bekerja dengan mengalirkan kembali kelebihan minyak pelumas dari pompa utama pelumas ke tangki minyak. Alat ini akan menjaga agar minyak yang mengalir tetap bertekanan 55 psig.

e. Pengontrol temperature minyak pelumas. Agar mesin dapat bekerja semestinya maka temperature minyak harus dikontrol dalam range operasi.

Oleh karena itu, sistem dilengkapi sistem pendingin dan pemanas minyak. Jika minyak terlalu panas saat beroperasi akan menyebabkan minyak tersebut kehilangan viskositasnya sehingga terlalu cair. Sedangkan, jika minyak terlalu dingin maka sulit diinjeksikan ke bearing. Temperatur normal minyak pelumas saat mesin beroperasi adalah 140 F

f. Pemantau tekanan, temperatur dan level. Untuk memonitor tekanan digunakan *oil pressure transducer*, untuk temperature dipasang indicator temperature yang menggunakan sensor dengan skala 40 F -340 F dan resistance temperature drive (RTD) dan terakhir untuk memonitor level digunakan saklar level untuk tangki yang akan menyebabkan alarm jika ketinggian tangki terlalu tinggi atau terlalu rendah.

#### **3.4.4.1 Pengoperasian Sistem Pelumasan**

Pada saat penyalaan, pompa cadangan untuk pelumasan akhir akan dihidupkan juga untuk tes kerjanya selama 30 detik persiklus. Pompa harus mencapai tekanan minyak sebesar 6 psig, jika pompa tidak mencapai tekanan sebesar itu dalam waktu 30 detik maka secara otomatis penyalaan mesin dibatalkan. Jika, pompa mampu mengalirkan minyak dengan tekanan 6 psig maka waktu kembali disetel untuk 30 detik dan pompa cadangan dimatikan serta pompa pembantu pelumasan awal akan diaktifkan untuk siklus waktu 30 detik. Pompa pembantu pelumasan ini harus bekerja pada tekanan minimal 6 psig dan maksimum 20 psig. Jika tidak mencapai tekanan 6 psig maka akan terjadi pematitan mesin dan kembali. Selanjutnya dalam 30 detik kedepan mesin akan berputar untuk putaran pembersihan, selama itu pompa minyak pelumas utama mulai memberikan pelumas ke sistem, kemudian proses penyalaan dilanjutkan ke fase pembakaran dan percepatan. Saat proses tersebut minyak pelumas disuplai oleh kedua pompa pelumasan awal dan pompa minyak utama. Pada saat kecepatan mesin mencapai 65%, sistem kontrol mengecek tekanan minyak. Jika tekanan minyak mencapai 45 psig, pompa pembantu pelumasan awal dimatikan dan proses penyalaan berlanjut secara normal. Jika tekanan hanya berkisar 25psig-45psig, pompa pembantu pelumasan awal juga dimatikan proses penyalaan

diteruskan, tetapi alarm tekanan pompa rendah menyala. Jika tekanan dibawah 25 psig maka proses penyalaan dihentikan, pompa pembantu pelumasan awal tetap menyala sedangkan pompa utama dihentikan.

Saat akan menghentikan mesin, pompa pembantu pelumasan awal dinyalakan kembali selama 55 menit ketika kecepatan mesin menurun menjadi 65% dan tekanan minyak mencapai 35 psig. Hal ini bertujuan untuk pelumasan akhir mesin. Jika pada saat pelumasan mesin akhir, pompa pembantu pelumasan awal tidak mampu mempertahankan tekanan 6 psig, maka pompa cadangan untuk pelumasan akhir akan diaktifkan.

### **3.4.5 Sistem Bahan Bakar**

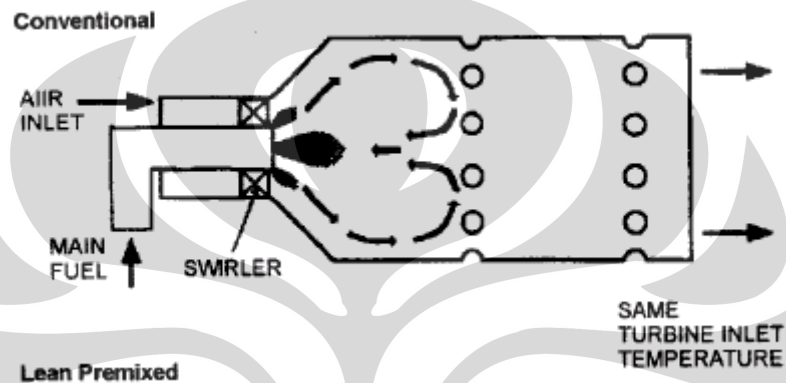
Sistem bahan bakar berfungsi memberikan bahan bakar dengan tekanan yang telah ditentukan dan mengalirkan ke injector di ruang bakar. Sistem ini secara otomatis menjadwalkan bahan bakar untuk percepatan dan mengatur bahan bakar selama operasi berlangsung. Pada gas turbin solar terdapat dua buah system bahan bakar, yaitu sistem bahan bakar standar dan sistem bahan bakar SoLoNOx.[1]

#### **3.4.5.1 Prinsip Pembakaran Standar**

Bahan bakar diinjeksikan ke ruang bakar melalui lubang tetap atau saluran injektor. Bahan bakar dan udara bertekanan diinjeksikan bersamaan dan bercampur di ruang bakar kemudian dinyalakan pada zona pembakaran. Cara injeksi seperti ini disebut juga injeksi bahan bakar difusi. Pencampuran udara bahan bakar yang dilanjutkan dengan pembakaran, menghasilkan pembakaran yang tidak dapat merata dengan range temperatur 2000 sampai 4000 F. are temperatur yag dangat luas ini sangat mendukung terciptanya NOx dan CO. pada temperatur reaksi yang lebih tinggi konsentrasi NOx yang tinggi dihasilkan. Sedangkan CO diproduksi sebagai hasil dari oksidasi hidrokarbon bahan bakar. Pada temperatur reaksi yang tinggi produk ini

beroksidasi menjadi CO<sub>2</sub>, sedangkan pada temperatur reaksi yang lebih rendah sekitar 2700F, molekul CO keluar dari zona pembakaran tanpa bereaksi.

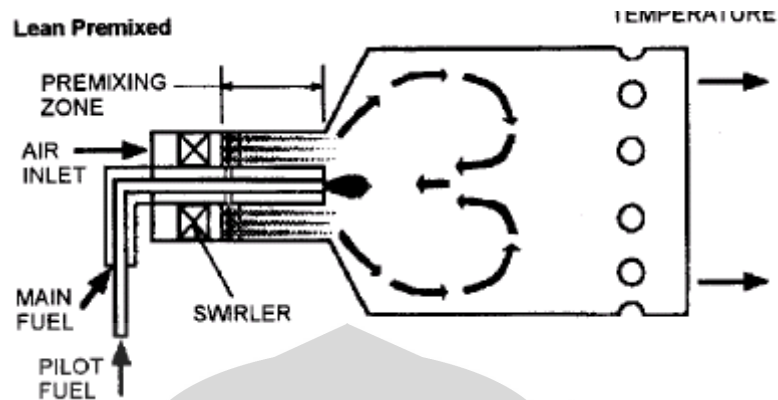
Hal ini dapat diakibatkan oleh reaksi tak sempurna atau reaksi *quenching* saat udara pendingin memasuki tepi ruang bakar melalui lubang difusi. Hasilnya adalah emisi CO sebagai produk pembakaran.



Gambar 3.6 Ruang bakar sistem konvensional

#### 3.4.5.2 Sistem Pembakaran SoLoNO<sub>x</sub>

Sistem pembakaran SoLoNO<sub>x</sub> dapat disebut sebagai pembakaran dengan campuran miskin. Bahan bakar dan aliran udara diputar dicampur terlebih dahulu pada saluran pencampuran miskin. Pencampuran udara bahan bakar ini terlebih dahulu sebelum masuk ke ruang bakar menghasilkan pembakaran yang merata pada temperature 2800 F pada kondisi optimum. Hasil pembakaran NO<sub>x</sub> dan CO dapat dikontrol pada level tertentu. Akan tetapi, NO<sub>x</sub> akan meningkat jika temperatur meningkat secara tajam sedangkan CO akan meningkat jika temperatur turun secara tajam. Perlu diingat, tujuan SoLoNO<sub>x</sub> adalah mengontrol keluaran NO<sub>x</sub> dan CO pada ketetapan yang ada di kecepatan 50-100% beban dengan menstabilkan temperature pembakaran.



Gambar 3.7 Ruang bakar sistem SoLoNOx

### 3.4.5.3 Temperatur Zona Utama

Temperatur saat terjadinya pembakaran disebut juga sebagai temperatur zona utama (T<sub>pz</sub>) yang merupakan faktor penentu pada tingkat emisi yang dihasilkan. Titik operasi T<sub>pz</sub>, biasanya telah ditentukan di pabrik untuk temperature ambient 59 F. T<sub>pz</sub> biasanya tidak langsung diukur saat mesin beroperasi, akan tetapi sistem kontrol menghitungnya berdasarkan temperatur keluaran kompresor, temperatur masukan turbin daya dan parameter operasi lainnya. Saat mesin beroperasi pada mode SoLoNOx, sistem kontrol membandingkan nilai kalkulasi T<sub>pz</sub> dari pabrik dan memvariasikan sistem operasi agar dapat mempertahankan nilai T<sub>pz</sub> yang diinginkan dan mengontrol emisi. Sedangkan saat mesin beroperasi pada mode non SoLoNOx, pengontrol T<sub>pz</sub> tidak diaktifkan dan mesin beroperasi seperti mesin konvensional.

## 3.5 Kompresor Sentrifugal untuk Turbin Gas Centaur T-4702

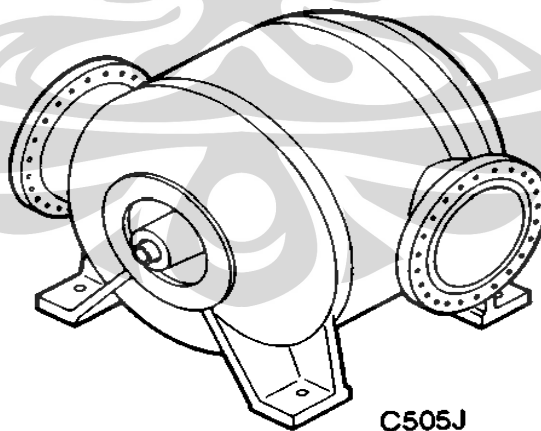
Turbin gas Centaur tipe T-4702 digunakan untuk menggerakkan kompresor sentrifugal. Kompresor sentrifugal yang digunakan ialah kompresor sentrifugal jenis C5054 dan C3065, yang bekerja saling berurutan untuk aplikasi gas lifting pada sumur minyak. Aplikasi gas lifting ini bekerja yang mana gas diinjeksikan ke sumur minyak untuk dicampur dengan minyak mentah agar mempermudah pengambilan minyak dari platform. Kinerja dari kompresor ini sama halnya dengan kompresor sentrifugal yang telah dijelaskan pada bab II. Untuk turbin gas Centaur 47, memiliki pilihan untuk penggunaan kompresor sentrifugal ini. Beberapa tipe keluarga

kompresor sentrifugal yang sering digunakan oleh turbin gas Centaur 47 adalah C160, C166, C167, C284, C304, C306, C307, C334, C336, C337, C338, C401, C402, C505, dan C601. Dari model – model kompresor sentrifugal ini, ada yang menggunakan perapat basah (*wet seal*) dan perapat kering (*dry seal*).

### 3.5.1 Spesifikasi Kompresor Sentrifugal C505

Kompresor sentrifugal yang digunakan di lapangan ada dua jenis, yaitu C505 dan C306. Kompresor sentrifugal C505 merupakan kompresor yang dirancang dengan diameter *casing bore* 50 inch dan memiliki 5 *stage* yang terdapat dalam kompresor. Berikut merupakan spesifikasi dari kompresor C505 :

- a. Tekanan masuk : 80 Psia (450,254 kPa)
- b. Tekanan keluar : 239,5 Psia (1549,97 kPa)
- c. Temperatur masuk : 87 °F
- d. Temperatur keluar : 268 °F
- e. Aliran maksimum : 6238,5 cfm
- f. Aliran standar : 46,9 mmscfd
- g. Diameter impeller : 504 mm
- h. Rpm maksimum : 15500 rpm



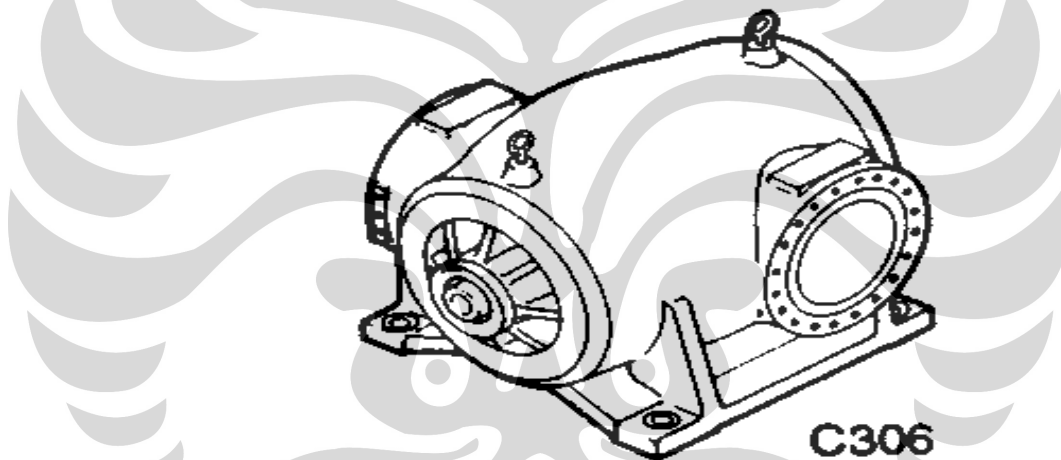
Gambar 3.8 Sentrifugal C505

### 3.5.2 Spesifikasi Kompresor Sentrifugal C306

Kompresor sentrifugal C306 merupakan kompresor yang dirancang dengan diameter *casing bore* 30 inch dan memiliki 6 *stage* yang terdapat di dalam kompresor.

Berikut merupakan spesifikasi dari kompresor C306 :

- a. Tekanan masuk : 239,5 Psia (1549,97 kPa)
- b. Tekanan keluar : 700 Psia (4724,99 kPa)
- c. Temperatur masuk : 115 °F
- d. Temperatur keluar : 303,4 °F
- e. Aliran maksimum : 2247,4 cfm
- f. Aliran standar : 47 mmscfd
- g. Diameter impeller : 306 mm
- h. Rpm maksimum : 15500 rpm



Gambar 3.9 Sentrifugal C306

### 3.6 Sistem Perapat Pada Kompresor Sentrifugal

Setiap kompresor memiliki sistem perapat (*seal system*) yang bertujuan untuk mencegah gas yang di proses oleh kompresor sentrifugal memasuki sistem oli atau sebaliknya. Sistem perapat yang digunakan seperti yang telah dijelaskan diatas terdiri dari dua tipe, yaitu *wet seal system* dan *dry seal system* [6]. Penggunaan tipe perapat yang digunakan tergantung dari model kompresor dan seberapa besar dana yang akan dikeluarkan.

#### 3.6.1 Sistem Perapat Basah (*Wet Seal System*)

Tipe perapat ini memiliki beberapa variasi yang sampai sekarang masih digunakan, yaitu :

- a. Kombinasi perapat oli dan sistem pelumasan oli dengan gas penyangga internal (*Combination seal oil and lube oil system with internal buffer gas*)
- b. Kombinasi perapat oli dan sistem pelumasan oli dengan gas penyangga eksternal (*Combination seal oil and lube oil system with external buffer gas*)
- c. Sistem perapat oil dengan udara penyangga dan gas penyangga internal (*Seperate seal oil system with air buffer and internal buffer gas*)

Keuntungan dari menggunakan sistem ini, antara lain :

- a. Tidak memerlukan biaya tambahan
- b. Sistem ini lebih familiar karena telah digunakan sejak Solar Inc. memproduksi kompresor.
- c. Tidak terpengaruh pada putaran bolak – balik/

Kerugian dari penggunaan sistem ini sebagai berikut :

- a. Gas yang dikompresi dapat mengkontaminasikan oli pelumasan
- b. Oli yang digunakan sebagai perapat dapat mengkontaminasikan jalur gas yang dipakai untuk *gas lift*
- c. Diperlukan tenaga tambahan untuk menggerakkan hidrolik, yang diambil dari tenaga proses kompresi gas.

### **3.6.2 Sistem Perapat Kering (*Dry Seal System*)**

Keuntungan dari penggunaan sistem ini adalah :

- a. Tidak ada pengurangan daya (*horse power*) karena tidak adanya pompa untuk oli perapat.
- b. Tidak ada kontaminasi dari oli
- c. Mengurangi sistem pemeliharaan
- d. Proses penekanan yang lama dapat dilakukan tanpa adanya kesulitan

Kerugian dari aplikasi sistem ini antara lain :



- a. Gas perapat harus bersih dan bertekanan minimal 100 Psia diatas tekanan hisap
- b. Sensitif terhadap putaran
- c. Adanya kebocoran sedikit dari gas perapat maka harus disediakan lubang
- d. Biaya cukup tinggi
- e. Oli dapat mengkontaminasi perapat kering sehingga dapat menyebabkan kegagalan pada sistem
- f. Membutuhkan sumber daya penyangga

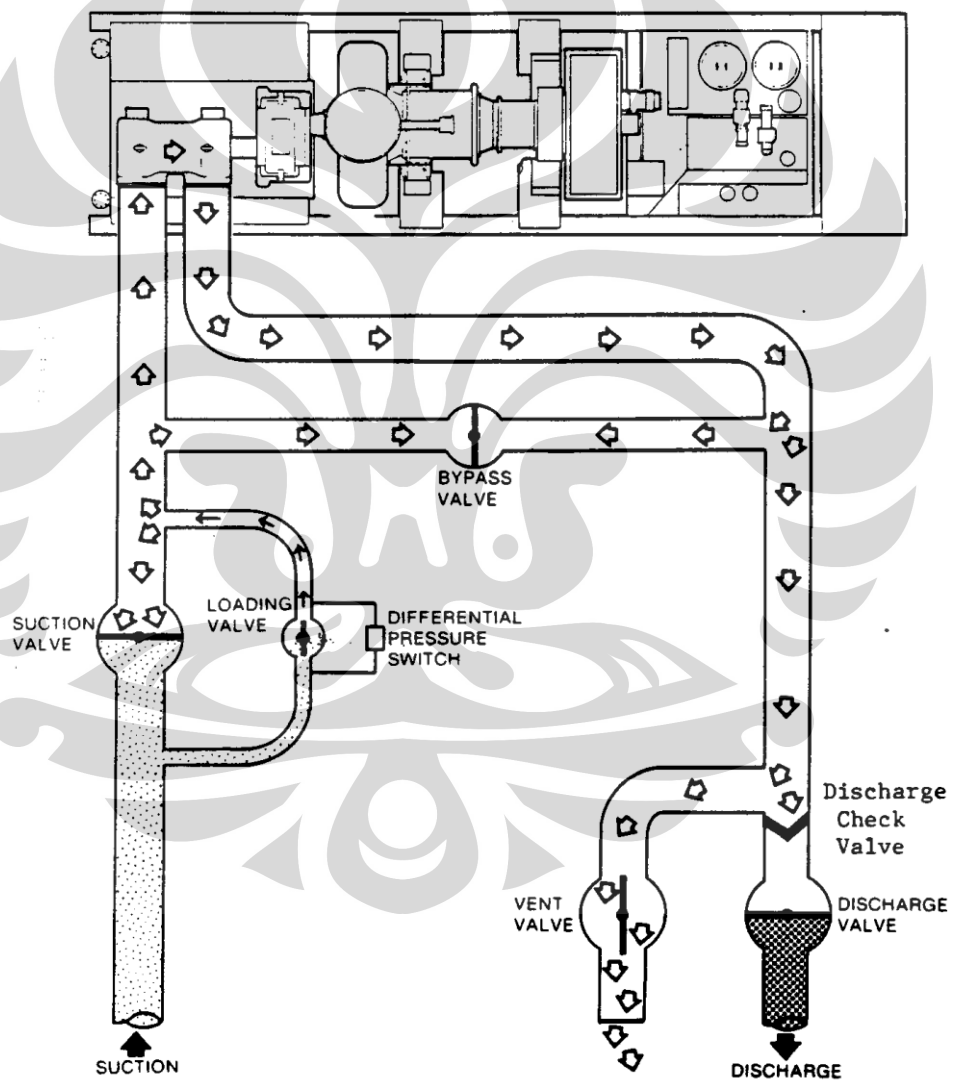
### 3.7 Sistem Katup di Lapangan

Penyalan mesin dan operasi kompresor secara elektrik terintegral dengan katup pipa yang terdapat di lapangan operasional. Katup – katup ini terdiri dari *suction valve*, *loading valve*, *discharge valve*, *bypass valve*, dan *vent valve*. Saat penghentian mesin penggerak, maka pada pipa saluran gas dari proses hisap sampai keluar terdapat udara yang terperangkap, namun bukan gas. Maka saat penyalan, katup – katup pada pipa akan berfungsi dalam membersihkan saluran pipa tersebut dan terisi gas kembali. Ketika kondisi pipa sudah cukup memadai untuk menyalurkan gas, maka sistem penyalan mesin dapat berlanjut.[6]

Untuk kompresor dengan perapat tipe kering dan perapat tipe basah memiliki sedikit perbedaan dalam tahapan sistem katup saat penyalan, namun secara garis besar tahapannya sama. Tahapan – tahapan katup tersebut adalah sebagai berikut :

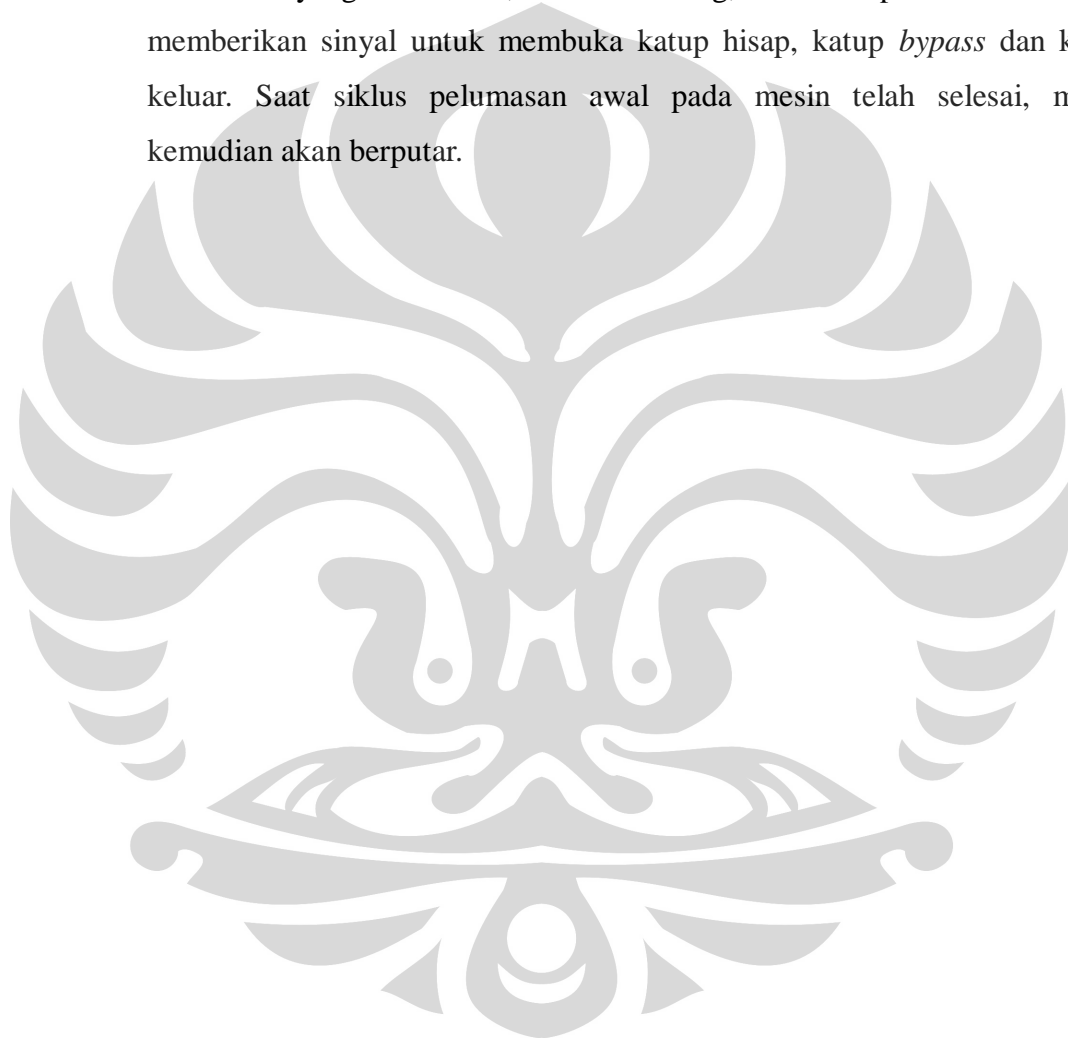
- a. Pada saat mesin tidak beroperasi, *vent valve* dan *bypass valve* terbuka, sedangkan katup hisap dan katup keluar tertutup.
- b. Ketika tombol penyalan ditekan, *bypass valve* akan tertutup dan pompa pelumasan awal diaktifkan. Saat tekanan minyak pelumas telah mencapai 6 Psig, sakelar tekanan pelumasan awal diganti. Untuk perapat kering, solenoid udara penyangga (*buffer air solenoid*) diaktifkan. Untuk perapat basah, pompa pelumas pembantu penyegelan (*auxiliary seal oil pump*) diaktifkan.

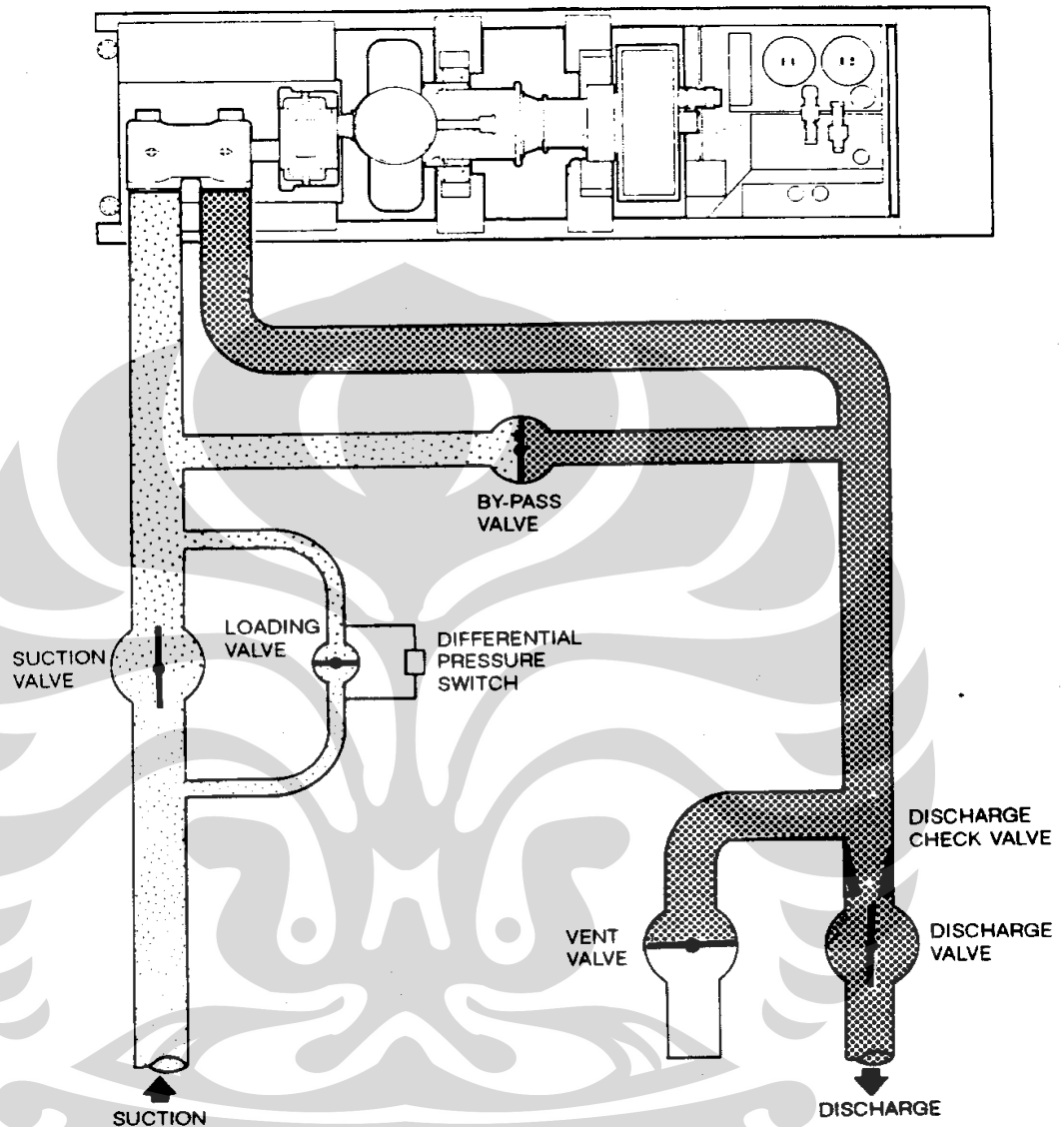
c. Saat tekanan perapat telah mencapai level yang telah ditentukan, *loading valve* dibuka. Gas akan mengalir memasuki sistem, membersihkan kompresor dan mendorong udara yang ada di dalam pipa keluar melalui *vent valve*. Proses ini secara normal berlangsung selama 30 detik.



**Gambar 3.10** Posisi valve kurang dari 30 detik starting

- d. Saat pembersihan telah selesai, *vent valve* kemudian ditutup. Kompresor mulai bekerja membersihkan tekanan ke gas yang mengalir melalui *loading valve*.
- e. Ketika tekanan diferensial yang melalui katup hisap turun ke tekanan diferensial yang ditentukan, sekitar 50 Psig, sakelar dipindahkan. Hal ini memberikan sinyal untuk membuka katup hisap, katup *bypass* dan katup keluar. Saat siklus pelumasan awal pada mesin telah selesai, mesin kemudian akan berputar.





Gambar 3.11 posisi valve pada tekanan 50 psig

- f. Posisi valve saat kecepatan putar turbin daya 40%
- g. Setelah pembakaran pada kecepatan 40%, turbin daya dan kompresor sentrifugal mulai berputar. Pada saat ini, *discharge check valve* masih dalam keadaan tertutup untuk mencegah gas keluaran kompresor keluar melewati

katup keluar. Akibatnya, gas keluaran tersebut kembali mengalir melalui *bypass valve* untuk kembali ke kompresor. Hal ini bertujuan untuk menghindari kompresor bekerja pada keadaan *surge* dan mempermudah mesin untuk berakselerasi pada beban rendah. Proses ini akan terus berulang sampai kecepatan mesin mencapai 90%.

- h. Pada kecepatan mesin 90%, pengatur kecepatan akan memberikan sinyal untuk *bypass valve* agar menutup. Ketika katup ini tertutup, tekanan keluar kompresor meningkat dan gas tidak mengalir kembali ke kompresor.

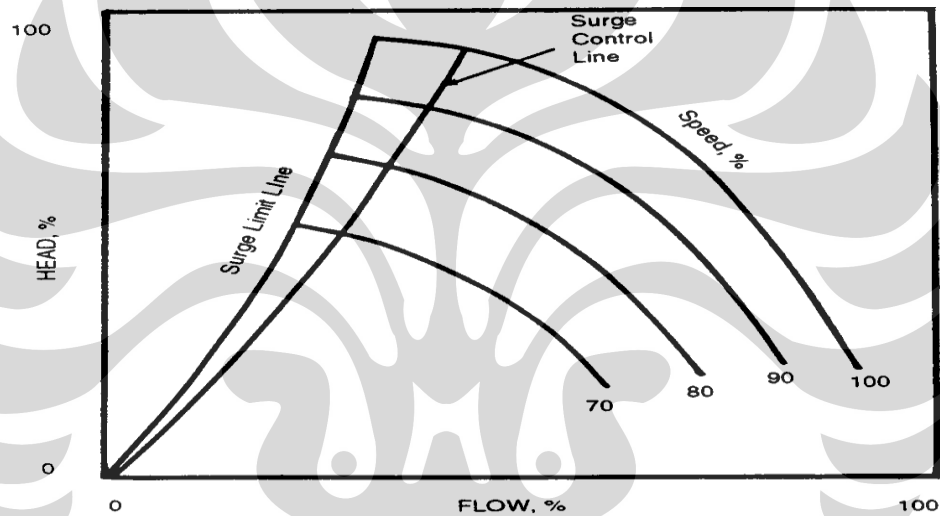
### 3.8 Sistem Pengontrolan Surge

Selama operasi normal, pada setiap sisi impeller tip terdapat lapisan film gas. Lapisan film ini disebut *boundary layer* dan kondisi ini berpengaruh terhadap operasional dari kompresor. Dengan adanya *boundary layer* yang melekat pada *impeller tip*, maka seluruh diameter impeller akan secara efektif digunakan. Ketika laju aliran volume gas berkurang, *boundary layer* pada *impeller tip* mulai mengalami kondisi tidak stabil. Kondisi tidak stabil ini menyebabkan diameter efektif dari impeller berkurang. Head sebanding dengan diameter impeller, maka ketika *boundary layer* pada *impeller tip* berkurang, maka kemampuan impeller untuk mempercepat aliran gas semakin berkurang. Dengan berkurangnya efektivitas dari permukaan impeller, maka gas dan tekanan yang dibutuhkan untuk mencapai suatu rasio tekanan tertentu pun akan berkurang, sehingga terjadi kondisi *surge*. Dengan kata lain, surge merupakan suatu kondisi dimana kompresor tidak mampu mengalirkan gas pada tekanan tertentu.[4]

Sistem pengontrolan surge secara terintegrasi terpasang dengan *compressor yard valve system* dan terdapat *bypass loop* yang berfungsi untuk jalur yang memungkinkan aliran gas keluaran kompresor untuk kembali masuk ke sistem kompresor. Seperti yang terlihat pada gambar 3.11 sistem pengontrolan *surge* terdiri dari *surge control valve*, *surge controller*, *flow transmitter*, serta sensor tekanan pada bagian *suction* dan *discharge* kompresor. Sistem ini sensitif terhadap aliran dan *pressure differential* pada kompresor.

### 17. Sistem pengontrolan *surge*

Perbedaan tekanan dan aliran yang tercatat pada transmitter kemudian akan dibandingkan dengan *pre-surge control line*. *Pre-surge control line* letaknya 10 – 15% dari *surge limit line*. Ketika transmitter pengukur tekanan dan aliran mengindikasikan bahwa kompresor berada pada sebelah kiri dari *pre-surge control line*, maka *surge control line* akan mengirimkan sinyal untuk membuka katup. Gas kemudian akan mengalir melalui *surge control valve* dan bercampur dengan gas yang akan masuk ke kompresor. Ketika gas yang mengalir telah stabil, maka *surge control valve* akan ditutup.



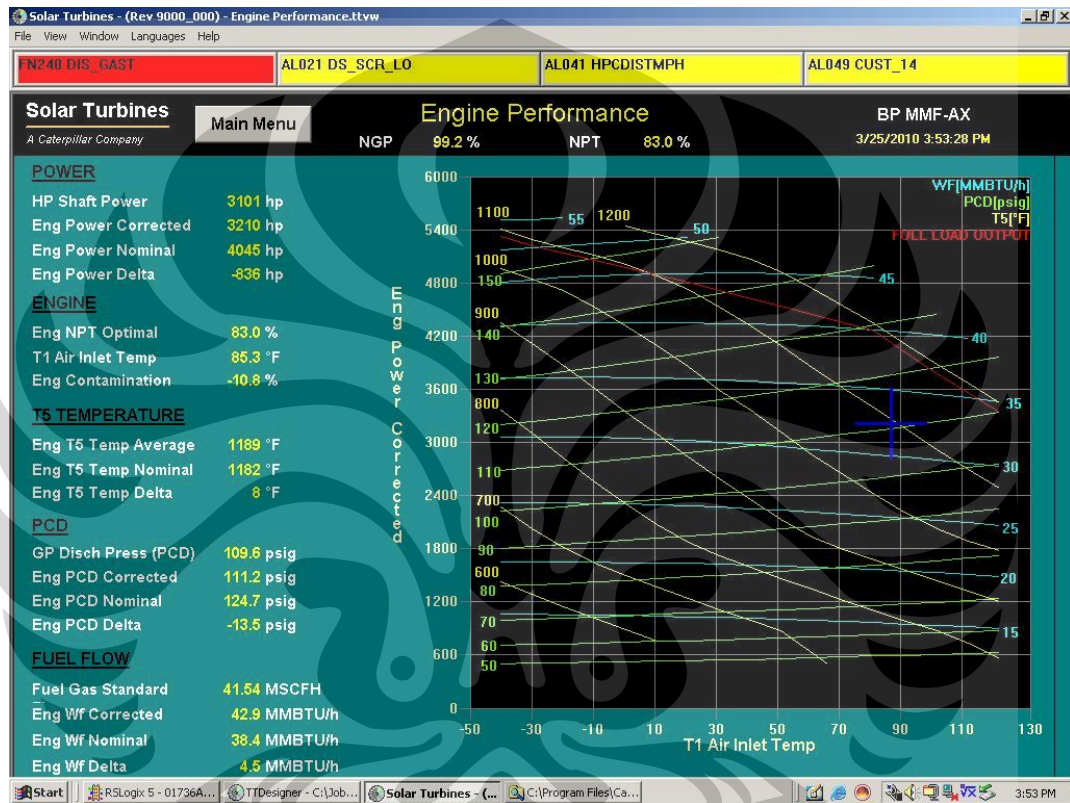
**Gambar 3.12** Sistem pengontrolan surge

## BAB 4

### PERHITUNGAN DAN ANALISA

#### 4.1 Penjelasan Grafik Operasional point

##### 4.1.1 Grafik Operasional Enveloped dilapangan untuk Turbin Gas AX



**Grafik 4.1** Grafik operasional Enveloped

Grafik desain point Turbin gas AX dilapangan ini merupakan salah satu grafik yang nanti akan digunakan sebagai pembandingan untuk data hasil perhitungan (Teoritis) maupun data-data aktual hasil pengukuran dilapangan. Nilai-nilai yang terbaca sebagai berikut:

$$T_0 = 87^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Power Output} = 3210 \text{ horse power}$$

$$T_5 = 1182^{\circ}\text{F}$$

$P_{cd}=P_2= 111.2 \text{ psig}=772.21\text{kPa}$ .

#### 4.1.2 Grafik Operasional Enveloped dilapangan untuk Turbin Gas BX



Grafik 4.2 Grafik  $T_0$  Voperasional Enveloped

Nilai-nilai Grafik desain point dilapangan dimana, nilai yang terbaca pada Grafik BX ini :

$$T_0 = 88 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Power Output=2450 horse power

$$T_5 = 1111 \text{ } ^\circ\text{F}$$

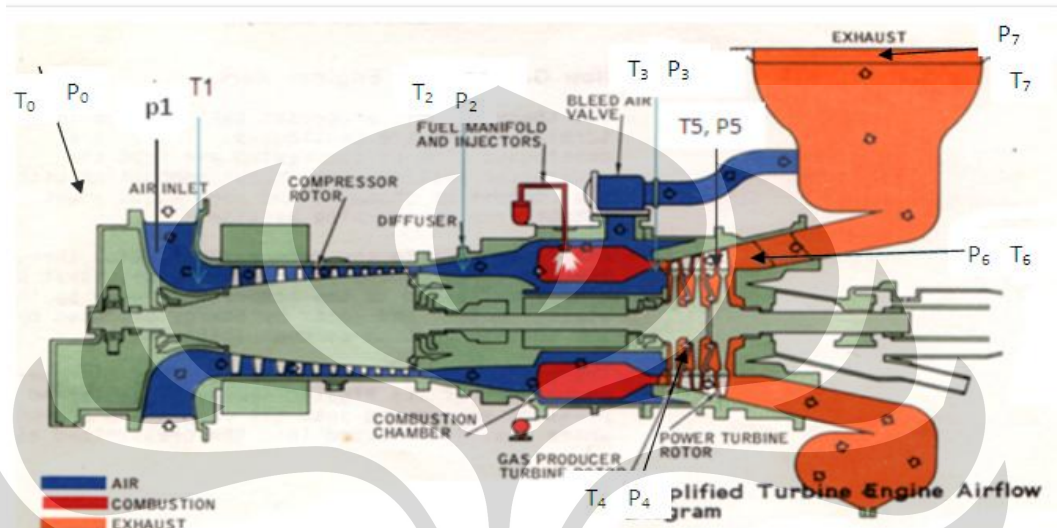
$$P_{cd}=P_2= 105.4 \text{ psig}=726.705 \text{ kPa}$$

#### 4.2 Perhitungan data Operasional dilapangan

Pengolahan data operasional dilapangan untuk turbin gas centour tipe T-4702. Data-data tersebut dihasilkan dari Pencatatan kerja operasional satu hari 4 kali yaitu pada pukul 05.00, pukul 11.00, pukul 17.00 dan pukul 23.00.



Pengambilan data dilakukan selama 2 bulan yaitu pada bulan pebruari dan bulan maret. Dibawah ini merupakan perhitungan untuk mencari data-data yang tidak diketahui yang didapat dari data-data yang diukur dilapangan sehingga ketika sudah diketahui semua nilai-nilai tersebut maka data ini digunakan untuk analisis dan pembuatan grafik-grafik karakteristik.



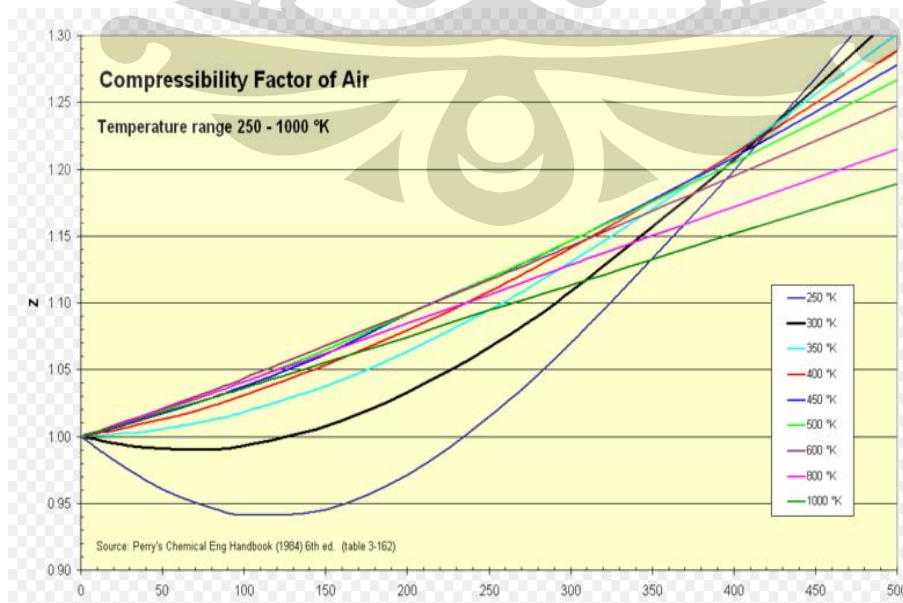
Gambar 4.1 Posisi penempatan parameter pada turbin gas T-4702

#### 4.2.1 Perhitungan Data Operasional AX

Contoh perhitungan untuk Turbin gas centour tipe T-4702 AX data diambil pada tanggal 16 pebruari pukul 17.00 WIB.

NO	Parameter	S1	British
1	$T_0=T_1$	302.59K	85.262 °F
2	$P_0=P_1$	100.13 kPa	29.2187 psia
3	$P_2=P_{cd}$	751.5256 kPa	123.696 psia
4	Speed PT	14043 rpm	
5	$T_5$	898.70 K	1158.26 °F
6	spesifik gravity udara(SG)		0.073 lb/ft <sup>3</sup>
7	faktor kompresibilitas udara(Z)	0.999	
8	$\gamma$ udara		1.4
9	$\gamma$ gas		1.272
10	Cp udara	1.009(kJ/kg K)	
11	Cp gas	1.147(kJ/kg K)	

Temperature - t - (°F)	Specific Weight - γ - (lb/ft <sup>3</sup> ) × 10 <sup>-2</sup>
-40	9.456
-20	9.026
0	8.633
10	8.449
20	8.273
30	8.104
40	7.942
50	7.786
60	7.636
70	7.492
80	7.353
90	7.219
100	7.090
120	6.846
140	6.617



Gambar 4.2 grafik faktor kompresibilitas

Berikut merupakan perhitungan untuk mencari aliran pada turbin gas T-4702 :

$$\dot{m} = \frac{Q \times \rho}{60}$$

Nilai densitas dari udara, yaitu:

$$\rho = \frac{144 \times P_1 \times SG}{53,35 \times Z \times T_1}$$

$$\rho = \frac{144 \times 29.2451 \times 0,073}{53,35 \times 0,999 \times (85.2699 + 459,67)} = 0,0105$$

Sehingga nilai aliran massa dari kompresor C5054 ialah :

$$\dot{m} = \frac{196752,73 \times 0,0105}{60} = 34,32 \text{ lb/s}$$

$$\dot{m} = 34,32 \text{ lb/s} \times \frac{1}{2,2046} = 15,74 \text{ kg/s}$$

Berikut merupakan perhitungan untuk mencari aliran pada turbin gas T-4702 :

$$\dot{m} = \frac{Q \times \rho}{60}$$

Nilai densitas dari udara, yaitu:

$$\rho = \frac{144 \times P_1 \times SG}{53,35 \times Z \times T_1}$$

$$\rho = \frac{144 \times 29.2451 \times 0,073}{53,35 \times 0,999 \times (85.2699 + 459,67)} = 0,0105$$

Sehingga nilai aliran massa dari kompresor C5054 ialah :

$$\dot{m} = \frac{196752,73 \times 0,0105}{60} = 34,32 \text{ lb/s}$$

$$\dot{m} = 34,32 \text{ lb/s} \times \frac{1}{2,2046} = 15,74 \text{ kg/s}$$

Jawab:

$$T_2 = T_0 \times \left[ \left( \frac{P_2}{P_0} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} \right]$$

$$T_2 = 302.59x \left[ \left( \frac{751.5256}{100.312} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} \right]$$

$$T_2 = 537.92 \text{ K}$$

Kerja yang dilakukan oleh kompresor aksial dimana:

$$W = \dot{m}x C_p x \Delta T_{02}$$

$$w = C_p x \Delta T_{02} = C_p x \Delta T_{35}$$

$$w = 1,009x(537.92 - 302.59)$$

$$w = 237.44$$

$$\Delta T_{35} = \frac{w}{C_p}$$

$$\Delta T_{35} = \frac{237.44}{1.147}$$

$$\Delta T_{35} = 207.009 \text{ K}$$

$$T_3 = 207.009 + 900.372$$

$$T_3 = 1107.38 \text{ K}$$

Pressure drop dari Turbin gas Centaur T-4702 adalah 0,02

$$P_3 = P_2 - (0.02xP_2)$$

$$P_3 = 758.42 - (0.02x758.42)$$

$$P_3 = 736.25 \text{ kPa}$$

$$T_3 = T_5 x \left[ \left( \frac{P_3}{P_5} \right)^{\frac{1.27-1}{1.27}} \right]$$

$$P_5 = \frac{P_3}{\left( \frac{T_3}{T_5} \right)^{4.716}}$$

$$P_5 = \frac{736.25}{\left( \frac{1107.38}{900.372} \right)^{4.716}}$$

$$P_5 = 275.5 \text{ kPa}$$

$$T_5 = T_6 x \left[ \left( \frac{P_5}{P_6} \right)^{\frac{1.27-1}{1.27}} \right]$$

$$T_6 = \frac{T_5}{\left( \frac{P_5}{P_6} \right)^{\frac{1.27-1}{1.27}}}$$

$$T_6 = \frac{900.37}{\left( \frac{275.5}{160.12} \right)^{\frac{1.27-1}{1.27}}}$$

$$T_6 = 769.45 \text{ K}$$

$$W_{Pt} = m \cdot c_p \cdot \Delta T_{56}$$

$$W_{Pt} = 15.74 \times 1.147 \times (900.37 - 769.45)$$

$$W_{Pt} = 2363.60 \text{ kW}$$

$$W_{Pt} = 3167 \text{ Horse Power}$$

#### 4.2.2 Perhitungan data Operasional BX

Perhitungan operasional Turbin gas BX pada tanggal 16 pebruari.

NO	Parameter	S1	British
1	$T_0=T_1$	301.48K	83.27 °F
2	$P_0=P_1$	100.13 kPa	29.2187 psia
3	$P_2=P_{cd}$	696.36773 kPa	115.696 psia
4	Speed PT	13996.5 rpm	
5	$T_5$	848.15 K	1067.27 °F
6	spesifik gravity udara(SG)		0.0731 lb/ft3
7	faktor kompresibilitas udara(Z)	0.999	
8	$\gamma$ udara		1.4
9	$\gamma$ gas		1.272
10	Cp udara	1.009(kJ/kg K)	
11	Cp gas	1.147(kJ/kg K)	

Berikut merupakan perhitungan untuk mencari aliran pada turbin gas T-4702 :

$$\dot{m} = \frac{Q \times \rho}{60}$$

Nilai densitas dari udara, yaitu:

$$\rho = \frac{144 \times P_1 \times SG}{53,35 \times Z \times T_1}$$

$$\rho = \frac{144 \times 29.2451 \times 0,073}{53,35 \times 0,999 \times (83.27 + 459,67)} = 0.010629$$

Sehingga nilai aliran massa dari kompresor C5054 ialah :

$$\dot{m} = \frac{180730.29 \times 0,01062}{60} = 32,02 \text{ lb/s}$$

$$\dot{m} = 32,02 \text{ lb/s} \times \frac{1}{2,2046} = 14.52 \text{ kg/s}$$

Jawab:

$$T_2 = T_0 \times \left[ \left( \frac{P_2}{P_0} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} \right]$$

$$T_2 = 301.48x \left[ \left( \frac{696.36}{100.312} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} \right]$$

$$T_2 = 524.41 \text{ K}$$

Kerja yang dilakukan oleh kompresor aksial dimana:

$$W = \dot{m}x C_p x \Delta T_{02}$$

$$w = C_p x \Delta T_{02} = C_p x \Delta T_{35}$$

$$= 1,009x(524.41 - 301.48)$$

$$w = 224.93$$

$$\Delta T_{35} = \frac{w}{C_p}$$

$$\Delta T_{35} = \frac{224.93}{1.147}$$

$$\Delta T_{35} = 196.11 \text{ K}$$

$$T_3 = 196.11 + 848.15$$

$$T_3 = 1044.26 \text{ K}$$

Pressure loss dari turbin gas Centaur T-4702 pada combustor chamber adalah 0,02

$$P_3 = P_2 - (0.02xP_2)$$

$$P_3 = 696.36 - (0.02x696.36)$$

$$P_3 = 682.4404 \text{ kPa}$$

$$T_3 = T_5 \times \left[ \left( \frac{P_3}{P_5} \right)^{\frac{1.27-1}{1.27}} \right]$$

$$P_5 = \frac{P_3}{\left( \frac{T_3}{T_5} \right)^{4.716}}$$

$$P_5 = \frac{682.44}{\left( \frac{1044.26}{848.15} \right)^{4.716}}$$

$$P_5 = 255.88 \text{ kPa}$$

$$T_5 = T_6 \times \left[ \left( \frac{P_5}{P_6} \right)^{\frac{1.27-1}{1.27}} \right]$$

$$T_6 = \frac{T_5}{\left( \frac{P_5}{P_6} \right)^{\frac{1.27-1}{1.27}}}$$

$$T_6 = \frac{848.15}{\left( \frac{255.88}{160.12} \right)^{\frac{1.27-1}{1.27}}}$$

$$T_6 = 741.83 \text{ K}$$

$$W_{Pt} = m \cdot c_p \cdot \Delta T_{56}$$

$$W_{Pt} = 14.52 \times 1.147 \times (848.15 - 741.83)$$

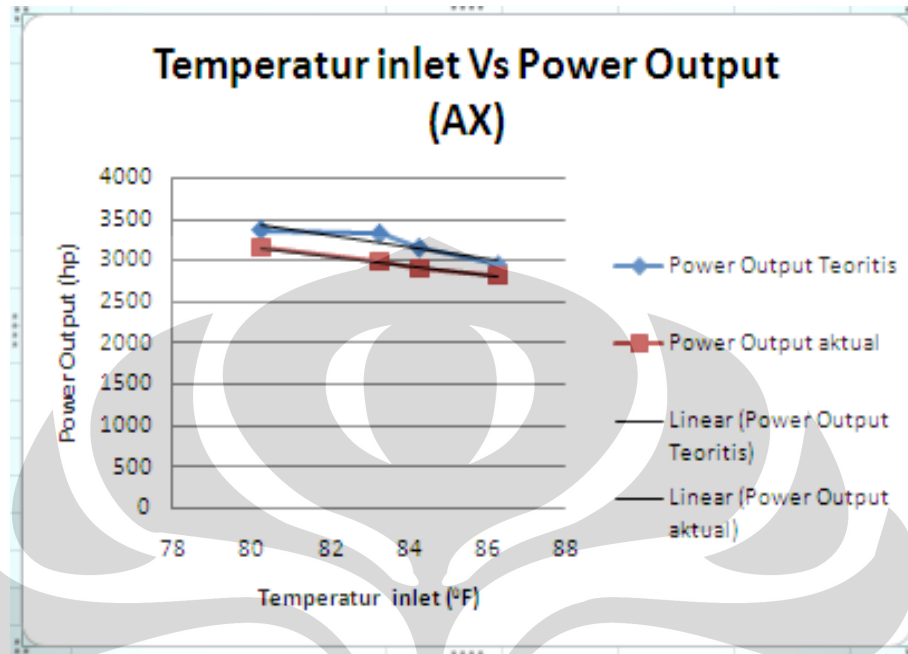
$$W_{Pt} = 1771 \text{ kW}$$

$$W_{Pt} = 2373.14 \text{ Horse Power}$$



### 4.3 Grafik-grafik karakteristik dan analisis

#### 4.3.1 Grafik $T_0$ Vs Power Output AX ( Power Teoritis dan Power aktual)



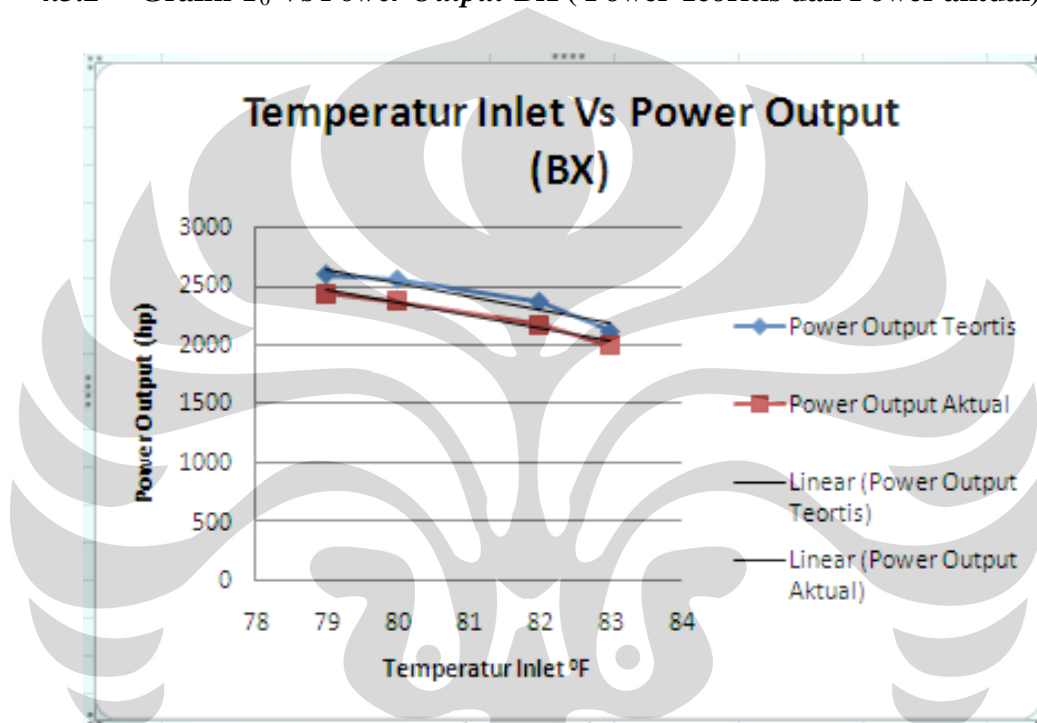
Grafik 4.3 Grafik  $T_0$  Vs Power Output AX

Temperatur inlet(°F)	80.27	83.27	84.27	86.27
Power Output Teoritis (hp)	3370.69	3327	3162.97	2958.52
Power Output aktual (hp)	3163	3000	2900	2825

Grafik  $T_0$  Vs Power Output turbin gas AX bisa kita lihat untuk garis warna biru merupakan Power Output Teoritis yang dihitung dari parameter-parameter yang diketahui menggunakan rumus termodinamika yang ada, untuk perhitungan Power tersebut dan untuk garis warna merah merupakan Power Output aktual yang dihasilkan dari pengukuran dilapangan. Dari grafik tersebut bisa kita lihat bahwa power output yang dihitung atau teoritis berada pada kisaran 2958.52-3370.694 horse power dan ini sangat mendekati dengan grafik operasional yang ada pada Perusahaan X tersebut dan masih dibawah grafik operasional point. Kita lihat dari grafik tersebut menunjukkan bahwa Power output aktual berada dibawah power output teoritis, hal ini disebabkan karena pada proses perhitungan teoritis tidak mempertimbangkan perhitungan variable-variable lain yang ada dilapangan yang mendukung terhadap peforma aktual dari turbin gas ini seperti

getaran(vibration), kontaminan-kontaminan pada fuel setiap waktunya, perubahan kelembaban udara sekitar dan lain-lain yang menyebabkan perhitungan teoritis berada dibawah power output aktual. kita bisa lihat pula dari kedua garis aktual dan operasional yang menunjukkan tren antara  $T_0$  dengan power Output berbanding terbalik yang mana semakin rendah temperatur inlet yang masuk maka power yang dihasilkan semakin besar.

#### 4.3.2 Grafik $T_0$ Vs Power Output BX ( Power Teoritis dan Power aktual)



Grafik 4.4 Grafik  $T_0$  Vs Power Output BX

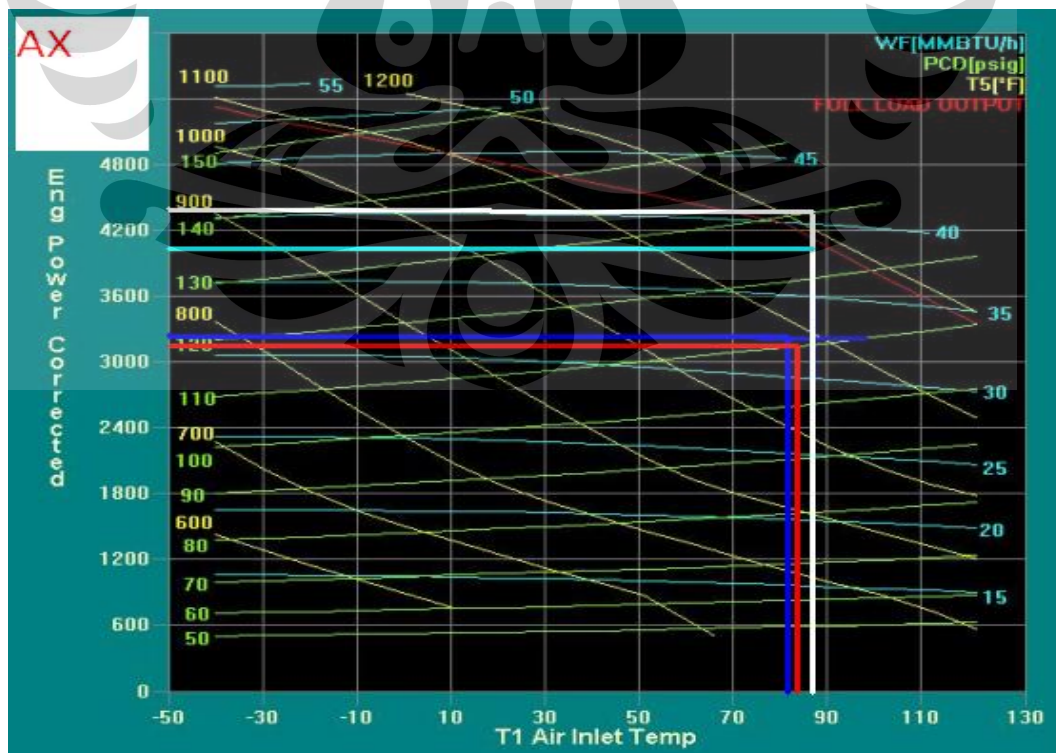
Temperatur inlet(°F)	79	80	82	83
Power Output Teoritis(hp)	2604	2563	2373.84	2120.51
Power Output aktual(hp)	2444	2378	2180	2002

Grafik BX perbandingan antara  $T_0$  Vs Power Output seperti yang kita lihat untuk garis warna biru merupakan power output teoritis atau dari hasil perhitungan dan untuk warna merah menunjukkan kerja aktual dilapangan. Power Output Teoritis maupun aktual hasil pengukuran dilapangan memiliki range dan tren yang sama dimana range nilai Power Output BX ini berada pada 2100-2600 horse power, dan nilai range ini masih dalam toleransi grafik operasional point yang telah dijelaskan

pada grafik sebelumnya. Dari tren yang kita lihat cenderung berbanding terbalik antara  $T_0$  Vs Power Output dimana untuk kedua garis tersebut antara power teoritis dengan power output aktual menunjukkan tren yang sama jadi ketika nilai dari  $T_0$  besar maka Power yang dihasilkan cenderung lebih kecil begitu juga sebaliknya sama dengan AX sebelumnya. Kita lihat dari grafik sama dengan AX dimana menunjukkan bahwa Power output aktual berada dibawah power output teoritis, hal ini disebabkan karena pada proses perhitungan teoritis kita tidak mempertimbangkan perhitungan variable-variable lain yang ada dilapangan yang mendukung terhadap performa aktual dari turbin gas ini seperti getaran(vibration), kontaminan-kontaminan pada fuel setiap waktunya, perubahan kelembaban udara sekitar dan lain-lain yang menyebabkan perhitungan teoritis lebih besar dari aktual.





#### 4.3.3 Grafik AX *Acceptance Test, Power Output Corrected* dilapangan dan kerja operasional dilapangan

Hasil Plot grafik desain point *Acceptance Test* dibandingkan dengan kinerja dilapangan atau operasi dilapangan data diambil pada tanggal 17 pebruari pukul 05.00(pagi) dan pukul 17.00(sore).



**Grafik 4.5.** Grafik AX *Acceptance Test, Power Output Corrected* dilapangan dan kerja operasional dilapangan

Ket :

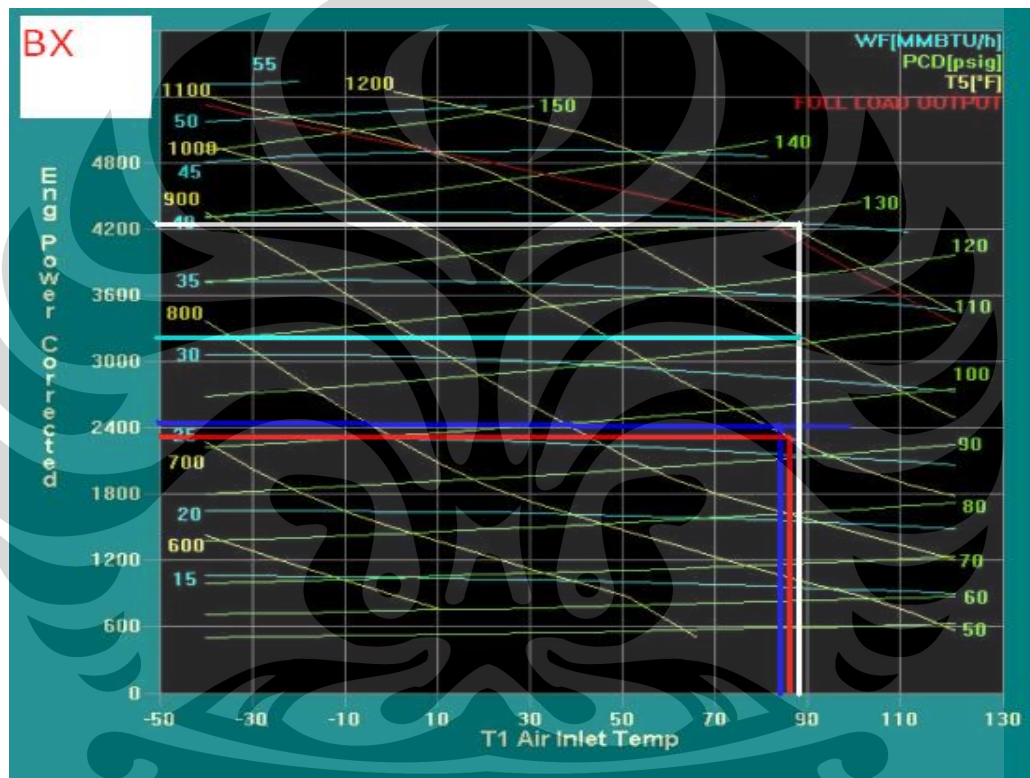
-  : Garis pada saat acceptance test ( *Test cell* )
-  : Garis power output maksimal(power corrected) dilapangan
-  : Garis Operasional di pagi hari pukul 05.00
-  : Garis Operasional di sore hari pukul 17.00

Dari grafik diatas kita bisa dilihat untuk garis putih merupakan garis pada saat *acceptance test(test cell)* sebelum turbin gas dibawa kelapangan pada saat overhoule menunjukkan mesin menghasilkan power output maksimal pada nilai 4350 horse power, dan kita bisa lihat untuk garis warna biru langit merupakan nilai kerja maksimum dilapangan(*off shore*) hanya mencapai sekitar 4200 horse power hal ini disebabkan pengaruh lingkungan di laut yang relative lebih lembab, temperatur udara inlet yang lebih besar dan ketinggian dari installation sendiri 10 fit yang menyebabkan daya maksimal hanya 4200 horse power. Daya ini akan kita jadikan acuan untuk melihat peforma dari turbin set ini yang akan kita bandingkan dengan kerja turbin gas setiap waktunya. Warna biru yang menunjukkan kinerja turbin gas di pagi hari menunjukkan Power output turbin gas berada pada nilai sekitar 3200 horse power dan daya yang dihasilkan cenderung lebih besar dari pada warna merah( kinerja sore hari). Hal ini disebabkan karena temperatur udara dipagi hari yang lebih dingin akan menghasilkan daya yang lebih tinggi karena ketika temperatur lebih dingin maka kerapatan udara ambient lebih rapat sehingga mass flow udara lebih besar karena pada saat udara memasuki kompresor aksial dihasilkan tekanan yang lebih besar pada *diffuser* (daerah sebelum masuk ke daerah *combustion chamber* atau  $P_2$ ) sehingga ketika tekanan ini besar maka daya yang dihasilkan pun akan lebih besar daripada sore hari dimana temperatur udara pada sore hari lebih tinggi daripada temperatur dipagi hari dengan demikian kerapatan udara pun lebih renggang yang menyebabkan daya yang dihasilkan lebih kecil. Dari grafik diatas kita lihat bahwa kerja turbin gas dipagi hari dan sore hari masih dibawah kerja maksimal yang bisa dikerjakan

oleh turbin gas AX tersebut maka untuk turbin gas ini bisa dikatakan mesin yang bagus dan aman.

#### 4.3.4 Grafik BX Acceptance Test, Power Output Corrected dilapangan dan kerja operasional dilapangan

Hasil Plot grafik desain point *Test Cell* dibandingkan dengan kinerja dilapangan atau operasi dilapangan data diambil pada tanggal 17 maret pukul 05.00(pagi) dan pukul 17.00(sore).



Grafik 4.6 Grafik BX Acceptance Test, Power Output Corrected dilapangan dan kerja operasional dilapangan

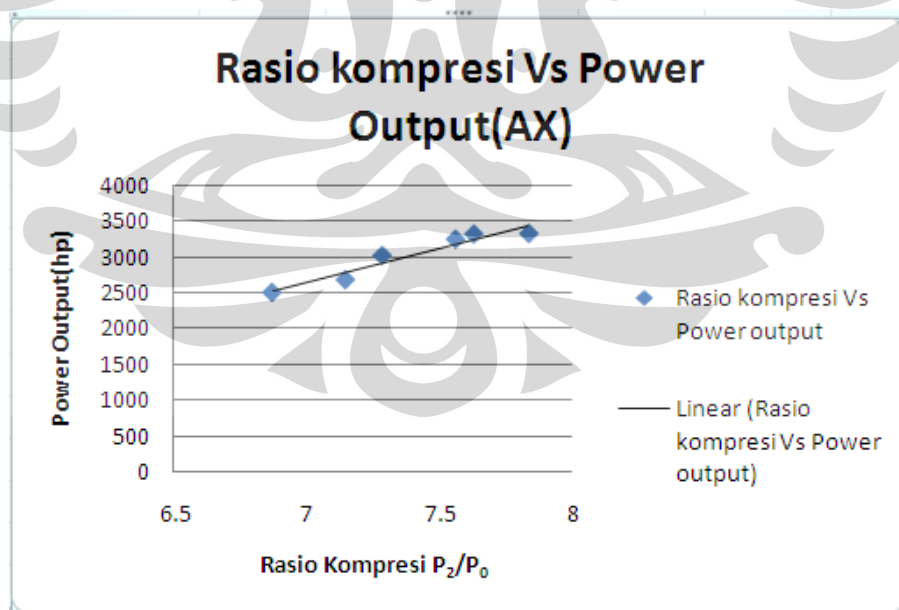
Ket :

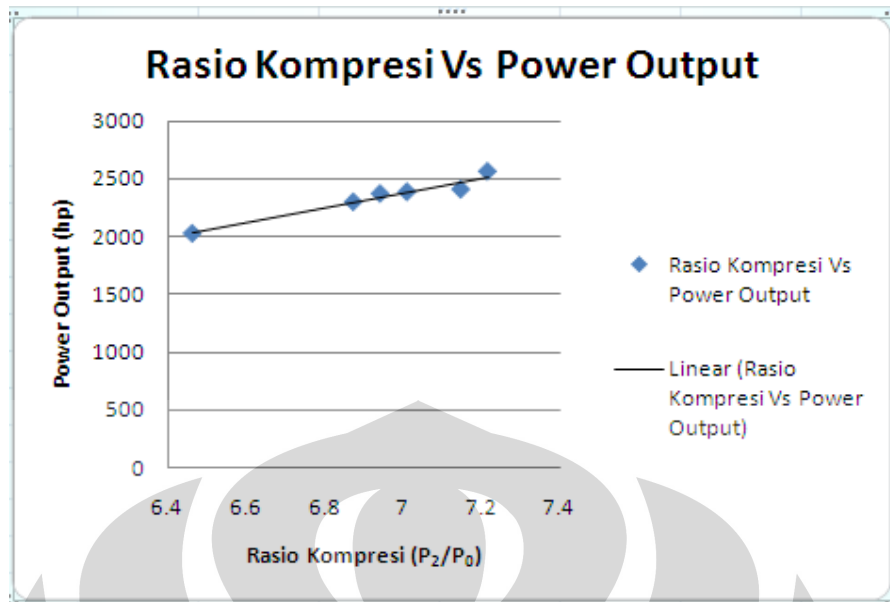
- : Garis pada saat acceptance test ( *Test cell* )
- : Garis power output maksimal(power corrected) dilapangan
- : Garis Operasional di pagi hari pukul 05.00
- : Garis Operasional di sore hari pukul 17.00



Untuk grafik BX diatas ini juga merupakan turbin gas tipe T-4702 dan untuk hasil acceptance test turbin ini sama dengan turbin AX yaitu 4300 horse power namun untuk daya maksimum yang bisa dicapai dilapangan offshore hanya 3200 horse power hal ini disebabkan pensettingnan untuk BX atau tidak *fully depeloved* hanya 3200 horse power yang disesuaikan dengan fungsi kompresor sentrifugal BX yaitu meneruskan tekanan gas sehingga daya yang dibutuhkan lebih kecil daripada AX. Untuk kondisi di pagi hari power output operasional berada pada nilai 2400 horse power dan secara umum ppower output pagi hari lebih besar daripada kerja yang dihasilkan sore hari. Hal ini sama dengan kondisi AX yang disebabkan oleh temperatur ambient pada kondisi tersebut. Dan kita bisa lihat bahwa daya yang dihasilkan siang hari dan sore hari masih dibawah nilai daya maksimal untuk turbin AX ini sehingga untuk turbin gas ini bisa dikatakan masih aman atau dalam kondisi baik. Selain itu kita bisa lihat bahwa power output untuk turbin BX jauh lebih kecil dari pada turbin AX karena untuk BX ini memutar kompresor sentrifugal yang memiliki beban yang lebih kecil dari kompresor sentrifugal yang digerakan oleh turbin AX.

#### 4.3.5 Grafik Rasio kompresi vs *Power Output*(AX dan BX)

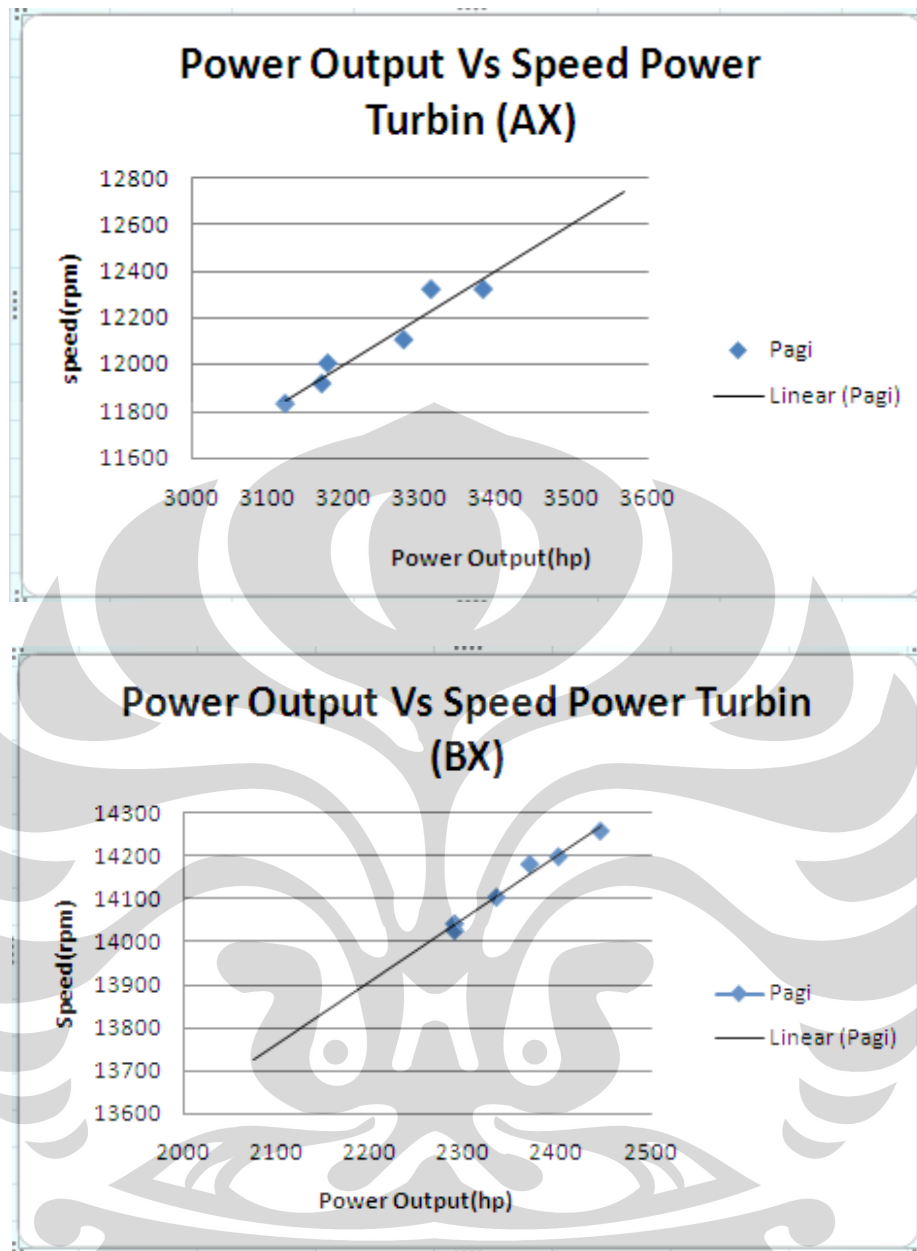




**Grafik 4.7** Grafik Rasio kompresi vs Power Output (AX dan BX)

Dari kedua grafik diatas AX dan BX kita bisa lihat tren keduanya antara rasio kompresi dan daya output yang dihasilkan sama yaitu merupakan tren yang sebanding yang mana besarnya rasio kompresi menentukan daya atau power output yang dihasilkan oleh turbin gas AX dan BX ini. Maka ketika turbin tersebut memiliki tekanan keluaran dari aksial yang lebih besar atau  $P_2$  maka daya yang dihasilkan akan lebih besar begitu juga sebaliknya, hal ini disebabkan karena ketika udara yang telah dikompresi di kompresor aksial memiliki tekanan yang besar lalu bercampur dengan fuel dan kemudian udara yang telah bercampur tersebut masuk ke combustion chamber akan menghasilkan pembakaran yang lebih baik sehingga menyebabkan nilai entropy besar sehingga pada saat udara hasil pembakaran yang akan melewati 2 turbin *Gas Production (GP)* dan 1 *Power Turbin (PT)* gas tadi akan menumbuk blade-blade turbin tersebut dengan momentum yang lebih besar sehingga menghasilkan Power output yang besar pula. Bisa kita lihat untuk grafik AX menunjukkan power output berada dikisaran 2500-3400 house power yang mana turbin gas AX ini memutar kompresor sentrifugal dengan beban yang lebih tinggi daripada BX sehingga untuk turbin gas BX Power output hanya berada pada kisaran 2050-2500 house power.

#### 4.3.6 Power Output Vs PT Speed (AX dan BX)



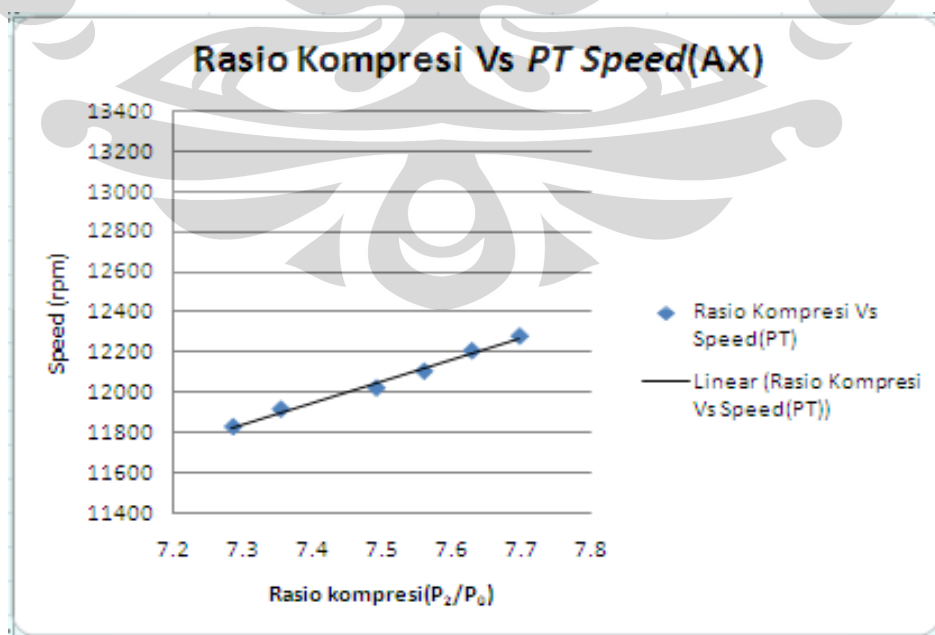
**Grafik 4.8** Power Output Vs *PT Speed* (AX dan BX)

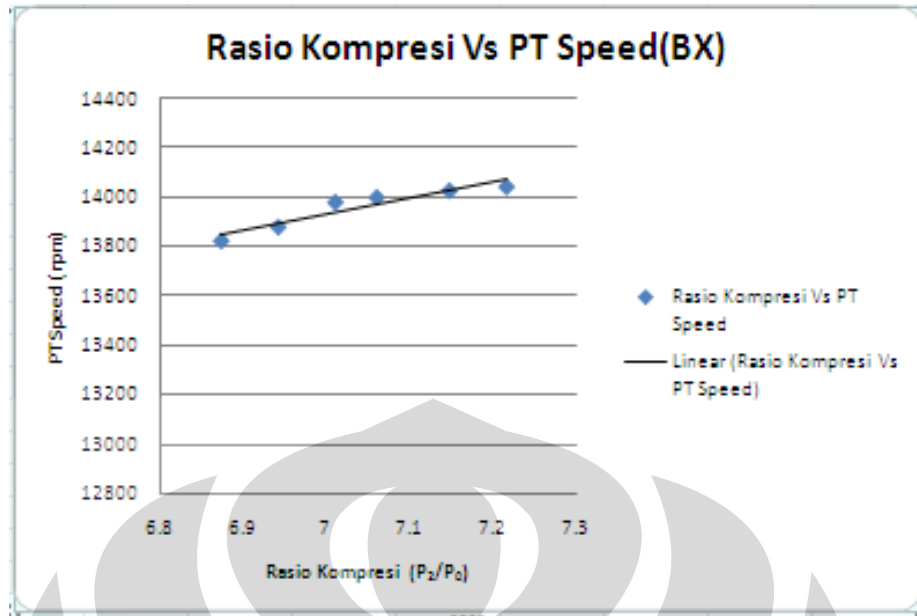
Dari kedua grafik diatas menunjukkan Power Output dan Putaran *Power Turbin*(PT) yang sebanding dimana akan dihasilkan putaran pada PT yang besar apabila dihasilkan power yang besar dari turbin tersebut(Speed pada beban seperti itu). Hal ini merupakan fenomena yang sangat mendasar karena ketika power yang dihasilkan besar maka udara akan menumbuk blade-blade dari turbin tersebut sehingga dari sana timbul momentum yang menyebabkan gaya aksi reaksi antara udara dan permukaan blade turbin sehingga timbulah kecepatan putaran dari blade tersebut dan terjadi perubahan energi kinetik menjadi impuls



dimana impuls tersebut menghasilkan gaya, gaya dan adanya jari-jari blade menghasilkan torsi sehingga menghasilkan daya/power yang besar, dan fenomena dari grafik ini sangat mungkin sekali, baik untuk AX dan BX dimana Power output merupakan fungsi dari speed. Dari grafik diatas bisa dilihat untuk AX memiliki *PT speed* berada pada kisaran 11900-12300 rpm dengan Power output dikisaran 3150-3400 house power, *PT speed* dari turbin AX memang lebih kecil apabila dibandingkan dengan turbin gas BX yang mana kisaran nilai speed PT untuk turbin BX adalah 14000-14250 rpm dengan power output berada pada 2300-2500 house power hal ini disebabkan karena turbin gas AX memutar kompresor sentrifugal C505 yang memiliki ukuran besar karena mengkompresi gas alam yang memiliki tekanan masuk 80 Psia (450,254 kPa) dan diharapkan tekanan keluar 239,5 Psia (1549,97 kPa) sehingga memerlukan power output yang lebih besar. Lain halnya dengan tubin gas BX yang memutar kompresor sentrifugal C306 yang meneruskan tekanan discharge tadi dari kompresor sentrifugal C505 dengan Tekanan masuk 239,5 Psia (1549,97 kPa) dan Tekanan keluar 700 Psia (4724,99 kPa) sehingga power output yang dibutuhkan lebih kecil daripada turbin gas AX.

#### 4.3.7 Grafik Rasio Kompresi Vs PT Speed (AX dan BX)





**Grafik 4.9** Grafik Rasio Kompresi Vs *PT Speed* (AX dan BX)

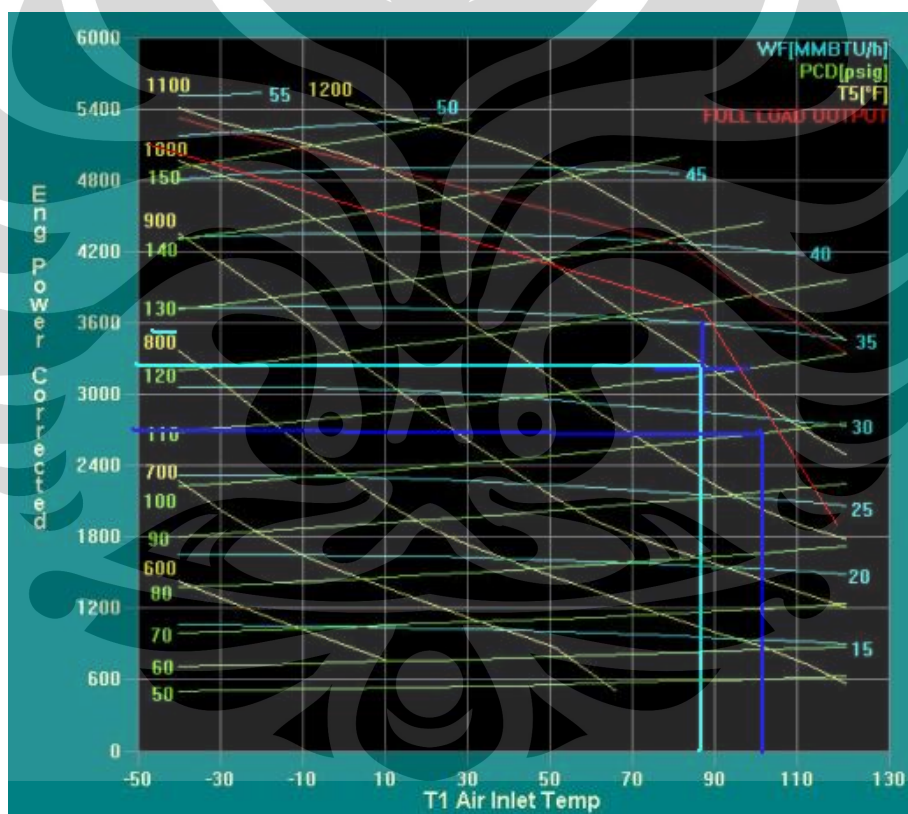
Dari kedua grafik diatas kita bisa lihat baik grafik AX maupun BX memiliki tren yang naik atau sebanding pada proses pada saat itu. Ketika rasio kompresi besar maka speed dari Power Turbin(P<sub>T</sub>) akan semakin besar pula hal ini disebabkan pada saat rasio kompresi besar maka nilai P<sub>cd</sub> atau P<sub>2</sub> besar dan ini menyebabkan pembakaran pada combustion chamber lebih baik, seperti kita ketahui bahwa prinsip kerja dari turbin gas dimana udara yang bertekanan tinggi atau pada saat keluar dari P<sub>cd</sub> udara tersebut bercampur dengan fuel kemudian mengalami proses pembakaran pada combustion chamber. Pembakaran akan lebih baik jika tekanan gas yang masuk pada combustion chamber tinggi karena disana akan dihasilkan temperature T<sub>5</sub> yang lebih tinggi sehingga entropy besar pula, beda halnya apabila tekanan P<sub>cd</sub> lebih kecil maka akan dihasilkan nilai T<sub>5</sub> yang lebih rendah sehingga daya yang dihasilkan kecil yang menyebabkan speed dari Power Turbin(P<sub>T</sub>) lebih rendah.

#### 4.4 Contoh Kasus

Contoh kasus Penurunan performance engine yang dikarenakan engine temperature topping. Akan berdampak pada penurunan debit aliran gas dari compressor.

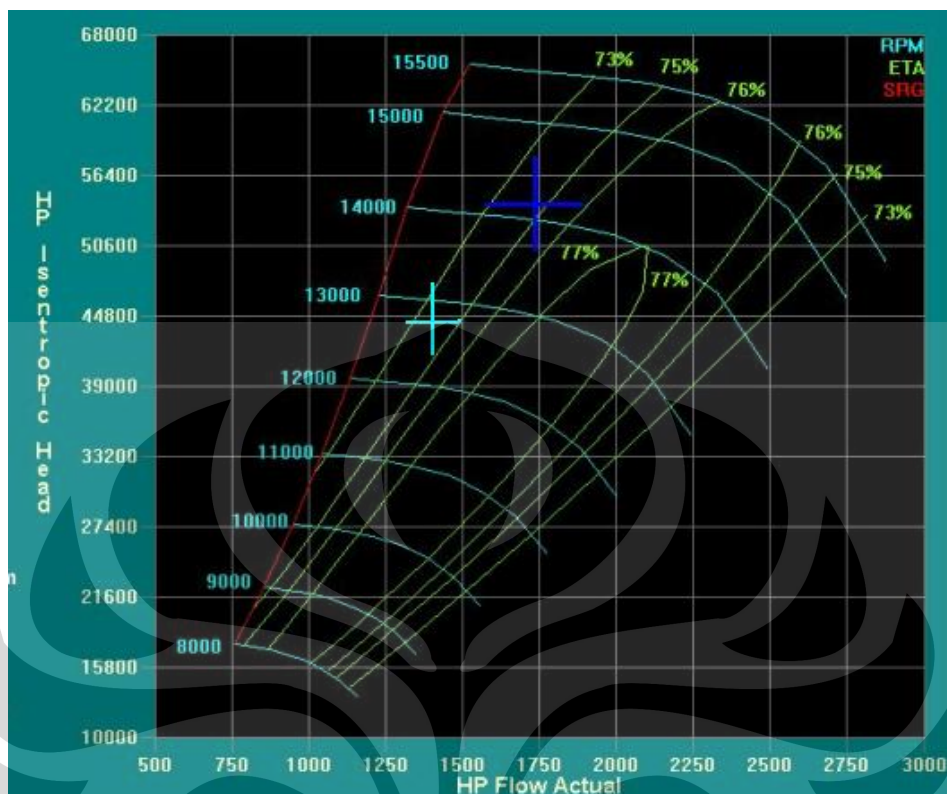
Parameter besar	Kondisi Normal	Topping temperatur
$T_0(^{\circ}\text{F})$	97	82
Pcd(psia)	110	125
$T_5(^{\circ}\text{F})$	1950	1100
Power output(hp)	3300	2600

Grafik Turbin gas



Grafik 4.10 Grafik Turbin Gas Kinerja normal Vs *Topping temperatur*

## Grafik Kompresor Sentrifugal



**Grafik 4.11** Grafik kompresor sentrifugal Kinerja normal Vs *Topping temperatur*

Kita bisa dilihat dari kedua grafik diatas yang mana menunjukkan untuk grafik turbin gas dan grafik kompresor sentrifugal, disana kita bisa lihat bahwa perubahan kinerja turbin gas sangat berpengaruh terhadap kinerja dari kompresor sentrifugal. Pada saat kinerja turbin gas bekerja pada kondisi normal yaitu pada power output 3300 hp maka akan dihasilkan isentropic head sebesar 14100 dan actual flow yang 1700 dan ketika kinerja menurun akibat tooping temperatur, dan Pcd kecil dari kondisi normal maka power output menurun sekitar 2600 hp sehingga dihasilkan isentropic head 12700 dan flow actual 1300. Kita bisa lihat terjadi Head dan flow yang besar pada kompresor sentrifugal ketika kinerja turbin gas menurun yaitu dari 3300 ke 2600 karena topping temperatur.

### Saran

Untuk menanggulangi kondisi topping temperatur maka perlu dilakukan pembersihan pada sudu-sudu engine compressor (axial) dan GP maupun PT

turbin. Blade dari kotoran carbon atau debu dengan cara engine wash memakai chemical turco T-384 dan air sebagai pembilas. Bilas dengan air besi sampai hilang, hidupkan engine dan monitor semua parameter yang ada. Pada saat pada blade kompresor aksial kotor maka aliran udara akan tidak teratur karena permukaan blade kotor yang menyebabkan losses sehingga Pcd lebih kecil yang menyebabkan power output kecil pula.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Temperatur inlet( $T_0$ ) yang lebih kecil menghasilkan *Power output* yang lebih besar sehingga kinerja operasional dipagi hari cenderung lebih besar daripada sore hari karena temperatur udara dipagi hari lebih rendah sehingga memiliki densitas yang tinggi.
2. Dari hasil perhitungan dengan rumus empiris Power Output yang dihasilkan turbin gas AX dan BX berada pada nilai toleransi operasional enveloped.
3. Power output maksimal yang dihasilkan kedua turbin gas baik AX maupun BX berbeda ketika di warehouse (pada saat acceptance-test) dengan kinerja dilapangan *off-shore*, yang mana *Power output* maksimal keduanya di *off-shore* lebih kecil dibandingkan pada saat *acceptance-test*,
4. Selain karena perubahan temperatur, proses kerja fluktuatif bergantung kelembaban dimana semakin RH tinggi maka power output lebih rendah.

#### 5.2 Saran

1. Pemasangan cooler pada air inlet duct sehingga nilai  $T_0$  stabil.
2. Karena letak set turbin gas di laut, maka dibutuhkan filter yang lebih sensitif terhadap kelembaban udara di sekitar.
3. Dilakukan pergantian filter secara rutin 6 bulan sekali atau pada saat kerja turbin gas turun.
4. Proses kerja yang berubah-ubah set turbin gas, maka diperlukan perhatian yang lebih pada maintenance set turbin gas.
5. Posisi penempatan set turbin khususnya posisi air inlet duct jangan melawan arah aliran angin untuk menjaga kelebihan udara lembab

6. Melakukan pengecekan terhadap alat pengukuran parameter-parameter penting dan melakukan kalibrasi dengan rutin agar didapatkan data yang valid pada setiap pengukuran sehingga kita bisa mengetahui kondisi kinerja mesin kita dengan baik pada setiap waktunya dengan tujuan untuk menghindari break down ketika mesin sedang bekerja (running).



## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. “*Operational & Maintenance Centaut CS*”. Solar Turbines A Caterpillar Company
- [2]. David P. DeWitt(*Purdue University*). Michael J. Bruce R. Munson(*Iowa State University of Science and Technology*) Moran(*The Ohio State University*), Howard N. Shapiro(*Iowa State University of Science and Technology*), “*Introduction to Thermal Systems Engineering*”, ,
- [3]. Canhel, Yunus A, “ *Thermodynamics an Engineering Aproach*”. Boston: McGraw-Hill.1998.
- [4]. “*Gas compression Principles and Application*”. Solar turbin A Caterpillar
- [5] Sawyer, john W, “ *Sawyer’s Gas Turbine Engineering Handbook*”, Stamford: Gas Turbine Publication.Inc.1976.
- [6] Saprio, Leon,” *Centrifugal Gas Compressor Basic Aero-Thermodynamic Concept for Selection and Peformance Evaluation*”. San Diego : Solar Turbines Incorporated.
- [7] Walsh,P.P, “ *Gas Turbine Peformance Second Edition*”, UK: Blackwell Publishing.2004.
- [8] Cohen, H, “ *Gas Turbine Theory Third Edition*”,New York : longman Scientific & technical.1991
- [9] Brun, Klaus, “*Introduction To Gas Turbine Theory, An Overview of fundamental Concepts* “. Sollar Turbine A Caterpillar Company.



# LAMPIRAN

## Hasil Pengolahan data Operasional dan aktual Turbin Gas T-4702 AX

Konversi satuan:

1 horse power = 0.7457 kW

1 psig=6.894 kPa=0.0689 bar=1.068 atm

1 Fahrenheit =(9/5)\*(kelvin-273)+32

### 1. Temperatur udara lingkungan (T ambient) atau T inlet AX

Pebruari		T <sub>0</sub> =T <sub>1</sub> Turbin Gas (AX) dalam Kelvin(K)				Maret		T <sub>0</sub> =T <sub>1</sub> Turbin Gas (AX) dalam Kelvin(K)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00		
1	300.3722	300.9278	301.4833	298.15	1	300.9278	301.4833	301.4833	301.4833		
2	300.3722	300.9278	301.4833	298.15	2	302.5944	302.5944	303.15	300.3722		
3	300.3722	300.9278	301.4833	298.15	3	302.5944	302.5944	303.15	300.3722		
4	300.3722	300.9278	301.4833	298.15	4	302.5944	302.5944	303.15	300.3722		
5	300.3722	300.9278	301.4833	298.15	5	300.9278	300.9278	300.3722	299.8167		
6	300.9278	301.4833	301.4833	299.8167	6	299.2611	301.4833	302.0389	301.4833		
7	300.9278	301.4833	301.4833	299.8167	7	299.2611	301.4833	302.0389	302.0389		
8	300.9278	301.4833	301.4833	299.8167	8	299.2611	302.5944	301.4833	302.5944		
9	300.9278	301.4833	301.4833	299.8167	9	299.2611	302.5944	301.4833	302.5944		
10	300.9278	301.4833	301.4833	299.8167	10	301.4833	299.2611	302.0389	302.5944		
11	300.9278	301.4833	301.4833	299.8167	11	301.4833	299.2611	302.0389	302.5944		
12	300.9278	301.4833	301.4833	299.8167	12	301.4833	299.2611	302.0389	302.5944		
13	300.9278	301.4833	301.4833	299.8167	13	301.4833	299.2611	302.0389	302.5944		
14	300.9278	301.4833	301.4833	299.8167	14	301.4833	299.2611	302.0389	302.5944		
15	300.9278	301.4833	301.4833	299.8167	15	301.4833	299.2611	302.0389	302.5944		
16	299.8167	302.0389	302.5944	299.8167	16	300.3722	303.15	302.5944	299.8167		
17	299.8167	302.0389	302.5944	299.8167	17	300.3722	303.15	302.5944	299.8167		
18	299.8167	302.0389	302.5944	299.8167	18	300.3722	303.15	302.5944	299.8167		
19	299.8167	302.0389	302.5944	299.8167	19	300.3722	303.15	302.5944	299.8167		
20	299.8167	302.0389	302.5944	299.8167	20	300.3722	303.15	302.5944	299.8167		
21	299.8167	302.0389	302.5944	299.8167	21	300.3722	303.15	302.5944	299.8167		
22	299.8167	302.0389	302.5944	299.8167	22	300.3722	303.15	302.5944	299.8167		
23	300.9278	299.2611	302.0389	302.0389	23	300.3722	303.15	302.5944	299.8167		

24	301.4833	301.4833	301.4833	301.4833	24	300.3722	303.15	302.5944	299.8167
25	301.4833	301.4833	301.4833	301.4833	25	300.3722	303.15	302.5944	299.8167
26	301.4833	301.4833	301.4833	301.4833	26	299.8167	300.3722	301.4833	302.0389
27	301.4833	301.4833	301.4833	301.4833	27	302.0389	302.5944	303.7056	303.15
28	301.4833	301.4833	301.4833	301.4833	30	299.8167	300.3722	299.8167	299.2611
					31	301.4833	303.15	302.5944	300.9278

## 2. Temperatur pada saat keluar dari kompresor aksial AX

Pebruari	T <sub>2</sub>				Maret	T <sub>2</sub>			
	Turbin Gas (AX) dalam Kelvin(K)					Turbin Gas (AX) dalam Kelvin(K)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00
1	531.1691	533.5677	534.5528	527.2394	1	527.8455	528.82	528.82	528.82
2	531.1691	533.5677	534.5528	527.2394	2	530.7689	530.7689	530.2776	526.871
3	531.1691	533.5677	534.5528	527.2394	3	530.7689	530.7689	530.2776	526.871
4	531.1691	533.5677	534.5528	527.2394	4	530.7689	530.7689	530.2776	526.871
5	531.1691	533.5677	534.5528	527.2394	5	521.9638	521.9638	521.0002	520.0366
6	534.9746	535.9622	542.8741	541.2218	6	519.0729	516.864	514.7112	527.3622
7	534.9746	535.9622	542.8741	541.2218	7	519.0729	516.864	514.7112	528.334
8	534.9746	535.9622	542.8741	541.2218	8	527.7865	530.7689	519.9178	540.7392
9	534.9746	535.9622	542.8741	541.2218	9	527.7865	530.7689	519.9178	540.7392
10	534.9746	535.9622	542.8741	541.2218	10	538.7536	537.5179	539.7464	540.7392
11	534.9746	535.9622	542.8741	541.2218	11	538.7536	537.5179	539.7464	540.7392
12	534.9746	535.9622	542.8741	541.2218	12	538.7536	537.5179	539.7464	540.7392
13	534.9746	535.9622	542.8741	541.2218	13	538.7536	537.5179	539.7464	540.7392
14	534.9746	535.9622	542.8741	541.2218	14	538.7536	537.5179	539.7464	540.7392
15	534.9746	535.9622	542.8741	541.2218	15	538.7536	537.5179	539.7464	540.7392
16	534.3918	536.9498	537.9375	535.7753	16	538.1452	541.732	540.7392	538.5157
17	534.3918	536.9498	537.9375	535.7753	17	538.1452	541.732	540.7392	538.5157
18	534.3918	536.9498	537.9375	535.7753	18	538.1452	541.732	540.7392	538.5157
19	532.9993	536.9498	537.9375	535.7753	19	538.1452	541.732	540.7392	538.5157
20	532.9993	536.9498	537.9375	535.7753	20	538.1452	541.732	540.7392	538.5157
21	532.9993	536.9498	537.9375	535.7753	21	538.1452	541.732	540.7392	538.5157
22	532.9993	536.9498	537.9375	535.7753	22	538.1452	541.732	540.7392	538.5157
23	532.1516	530.6126	535.5378	534.1164	23	538.1452	541.732	540.7392	538.5157
24	538.7536	538.7536	538.7536	541.5093	24	538.1452	541.732	540.7392	538.5157
25	538.7536	538.7536	538.7536	541.5093	25	538.1452	541.732	540.7392	538.5157
26	538.7536	538.7536	538.7536	541.5093	26	535.7753	536.768	537.3624	538.3527
27	538.7536	538.7536	538.7536	541.5093	27	538.3527	539.3429	539.9128	540.3331

28	538.7536	538.7536	538.7536	541.5093	30	534.3918	533.9869	531.5976	532.0117
					31	531.7057	540.3331	542.1265	540.5115

### 3. Wkompresor /m AX

Pebruari	w				Maret	w			
	Turbin Gas (AX) dalam Kelvin(K)					Turbin Gas (AX) dalam Kelvin(K)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00
1	231.9509	233.8032	234.2348	230.2349	1	228.0523	228.4733	228.4733	228.4733
2	231.9509	233.8032	234.2348	230.2349	2	229.3153	229.3153	228.2632	227.6313
3	231.9509	233.8032	234.2348	230.2349	3	229.3153	229.3153	228.2632	227.6313
4	231.9509	233.8032	234.2348	230.2349	4	229.3153	229.3153	228.2632	227.6313
5	231.9509	233.8032	234.2348	230.2349	5	222.1412	222.1412	221.7311	221.321
6	235.217	235.6513	242.5977	242.6121	6	220.9109	216.4576	213.7357	227.0083
7	235.217	235.6513	242.5977	242.6121	7	220.9109	216.4576	213.7357	227.4266
8	235.217	235.6513	242.5977	242.6121	8	229.668	229.3153	219.5267	239.3355
9	235.217	235.6513	242.5977	242.6121	9	229.668	229.3153	219.5267	239.3355
10	235.217	235.6513	242.5977	242.6121	10	238.4566	239.448	238.896	239.3355
11	235.217	235.6513	242.5977	242.6121	11	238.4566	239.448	238.896	239.3355
12	235.217	235.6513	242.5977	242.6121	12	238.4566	239.448	238.896	239.3355
13	235.217	235.6513	242.5977	242.6121	13	238.4566	239.448	238.896	239.3355
14	235.217	235.6513	242.5977	242.6121	14	238.4566	239.448	238.896	239.3355
15	235.217	235.6513	242.5977	242.6121	15	238.4566	239.448	238.896	239.3355
16	235.748	236.0855	236.5198	237.1384	16	238.9618	239.7749	239.3355	239.8926
17	235.748	236.0855	236.5198	237.1384	17	238.9618	239.7749	239.3355	239.8926
18	235.748	236.0855	236.5198	237.1384	18	238.9618	239.7749	239.3355	239.8926
19	234.3485	236.0855	236.5198	237.1384	19	238.9618	239.7749	239.3355	239.8926
20	234.3485	236.0855	236.5198	237.1384	20	238.9618	239.7749	239.3355	239.8926
21	234.3485	236.0855	236.5198	237.1384	21	238.9618	239.7749	239.3355	239.8926
22	234.3485	236.0855	236.5198	237.1384	22	238.9618	239.7749	239.3355	239.8926
23	232.3799	232.5082	234.6664	233.2379	23	238.9618	239.7749	239.3355	239.8926
24	238.4566	238.4566	238.4566	241.2261	24	238.9618	239.7749	239.3355	239.8926
25	238.4566	238.4566	238.4566	241.2261	25	238.9618	239.7749	239.3355	239.8926
26	238.4566	238.4566	238.4566	241.2261	26	237.1384	237.5778	237.0585	237.4953
27	238.4566	238.4566	238.4566	241.2261	27	237.4953	237.9322	237.3882	238.369
28	238.4566	238.4566	238.4566	241.2261	30	235.748	234.7828	232.9399	233.9143
					31	231.3735	238.369	240.7297	240.7816

4.  $\Delta T_{35}$  AX

Pebruari	Delta T <sub>35</sub> Turbin Gas (AX) dalam Kelvin(K)				Maret	Delta T <sub>35</sub> Turbin Gas (AX) dalam Kelvin(K)			
	Tanggal	5:00	11:00	17:00		23:00	Tanggal	5:00	11:00
1	202.224	203.8388	204.2152	200.7279	1	198.825	199.1921	199.1921	199.1921
2	202.224	203.8388	204.2152	200.7279	2	199.9262	199.9262	199.0089	198.458
3	202.224	203.8388	204.2152	200.7279	3	199.9262	199.9262	199.0089	198.458
4	202.224	203.8388	204.2152	200.7279	4	199.9262	199.9262	199.0089	198.458
5	202.224	203.8388	204.2152	200.7279	5	193.6715	193.6715	193.314	192.9564
6	205.0715	205.4501	211.5063	211.5189	6	192.5989	188.7163	186.3432	197.9148
7	205.0715	205.4501	211.5063	211.5189	7	192.5989	188.7163	186.3432	198.2795
8	205.0715	205.4501	211.5063	211.5189	8	200.2337	199.9262	191.392	208.6621
9	205.0715	205.4501	211.5063	211.5189	9	200.2337	199.9262	191.392	208.6621
10	205.0715	205.4501	211.5063	211.5189	10	207.8959	208.7603	208.279	208.6621
11	205.0715	205.4501	211.5063	211.5189	11	207.8959	208.7603	208.279	208.6621
12	205.0715	205.4501	211.5063	211.5189	12	207.8959	208.7603	208.279	208.6621
13	205.0715	205.4501	211.5063	211.5189	13	207.8959	208.7603	208.279	208.6621
14	205.0715	205.4501	211.5063	211.5189	14	207.8959	208.7603	208.279	208.6621
15	205.0715	205.4501	211.5063	211.5189	15	207.8959	208.7603	208.279	208.6621
16	205.5344	205.8287	206.2073	206.7466	16	208.3364	209.0452	208.6621	209.1478
17	205.5344	205.8287	206.2073	206.7466	17	208.3364	209.0452	208.6621	209.1478
18	205.5344	205.8287	206.2073	206.7466	18	208.3364	209.0452	208.6621	209.1478
19	204.3143	205.8287	206.2073	206.7466	19	208.3364	209.0452	208.6621	209.1478
20	204.3143	205.8287	206.2073	206.7466	20	208.3364	209.0452	208.6621	209.1478
21	204.3143	205.8287	206.2073	206.7466	21	208.3364	209.0452	208.6621	209.1478
22	204.3143	205.8287	206.2073	206.7466	22	208.3364	209.0452	208.6621	209.1478
23	202.598	202.7099	204.5915	203.346	23	208.3364	209.0452	208.6621	209.1478
24	207.8959	207.8959	207.8959	210.3105	24	208.3364	209.0452	208.6621	209.1478
25	207.8959	207.8959	207.8959	210.3105	25	208.3364	209.0452	208.6621	209.1478
26	207.8959	207.8959	207.8959	210.3105	26	206.7466	207.1297	206.677	207.0578
27	207.8959	207.8959	207.8959	210.3105	27	207.0578	207.4387	206.9645	207.8195
28	207.8959	207.8959	207.8959	210.3105	30	205.5344	204.6929	203.0862	203.9357
					31	201.7205	207.8195	209.8777	209.9229

### 5. Temperatur pada saat keluar dari combuster chamber AX

Pebruari	T <sub>3</sub> Turbin Gas (AX) dalam Kelvin(K)				Maret	T <sub>3</sub> Turbin Gas (AX) dalam Kelvin(K)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00
1	1070.93	1073.656	1092.921	1073.878	1	1055.864	1056.787	1056.787	1044.564
2	1070.93	1073.656	1092.921	1073.878	2	1055.854	1055.854	1056.048	1048.83
3	1070.93	1073.656	1092.921	1073.878	3	1055.854	1055.854	1056.048	1048.83
4	1070.93	1073.656	1092.921	1073.878	4	1055.854	1055.854	1056.048	1048.83
5	1070.93	1073.656	1092.921	1073.878	5	1033.488	1033.488	1032.02	1031.662
6	1084.333	1086.378	1115.212	1113.002	6	1030.749	1016.311	1008.938	1046.065
7	1084.333	1086.378	1115.212	1113.002	7	1030.749	1016.311	1008.938	1053.652
8	1084.333	1086.378	1115.212	1113.002	8	1081.161	1081.41	1049.542	1126.257
9	1084.333	1086.378	1115.212	1113.002	9	1081.161	1081.41	1049.542	1126.257
10	1084.333	1086.378	1115.212	1113.002	10	1123.268	1125.244	1124.762	1125.701
11	1084.333	1086.378	1115.212	1113.002	11	1123.268	1125.244	1124.762	1125.701
12	1084.333	1086.378	1115.212	1113.002	12	1123.268	1125.244	1124.762	1125.701
13	1084.333	1086.378	1115.212	1113.002	13	1123.268	1125.244	1124.762	1125.701
14	1084.333	1086.378	1115.212	1113.002	14	1123.268	1125.244	1124.762	1125.701
15	1084.333	1086.378	1115.212	1113.002	15	1123.268	1125.244	1124.762	1125.701
16	1104.24	1103.979	1106.58	1105.452	16	1122.597	1124.417	1125.701	1126.187
17	1104.24	1103.979	1106.58	1105.452	17	1122.597	1124.417	1125.701	1126.187
18	1104.24	1103.979	1106.58	1105.452	18	1122.597	1124.417	1125.701	1126.187
19	1103.02	1103.979	1106.58	1105.452	19	1122.597	1124.417	1125.701	1126.187
20	1103.02	1103.979	1106.58	1105.452	20	1122.597	1124.417	1125.701	1126.187
21	1103.02	1103.979	1106.58	1105.452	21	1122.597	1124.417	1125.701	1126.187
22	1103.02	1103.979	1106.58	1105.452	22	1122.597	1124.417	1125.701	1126.187
23	1071.304	1072.527	523.297	1076.496	23	1122.597	1124.417	1125.701	1126.187
24	1117.713	1117.713	1116.601	1083.46	24	1122.597	1124.417	1125.701	1126.187
25	1117.713	1117.713	1116.601	1083.46	25	1122.597	1124.417	1125.701	1126.187
26	1117.713	1117.713	1116.601	1083.46	26	1124.341	1123.613	1122.605	1123.541
27	1117.713	1117.713	1116.601	1083.46	27	1123.541	1124.478	1122.892	1124.858
28	1117.713	1117.713	1116.601	1083.46	30	1088.684	1092.287	1086.236	1081.53
					31	1077.648	1109.303	1121.361	1118.628

## 6. Temperatur gas antara Gas Production (GP) dan Power Turbin (PT) AX

Pebruari	T <sub>5</sub> Turbin Gas (AX) dalam Kelvin(K)				Maret	T <sub>5</sub> Turbin Gas (AX) dalam Kelvin(K)			
	Tanggal	5:00	11:00	17:00		23:00	Tanggal	5:00	11:00
1	868.7056	869.8167	888.7056	873.15	1	857.0389	857.5944	857.5944	845.3722
2	868.7056	869.8167	888.7056	873.15	2	855.9278	855.9278	857.0389	850.3722
3	868.7056	869.8167	888.7056	873.15	3	855.9278	855.9278	857.0389	850.3722
4	868.7056	869.8167	888.7056	873.15	4	855.9278	855.9278	857.0389	850.3722
5	868.7056	869.8167	888.7056	873.15	5	839.8167	839.8167	838.7056	838.7056
6	879.2611	880.9278	903.7056	901.4833	6	838.15	827.5944	822.5944	848.15
7	879.2611	880.9278	903.7056	901.4833	7	838.15	827.5944	822.5944	855.3722
8	879.2611	880.9278	903.7056	901.4833	8	880.9278	881.4833	858.15	917.5944
9	879.2611	880.9278	903.7056	901.4833	9	880.9278	881.4833	858.15	917.5944
10	879.2611	880.9278	903.7056	901.4833	10	915.3722	916.4833	916.4833	917.0389
11	879.2611	880.9278	903.7056	901.4833	11	915.3722	916.4833	916.4833	917.0389
12	879.2611	880.9278	903.7056	901.4833	12	915.3722	916.4833	916.4833	917.0389
13	879.2611	880.9278	903.7056	901.4833	13	915.3722	916.4833	916.4833	917.0389
14	879.2611	880.9278	903.7056	901.4833	14	915.3722	916.4833	916.4833	917.0389
15	879.2611	880.9278	903.7056	901.4833	15	915.3722	916.4833	916.4833	917.0389
16	898.7056	898.15	900.3722	898.7056	16	914.2611	915.3722	917.0389	917.0389
17	898.7056	898.15	900.3722	898.7056	17	914.2611	915.3722	917.0389	917.0389
18	898.7056	898.15	900.3722	898.7056	18	914.2611	915.3722	917.0389	917.0389
19	898.7056	898.15	900.3722	898.7056	19	914.2611	915.3722	917.0389	917.0389
20	898.7056	898.15	900.3722	898.7056	20	914.2611	915.3722	917.0389	917.0389
21	898.7056	898.15	900.3722	898.7056	21	914.2611	915.3722	917.0389	917.0389
22	898.7056	898.15	900.3722	898.7056	22	914.2611	915.3722	917.0389	917.0389
23	868.7056	869.8167	318.7056	873.15	23	914.2611	915.3722	917.0389	917.0389
24	909.8167	909.8167	908.7056	873.15	24	914.2611	915.3722	917.0389	917.0389
25	909.8167	909.8167	908.7056	873.15	25	914.2611	915.3722	917.0389	917.0389
26	909.8167	909.8167	908.7056	873.15	26	917.5944	916.4833	915.9278	916.4833
27	909.8167	909.8167	908.7056	873.15	27	916.4833	917.0389	915.9278	917.0389
28	909.8167	909.8167	908.7056	873.15	30	883.15	887.5944	883.15	877.5944
					31	875.9278	901.4833	911.4833	908.7056



## 7. Temperatur gas pada saat keluar dari Power turbin AX

Pebruari		T <sub>6</sub> Turbin Gas (AX)				Maret		T <sub>6</sub> Turbin Gas (AX)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00		
1	767.0393	767.4118	781.4816	769.3387	1	760.7647	761.4116	761.4116	752.3932		
2	767.0393	767.4118	781.4816	769.3387	2	760.6559	760.6559	762.4067	755.6086		
3	767.0393	767.4118	781.4816	769.3387	3	760.6559	760.6559	762.4067	755.6086		
4	767.0393	767.4118	781.4816	769.3387	4	760.6559	760.6559	762.4067	755.6086		
5	767.0393	767.4118	781.4816	769.3387	5	750.7999	750.7999	749.7406	749.5078		
6	773.6387	775.0987	788.2634	785.2416	6	748.8617	744.7485	742.6687	755.1269		
7	773.6387	775.0987	788.2634	785.2416	7	748.8617	744.7485	742.6687	760.7025		
8	773.6387	775.0987	788.2634	785.2416	8	776.2334	779.5114	766.1488	800.925		
9	773.6387	775.0987	788.2634	785.2416	9	776.2334	779.5114	766.1488	800.925		
10	773.6387	775.0987	788.2634	785.2416	10	798.819	797.2263	799.872	800.5206		
11	773.6387	775.0987	788.2634	785.2416	11	798.819	797.2263	799.872	800.5206		
12	773.6387	775.0987	788.2634	785.2416	12	798.819	797.2263	799.872	800.5206		
13	773.6387	775.0987	788.2634	785.2416	13	798.819	797.2263	799.872	800.5206		
14	773.6387	775.0987	788.2634	785.2416	14	798.819	797.2263	799.872	800.5206		
15	773.6387	775.0987	788.2634	785.2416	15	798.819	797.2263	799.872	800.5206		
16	786.6542	787.9251	789.791	785.9545	16	796.8103	799.5516	800.5206	797.8753		
17	786.6542	787.9251	789.791	785.9545	17	796.8103	799.5516	800.5206	797.8753		
18	786.6542	787.9251	789.791	785.9545	18	796.8103	799.5516	800.5206	797.8753		
19	787.3622	787.9251	789.791	785.9545	19	796.8103	799.5516	800.5206	797.8753		
20	787.3622	787.9251	789.791	785.9545	20	796.8103	799.5516	800.5206	797.8753		
21	787.3622	787.9251	789.791	785.9545	21	796.8103	799.5516	800.5206	797.8753		
22	787.3622	787.9251	789.791	785.9545	22	796.8103	799.5516	800.5206	797.8753		
23	767.2794	766.6885	363.1302	771.0197	23	796.8103	799.5516	800.5206	797.8753		
24	794.7751	794.7751	793.9663	766.7803	24	796.8103	799.5516	800.5206	797.8753		
25	794.7751	794.7751	793.9663	766.7803	25	796.8103	799.5516	800.5206	797.8753		
26	794.7751	794.7751	793.9663	766.7803	26	799.7039	799.1394	799.9435	800.5919		
27	794.7751	794.7751	793.9663	766.7803	27	800.5919	801.2403	801.6411	801.4835		
28	794.7751	794.7751	793.9663	766.7803	30	775.3094	779.4858	776.691	771.6945		
					31	773.5156	790.1391	795.7725	792.3237		

### 8. Tekanan udara lingkungan ( $P_{\text{ambient}}$ ) atau $P_{\text{inlet AX}}$

Pebruari		$P_0 = P_1$ Turbin Gas (AX) dalam (kPa)				Maret		$P_0 = P_1$ Turbin Gas (AX) dalam (kPa)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00		
1	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	1	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
2	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	2	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
3	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	3	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
4	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	4	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
5	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	5	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
6	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	6	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
7	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	7	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
8	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	8	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
9	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	9	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
10	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	10	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
11	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	11	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
12	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	12	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
13	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	13	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
14	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	14	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
15	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	15	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
16	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	16	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
17	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	17	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
18	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	18	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
19	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	19	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
20	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	20	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
21	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	21	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
22	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	22	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
23	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	23	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
24	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	24	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
25	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	25	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
26	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	26	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
27	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	27	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
28	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	30	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
					31	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		



### 9. Tekanan pada saat keluar dari kompresor aksial (Pcd) AX

Pebruari		P <sub>2</sub> Turbin Gas (AX) dalam (kPa)				Maret		P <sub>2</sub> Turbin Gas (AX) dalam (kPa)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00		
1	737.7361	744.6308	744.6308	737.7361	1	717.0519	717.0519	717.0519	717.0519		
2	737.7361	744.6308	744.6308	737.7361	2	717.0519	717.0519	710.1572	717.0519		
3	737.7361	744.6308	744.6308	737.7361	3	717.0519	717.0519	710.1572	717.0519		
4	737.7361	744.6308	744.6308	737.7361	4	717.0519	717.0519	710.1572	717.0519		
5	737.7361	744.6308	744.6308	737.7361	5	689.473	689.473	689.473	689.473		
6	751.5256	751.5256	785.9992	792.894	6	689.473	661.8941	648.1046	710.1572		
7	751.5256	751.5256	785.9992	792.894	7	689.473	661.8941	648.1046	710.1572		
8	751.5256	751.5256	785.9992	792.894	8	730.8414	717.0519	675.6835	765.315		
9	751.5256	751.5256	785.9992	792.894	9	730.8414	717.0519	675.6835	765.315		
10	751.5256	751.5256	785.9992	792.894	10	765.315	779.1045	765.315	765.315		
11	751.5256	751.5256	785.9992	792.894	11	765.315	779.1045	765.315	765.315		
12	751.5256	751.5256	785.9992	792.894	12	765.315	779.1045	765.315	765.315		
13	751.5256	751.5256	785.9992	792.894	13	765.315	779.1045	765.315	765.315		
14	751.5256	751.5256	785.9992	792.894	14	765.315	779.1045	765.315	765.315		
15	751.5256	751.5256	785.9992	792.894	15	765.315	779.1045	765.315	765.315		
16	758.4203	751.5256	751.5256	765.315	16	772.2098	765.315	765.315	779.1045		
17	758.4203	751.5256	751.5256	765.315	17	772.2098	765.315	765.315	779.1045		
18	758.4203	751.5256	751.5256	765.315	18	772.2098	765.315	765.315	779.1045		
19	751.5256	751.5256	751.5256	765.315	19	772.2098	765.315	765.315	779.1045		
20	751.5256	751.5256	751.5256	765.315	20	772.2098	765.315	765.315	779.1045		
21	751.5256	751.5256	751.5256	765.315	21	772.2098	765.315	765.315	779.1045		
22	751.5256	751.5256	751.5256	765.315	22	772.2098	765.315	765.315	779.1045		
23	737.7361	744.6308	744.6308	737.7361	23	772.2098	765.315	765.315	779.1045		
24	765.315	765.315	765.315	779.1045	24	772.2098	765.315	765.315	779.1045		
25	765.315	765.315	765.315	779.1045	25	772.2098	765.315	765.315	779.1045		
26	765.315	765.315	765.315	779.1045	26	765.315	765.315	758.4203	758.4203		
27	765.315	765.315	765.315	779.1045	27	758.4203	758.4203	751.5256	758.4203		
28	765.315	765.315	765.315	779.1045	30	758.4203	751.5256	744.6308	751.5256		
					31	730.8414	758.4203	772.2098	779.1045		

### 10. Tekanan pada saat keluar dari combustor chamber AX

Pebruari		P <sub>3</sub> Turbin Gas (AX) dalam (kPa)				Maret		P <sub>3</sub> Turbin Gas (AX) dalam (kPa)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00		
1	722.9814	729.7382	729.7382	722.9814	1	702.7109	702.7109	702.7109	702.7109		
2	722.9814	729.7382	729.7382	722.9814	2	702.7109	702.7109	695.954	702.7109		
3	722.9814	729.7382	729.7382	722.9814	3	702.7109	702.7109	695.954	702.7109		
4	722.9814	729.7382	729.7382	722.9814	4	702.7109	702.7109	695.954	702.7109		
5	722.9814	729.7382	729.7382	722.9814	5	675.6835	675.6835	675.6835	675.6835		
6	736.4951	736.4951	770.2792	777.0361	6	675.6835	648.6562	635.1425	695.954		
7	736.4951	736.4951	770.2792	777.0361	7	675.6835	648.6562	635.1425	695.954		
8	736.4951	736.4951	770.2792	777.0361	8	716.2246	702.7109	662.1699	750.0087		
9	736.4951	736.4951	770.2792	777.0361	9	716.2246	702.7109	662.1699	750.0087		
10	736.4951	736.4951	770.2792	777.0361	10	750.0087	763.5224	750.0087	750.0087		
11	736.4951	736.4951	770.2792	777.0361	11	750.0087	763.5224	750.0087	750.0087		
12	736.4951	736.4951	770.2792	777.0361	12	750.0087	763.5224	750.0087	750.0087		
13	736.4951	736.4951	770.2792	777.0361	13	750.0087	763.5224	750.0087	750.0087		
14	736.4951	736.4951	770.2792	777.0361	14	750.0087	763.5224	750.0087	750.0087		
15	736.4951	736.4951	770.2792	777.0361	15	750.0087	763.5224	750.0087	750.0087		
16	743.2519	736.4951	736.4951	750.0087	16	756.7656	750.0087	750.0087	763.5224		
17	743.2519	736.4951	736.4951	750.0087	17	756.7656	750.0087	750.0087	763.5224		
18	743.2519	736.4951	736.4951	750.0087	18	756.7656	750.0087	750.0087	763.5224		
19	736.4951	736.4951	736.4951	750.0087	19	756.7656	750.0087	750.0087	763.5224		
20	736.4951	736.4951	736.4951	750.0087	20	756.7656	750.0087	750.0087	763.5224		
21	736.4951	736.4951	736.4951	750.0087	21	756.7656	750.0087	750.0087	763.5224		
22	736.4951	736.4951	736.4951	750.0087	22	756.7656	750.0087	750.0087	763.5224		
23	722.9814	729.7382	729.7382	722.9814	23	756.7656	750.0087	750.0087	763.5224		
24	750.0087	750.0087	750.0087	763.5224	24	756.7656	750.0087	750.0087	763.5224		
25	750.0087	750.0087	750.0087	763.5224	25	756.7656	750.0087	750.0087	763.5224		
26	750.0087	750.0087	750.0087	763.5224	26	750.0087	750.0087	743.2519	743.2519		
27	750.0087	750.0087	750.0087	763.5224	27	743.2519	743.2519	736.4951	743.2519		
28	750.0087	750.0087	750.0087	763.5224	30	743.2519	736.4951	729.7382	736.4951		
					31	716.2246	743.2519	756.7656	763.5224		

### 11. Tekanan gas antara Gas Production (GP) dan Power Turbin (PT) AX

Pebruari		P <sub>5</sub> Turbin Gas (AX) dalam (kPa)				Maret		P <sub>5</sub> Turbin Gas (AX) dalam (kPa)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00		
1	292.1331	293.254	297.9888	295.1258	1	284.7387	284.461	284.461	281.1286		
2	292.1331	293.254	297.9888	295.1258	2	283.1553	283.1553	281.7883	283.3548		
3	292.1331	293.254	297.9888	295.1258	3	283.1553	283.1553	281.7883	283.3548		
4	292.1331	293.254	297.9888	295.1258	4	283.1553	283.1553	281.7883	283.3548		
5	292.1331	293.254	297.9888	295.1258	5	275.1182	275.1182	275.2352	275.6484		
6	297.13	297.142	309.8756	311.9466	6	275.9146	266.5261	262.3572	280.6587		
7	297.13	297.142	309.8756	311.9466	7	275.9146	266.5261	262.3572	282.185		
8	297.13	297.142	309.8756	311.9466	8	295.0493	289.9855	276.9292	308.8549		
9	297.13	297.142	309.8756	311.9466	9	295.0493	289.9855	276.9292	308.8549		
10	297.13	297.142	309.8756	311.9466	10	309.1656	313.9956	309.01	308.7049		
11	297.13	297.142	309.8756	311.9466	11	309.1656	313.9956	309.01	308.7049		
12	297.13	297.142	309.8756	311.9466	12	309.1656	313.9956	309.01	308.7049		
13	297.13	297.142	309.8756	311.9466	13	309.1656	313.9956	309.01	308.7049		
14	297.13	297.142	309.8756	311.9466	14	309.1656	313.9956	309.01	308.7049		
15	297.13	297.142	309.8756	311.9466	15	309.1656	313.9956	309.01	308.7049		
16	304.6735	301.4051	301.5593	305.9861	16	311.1181	307.7996	308.7049	313.6806		
17	304.6735	301.4051	301.5593	305.9861	17	311.1181	307.7996	308.7049	313.6806		
18	304.6735	301.4051	301.5593	305.9861	18	311.1181	307.7996	308.7049	313.6806		
19	303.3524	301.4051	301.5593	305.9861	19	311.1181	307.7996	308.7049	313.6806		
20	303.3524	301.4051	301.5593	305.9861	20	311.1181	307.7996	308.7049	313.6806		
21	303.3524	301.4051	301.5593	305.9861	21	311.1181	307.7996	308.7049	313.6806		
22	303.3524	301.4051	301.5593	305.9861	22	311.1181	307.7996	308.7049	313.6806		
23	291.6918	294.5929	85.24408	292.0304	23	311.1181	307.7996	308.7049	313.6806		
24	307.6572	307.6572	307.3544	299.9135	24	311.1181	307.7996	308.7049	313.6806		
25	307.6572	307.6572	307.3544	299.9135	25	311.1181	307.7996	308.7049	313.6806		
26	307.6572	307.6572	307.3544	299.9135	26	311.1398	310.3809	307.9731	307.67		
27	307.6572	307.6572	307.3544	299.9135	27	307.67	307.3676	304.8352	306.9172		
28	307.6572	307.6572	307.3544	299.9135	30	300.3859	299.8749	297.8134	298.0197		
					31	291.9519	302.7163	308.5145	310.4448		

## 12. Tekanan gas pada saat keluar dari Power Turbin AX

Pebruari	P <sub>6</sub> Turbin Gas (AX) dalam (kPa)				Maret	P <sub>6</sub> Turbin Gas (AX)dalam (kPa)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00
1	160.12	160.12	160.12	160.12	1	160.12	160.12	160.12	160.12
2	160.12	160.12	160.12	160.12	2	160.12	160.12	160.12	160.12
3	160.12	160.12	160.12	160.12	3	160.12	160.12	160.12	160.12
4	160.12	160.12	160.12	160.12	4	160.12	160.12	160.12	160.12
5	160.12	160.12	160.12	160.12	5	160.12	160.12	160.12	160.12
6	160.12	160.12	160.12	160.12	6	160.12	160.12	160.12	160.12
7	160.12	160.12	160.12	160.12	7	160.12	160.12	160.12	160.12
8	160.12	160.12	160.12	160.12	8	160.12	160.12	160.12	160.12
9	160.12	160.12	160.12	160.12	9	160.12	160.12	160.12	160.12
10	160.12	160.12	160.12	160.12	10	160.12	160.12	160.12	160.12
11	160.12	160.12	160.12	160.12	11	160.12	160.12	160.12	160.12
12	160.12	160.12	160.12	160.12	12	160.12	160.12	160.12	160.12
13	160.12	160.12	160.12	160.12	13	160.12	160.12	160.12	160.12
14	160.12	160.12	160.12	160.12	14	160.12	160.12	160.12	160.12
15	160.12	160.12	160.12	160.12	15	160.12	160.12	160.12	160.12
16	160.12	160.12	160.12	160.12	16	160.12	160.12	160.12	160.12
17	160.12	160.12	160.12	160.12	17	160.12	160.12	160.12	160.12
18	160.12	160.12	160.12	160.12	18	160.12	160.12	160.12	160.12
19	160.12	160.12	160.12	160.12	19	160.12	160.12	160.12	160.12
20	160.12	160.12	160.12	160.12	20	160.12	160.12	160.12	160.12
21	160.12	160.12	160.12	160.12	21	160.12	160.12	160.12	160.12
22	160.12	160.12	160.12	160.12	22	160.12	160.12	160.12	160.12
23	160.12	160.12	160.12	160.12	23	160.12	160.12	160.12	160.12
24	160.12	160.12	160.12	160.12	24	160.12	160.12	160.12	160.12
25	160.12	160.12	160.12	160.12	25	160.12	160.12	160.12	160.12
26	160.12	160.12	160.12	160.12	26	160.12	160.12	160.12	160.12
27	160.12	160.12	160.12	160.12	27	160.12	160.12	160.12	160.12
28	160.12	160.12	160.12	160.12	30	160.12	160.12	160.12	160.12
					31	160.12	160.12	160.12	160.12

### 13. Rasio kompresi pagi dan sore Turbin Gas AX

Pebruari tanggal	Rasio kompresi ( $P_2/P_0$ ) (AX)		Maret tanggal	Rasio kompresi ( $P_2/P_0$ ) (AX)	
	Pagi	Sore		Pagi	Sore
1	7.35443	7.423163	1	7.148231	7.148231
2	7.35443	7.423163	2	7.148231	7.079498
3	7.35443	7.423163	3	7.148231	7.079498
4	7.35443	7.423163	4	7.148231	7.079498
5	7.35443	7.423163	5	6.873299	6.873299
6	7.491896	7.835561	6	6.873299	6.460901
7	7.491896	7.835561	7	6.873299	6.460901
8	7.491896	7.835561	8	7.285697	6.735833
9	7.491896	7.835561	9	7.285697	6.735833
10	7.491896	7.835561	10	7.629362	7.629362
11	7.491896	7.835561	11	7.629362	7.629362
12	7.491896	7.835561	12	7.629362	7.629362
13	7.491896	7.835561	13	7.629362	7.629362
14	7.491896	7.835561	14	7.629362	7.629362
15	7.491896	7.835561	15	7.629362	7.629362
16	7.560629	7.491896	16	7.698095	7.629362
17	7.560629	7.491896	17	7.698095	7.629362
18	7.560629	7.491896	18	7.698095	7.629362
19	7.491896	7.491896	19	7.698095	7.629362
20	7.491896	7.491896	20	7.698095	7.629362
21	7.491896	7.491896	21	7.698095	7.629362
22	7.491896	7.491896	22	7.698095	7.629362
23	7.35443	7.423163	23	7.698095	7.629362
24	7.629362	7.629362	24	7.698095	7.629362
25	7.629362	7.629362	25	7.698095	7.629362
26	7.629362	7.629362	26	7.629362	7.560629
27	7.629362	7.629362	27	7.560629	7.491896
28	7.629362	7.629362	30	7.560629	7.423163
			31	7.285697	7.698095

#### 14. Kecepatan putar Power Turbin (PT Speed) AX

Pebruari		Power Turbin (PT)Speed Turbin Gas (AX) dalam (RPM)				Maret		Power Turbin (PT)Speed Turbin Gas (AX) dalam (RPM)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00		
1	11919	10440	11890	11890	1	13050	13108	13340	13209.5		
2	11919	10440	11890	11890	2	13195	13195	13195	13093.5		
3	11919	10440	11890	11890	3	13195	13195	13195	13093.5		
4	11919	10440	11890	11890	4	13195	13195	13195	13093.5		
5	11919	10440	11890	11890	5	12934	12905	12876	12905		
6	12325	12180	12180	12470	6	13267.5	13398	13267.5	13180.5		
7	12325	12180	12180	12470	7	13267.5	13398	13267.5	13224		
8	12325	12180	12180	12470	8	11832	12035	11339	12267		
9	12325	12180	12180	12470	9	11832	12035	11339	12267		
10	12325	12180	12180	12470	10	12325	12325	12180	12180		
11	12325	12180	12180	12470	11	12325	12325	12180	12180		
12	12325	12180	12180	12470	12	12325	12325	12180	12180		
13	12325	12180	12180	12470	13	12325	12325	12180	12180		
14	12325	12180	12180	12470	14	12325	12325	12180	12180		
15	12325	12180	12180	12470	15	12325	12325	12180	12180		
16	12107.5	12006	12006	12194.5	16	12281.5	12354	12035	12484.5		
17	12107.5	12006	12006	12194.5	17	12281.5	12354	12035	12484.5		
18	12107.5	12006	12006	12194.5	18	12281.5	12354	12035	12484.5		
19	12006	12006	12006	12194.5	19	12281.5	12354	12035	12484.5		
20	12006	12006	12006	12194.5	20	12281.5	12354	12035	12484.5		
21	12006	12006	12006	12194.5	21	12281.5	12354	12035	12484.5		
22	12006	12006	12006	12194.5	22	12281.5	12354	12035	12484.5		
23	12310.5	12238	10440	12180	23	12281.5	12354	12035	12484.5		
24	12209	12426.5	10440	12528	24	12281.5	12354	12035	12484.5		
25	12209	12426.5	10440	12528	25	12281.5	12354	12035	12484.5		
26	12209	12426.5	10440	12528	26	12223.5	12209	12049.5	12035		
27	12209	12426.5	10440	12528	27	12078.5	11948	11933.5	12049.5		
28	12209	12426.5	10440	12528	30	12035	12035	11745	11745		
					31	11600	11890	12035	12180		

### 15. Aliran massa Turbin gas AX

Pebruari	Aliran massa Turbin Gas (AX) dalam (kg/s)				Maret	Aliran massa Turbin Gas (AX) dalam (kg/s)			
	Tanggal	5:00	11:00	17:00		23:00	Tanggal	5:00	11:00
1	15.86095	15.83168	15.80252	15.97911	1	15.83168	15.80252	15.80252	15.80252
2	15.86095	15.83168	15.80252	15.97911	2	15.74453	15.74453	15.71569	15.86095
3	15.86095	15.83168	15.80252	15.97911	3	15.74453	15.74453	15.71569	15.86095
4	15.86095	15.83168	15.80252	15.97911	4	15.74453	15.74453	15.71569	15.86095
5	15.86095	15.83168	15.80252	15.97911	5	15.83168	15.83168	15.86095	15.89032
6	15.83168	15.80252	15.80252	15.89032	6	15.91981	15.80252	15.77347	15.80252
7	15.83168	15.80252	15.80252	15.89032	7	15.91981	15.80252	15.77347	15.77347
8	15.83168	15.80252	15.80252	15.89032	8	15.91981	15.74453	15.80252	15.74453
9	15.83168	15.80252	15.80252	15.89032	9	15.91981	15.74453	15.80252	15.74453
10	15.83168	15.80252	15.80252	15.89032	10	15.80252	15.91981	15.77347	15.74453
11	15.83168	15.80252	15.80252	15.89032	11	15.80252	15.91981	15.77347	15.74453
12	15.83168	15.80252	15.80252	15.89032	12	15.80252	15.91981	15.77347	15.74453
13	15.83168	15.80252	15.80252	15.89032	13	15.80252	15.91981	15.77347	15.74453
14	15.83168	15.80252	15.80252	15.89032	14	15.80252	15.91981	15.77347	15.74453
15	15.83168	15.80252	15.80252	15.89032	15	15.80252	15.91981	15.77347	15.74453
16	15.89032	15.77347	15.74453	15.89032	16	15.86095	15.71569	15.74453	15.89032
17	15.89032	15.77347	15.74453	15.89032	17	15.86095	15.71569	15.74453	15.89032
18	15.89032	15.77347	15.74453	15.89032	18	15.86095	15.71569	15.74453	15.89032
19	15.89032	15.77347	15.74453	15.89032	19	15.86095	15.71569	15.74453	15.89032
20	15.89032	15.77347	15.74453	15.89032	20	15.86095	15.71569	15.74453	15.89032
21	15.89032	15.77347	15.74453	15.89032	21	15.86095	15.71569	15.74453	15.89032
22	15.89032	15.77347	15.74453	15.89032	22	15.86095	15.71569	15.74453	15.89032
23	15.83168	15.91981	15.77347	15.77347	23	15.86095	15.71569	15.74453	15.89032
24	15.80252	15.80252	15.80252	15.80252	24	15.86095	15.71569	15.74453	15.89032
25	15.80252	15.80252	15.80252	15.80252	25	15.86095	15.71569	15.74453	15.89032
26	15.80252	15.80252	15.80252	15.80252	26	15.89032	15.86095	15.80252	15.77347
27	15.80252	15.80252	15.80252	15.80252	27	15.77347	15.74453	15.68695	15.71569
28	15.80252	15.80252	15.80252	15.80252	30	15.89032	15.86095	15.89032	15.91981
					31	15.80252	15.71569	15.74453	15.83168



### 16. Power output ( Rumus empiris) Turbin gas AX

Pebruari	Power Output (Rumus Empiris) Turbin Gas (AX) dalam (kW)				Maret	Power Output (Rumus Empiris) Turbin Gas (AX) dalam (kW)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00
1	2310.553	2181.679	2294.194	2241.192	1	2039.192	2032.64	2032.64	1954.586
2	2310.553	2181.679	2294.194	2241.192	2	2001.934	2001.934	1983.974	2006.607
3	2310.553	2181.679	2294.194	2241.192	3	2001.934	2001.934	1983.974	2006.607
4	2310.553	2181.679	2294.194	2241.192	4	2001.934	2001.934	1983.974	2006.607
5	2310.553	2181.679	2294.194	2241.192	5	1869.159	1869.159	1871.914	1881.661
6	2571.747	2258.601	2483.523	2516.92	6	1887.945	1721.908	1650.739	1957.434
7	2571.747	2258.601	2483.523	2516.92	7	1887.945	1721.908	1650.739	1993.319
8	2571.747	2258.601	2483.523	2516.92	8	2255.084	2164.43	1941.655	2507.882
9	2571.747	2258.601	2483.523	2516.92	9	2255.084	2164.43	1941.655	2507.882
10	2571.747	2258.601	2483.523	2516.92	10	2515.443	2599.049	2511.656	2504.231
11	2571.747	2258.601	2483.523	2516.92	11	2515.443	2599.049	2511.656	2504.231
12	2571.747	2258.601	2483.523	2516.92	12	2515.443	2599.049	2511.656	2504.231
13	2571.747	2258.601	2483.523	2516.92	13	2515.443	2599.049	2511.656	2504.231
14	2571.747	2258.601	2483.523	2516.92	14	2515.443	2599.049	2511.656	2504.231
15	2571.747	2258.601	2483.523	2516.92	15	2515.443	2599.049	2511.656	2504.231
16	2571.747	2360.426	2364.142	2438.447	16	2546.04	2482.256	2504.231	2591.384
17	2423.068	2360.426	2364.142	2438.447	17	2546.04	2482.256	2504.231	2591.384
18	2423.068	2360.426	2364.142	2438.447	18	2546.04	2482.256	2504.231	2591.384
19	2407.501	2360.426	2364.142	2438.447	19	2546.04	2482.256	2504.231	2591.384
20	2407.501	2360.426	2364.142	2438.447	20	2546.04	2482.256	2504.231	2591.384
21	2407.501	2360.426	2364.142	2438.447	21	2546.04	2482.256	2504.231	2591.384
22	2407.501	2360.426	2364.142	2438.447	22	2546.04	2482.256	2504.231	2591.384
23	2159.556	2213.276	2359.325	2167.561	23	2546.04	2482.256	2504.231	2591.384
24	2478.799	2478.799	2471.469	2265.051	24	2546.04	2482.256	2504.231	2591.384
25	2478.799	2478.799	2471.469	2265.051	25	2546.04	2482.256	2504.231	2591.384
26	2478.799	2478.799	2471.469	2265.051	26	2563.725	2545.122	2503.345	2495.929
27	2478.799	2478.799	2471.469	2265.051	27	2495.929	2488.54	2443.617	2477.551
28	2478.799	2478.799	2471.469	2265.051	30	2320.312	2323.673	2289.982	2279.416
					31	2329.971	2375.961	2483.05	2513.152



### 17. Power output ( Aktual) Turbin gas AX

Pebruari		Power Output (Aktual) Turbin Gas (AX) dalam (kW)				Maret		Power Output (Aktual) Turbin Gas (AX) dalam (kW)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00		
1	2271.642	2094.03	2246.269	2214.925	1	2016.418	1995.522	1991.791	1562.687		
2	2271.642	2094.03	2246.269	2214.925	2	1995.522	1995.522	1976.866	1898.507		
3	2271.642	2094.03	2246.269	2214.925	3	1920.896	1995.522	1976.866	1898.507		
4	2271.642	2094.03	2246.269	2214.925	4	1920.896	1995.522	1976.866	1898.507		
5	2271.642	2094.03	2246.269	2214.925	5	1865.672	1605.97	1976.866	1817.164		
6	2511.194	2094.03	2458.955	2391.045	6	1865.672	1450.746	1392.537	1817.164		
7	2511.194	2094.03	2458.955	2391.045	7	1865.672	1450.746	1392.537	1817.164		
8	2511.194	2094.03	2458.955	2391.045	8	2240.299	1915.672	2008.955	2479.104		
9	2511.194	2094.03	2458.955	2391.045	9	2240.299	1915.672	2008.955	2479.104		
10	2511.194	2094.03	2458.955	2391.045	10	2457.463	2587.313	2462.687	2479.104		
11	2511.194	2094.03	2458.955	2391.045	11	2457.463	2587.313	2462.687	2479.104		
12	2511.194	2094.03	2458.955	2391.045	12	2457.463	2587.313	2462.687	2479.104		
13	2511.194	2094.03	2458.955	2391.045	13	2457.463	2587.313	2462.687	2479.104		
14	2511.194	2094.03	2458.955	2391.045	14	2457.463	2587.313	2462.687	2479.104		
15	2511.194	2094.03	2458.955	2391.045	15	2457.463	2587.313	2462.687	2479.104		
16	2411.194	2323.134	2251.493	2421.642	16	2528.358	2481.343	2476.119	2493.284		
17	2411.194	2323.134	2251.493	2421.642	17	2528.358	2481.343	2476.119	2493.284		
18	2411.194	2323.134	2251.493	2421.642	18	2528.358	2481.343	2476.119	2493.284		
19	2336.567	2323.134	2251.493	2421.642	19	2528.358	2481.343	2476.119	2493.284		
20	2336.567	2323.134	2251.493	2421.642	20	2238.806	2238.806	2238.806	2493.284		
21	2336.567	2323.134	2251.493	2421.642	21	2528.358	2481.343	2491.045	2493.284		
22	2336.567	2323.134	2251.493	2421.642	22	2528.358	2481.343	2491.045	2493.284		
23	2017.91	2019.403	2251.493	2164.179	23	2528.358	2481.343	2491.045	2493.284		
24	2465.672	2392.537	1696.269	2237.313	24	2528.358	2481.343	2491.045	2493.284		
25	2465.672	2392.537	2442.537	2237.313	25	2528.358	2481.343	2491.045	2493.284		
26	2465.672	2392.537	2442.537	2237.313	26	2360.448	2481.343	2376.866	2353.731		
27	2465.672	2392.537	2442.537	2237.313	27	2360.448	2370.896	2376.866	2353.731		
28	2465.672	2392.537	2442.537	2237.313	30	1649.254	1620.896	2215.672	1558.955		
					31	1558.955	1689.552	2476.866	1791.045		

**18. Temperatur udara lingkungan ( $T_{\text{ambient}}$ ) atau  $T_{\text{inlet BX}}$**

Pebruari	$T_0 = T_1$ Turbin Gas (BX) dalam Kelvin(K)				Maret	$T_0 = T_1$ Turbin Gas (BX) dalam Kelvin(K)			
	Tanggal	5:00	11:00	17:00		23:00	Tanggal	5:00	11:00
1	300.9278	299.8167	301.4833	301.4833	1	300.9278	301.4833	301.4833	301.4833
2	300.9278	299.8167	301.4833	301.4833	2	302.5944	302.5944	303.15	300.3722
3	300.9278	299.8167	301.4833	301.4833	3	302.5944	302.5944	303.15	300.3722
4	300.9278	299.8167	301.4833	301.4833	4	300.9278	300.9278	300.3722	299.8167
5	300.9278	299.8167	301.4833	301.4833	5	300.9278	300.9278	300.3722	299.8167
6	299.8167	301.4833	301.4833	299.2611	6	299.2611	301.4833	302.0389	301.4833
7	299.8167	301.4833	301.4833	299.2611	7	299.2611	301.4833	302.0389	302.0389
8	299.8167	301.4833	301.4833	299.2611	8	299.2611	301.4833	302.0389	302.0389
9	299.8167	301.4833	301.4833	299.2611	9	299.2611	301.4833	302.0389	302.0389
10	299.8167	301.4833	301.4833	299.2611	10	299.8167	299.2611	302.5944	300.9278
11	299.8167	301.4833	301.4833	299.2611	11	299.8167	299.2611	302.5944	300.9278
12	299.8167	301.4833	301.4833	299.2611	12	299.8167	299.2611	302.5944	300.9278
13	299.8167	301.4833	301.4833	299.2611	13	299.8167	299.2611	302.5944	300.9278
14	299.8167	301.4833	301.4833	299.2611	14	299.8167	299.2611	302.5944	300.9278
15	299.8167	301.4833	301.4833	299.2611	15	299.8167	299.2611	302.5944	300.9278
16	299.8167	302.0389	301.4833	300.3722	16	300.9278	301.4833	303.15	299.8167
17	299.8167	302.0389	301.4833	300.3722	17	300.9278	301.4833	303.15	299.8167
18	299.8167	302.0389	301.4833	300.3722	18	300.9278	301.4833	303.15	299.8167
19	299.8167	302.0389	301.4833	300.3722	19	300.9278	301.4833	303.15	299.8167
20	299.8167	302.0389	301.4833	300.3722	20	300.9278	301.4833	303.15	299.8167
21	299.8167	302.0389	301.4833	300.3722	21	300.9278	301.4833	303.15	299.8167
22	299.8167	299.2611	301.4833	301.4833	22	300.9278	301.4833	303.15	299.8167
23	300.9278	301.4833	301.4833	301.4833	23	300.9278	301.4833	301.4833	301.4833
24	300.9278	301.4833	301.4833	301.4833	24	300.9278	301.4833	303.15	299.8167
25	300.9278	301.4833	301.4833	301.4833	25	300.9278	301.4833	303.15	299.8167
26	300.9278	301.4833	301.4833	301.4833	26	299.8167	300.3722	301.4833	301.4833
27	300.9278	301.4833	301.4833	301.4833	27	301.4833	301.4833	303.15	301.4833
28	300.9278	301.4833	301.4833	301.4833	30	301.4833	299.8167	298.7056	298.7056
					31	300.9278	301.4833	302.5944	300.9278

### 19. Temperatur pada saat keluar dari kompresor aksial BX

Pebruari		T <sub>2</sub> Turbin Gas (BX) dalam Kelvin(K)				Maret		T <sub>2</sub> Turbin Gas (BX) dalam Kelvin(K)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00		
1	527.8455	525.8965	527.3622	528.82	1	527.8455	528.82	528.82	528.82		
2	527.8455	525.8965	527.3622	528.82	2	530.7689	530.7689	530.2776	526.871		
3	527.8455	525.8965	527.3622	528.82	3	530.7689	530.7689	530.2776	526.871		
4	527.8455	525.8965	527.3622	528.82	4	521.9638	521.9638	521.0002	520.0366		
5	527.8455	525.8965	527.3622	528.82	5	521.9638	521.9638	521.0002	520.0366		
6	521.517	524.4161	531.7057	530.6126	6	519.0729	516.864	514.7112	527.3622		
7	521.517	524.4161	531.7057	530.6126	7	519.0729	516.864	514.7112	528.334		
8	521.517	524.4161	531.7057	530.6126	8	519.0729	516.864	514.7112	528.334		
9	521.517	524.4161	531.7057	530.6126	9	519.0729	516.864	514.7112	528.334		
10	521.517	524.4161	531.7057	530.6126	10	525.8965	524.9221	530.7689	530.7259		
11	521.517	524.4161	531.7057	530.6126	11	525.8965	524.9221	530.7689	530.7259		
12	521.517	524.4161	531.7057	530.6126	12	525.8965	524.9221	530.7689	530.7259		
13	521.517	524.4161	531.7057	530.6126	13	525.8965	524.9221	530.7689	530.7259		
14	521.517	524.4161	531.7057	530.6126	14	525.8965	524.9221	530.7689	530.7259		
15	521.517	524.4161	531.7057	530.6126	15	525.8965	524.9221	530.7689	530.7259		
16	522.9871	525.3825	524.4161	523.9562	16	524.9252	524.4161	525.8183	520.0366		
17	522.9871	525.3825	524.4161	523.9562	17	524.9252	524.4161	525.8183	520.0366		
18	522.9871	525.3825	524.4161	523.9562	18	524.9252	524.4161	525.8183	520.0366		
19	521.517	525.3825	524.4161	523.9562	19	524.9252	524.4161	525.8183	520.0366		
20	521.517	525.3825	524.4161	523.9562	20	524.9252	524.4161	525.8183	520.0366		
21	521.517	525.3825	524.4161	523.9562	21	524.9252	524.4161	525.8183	520.0366		
22	525.8965	524.9221	527.3622	528.82	22	524.9252	524.4161	525.8183	520.0366		
23	527.8455	528.82	528.82	528.82	23	524.9252	525.8943	525.8943	525.8943		
24	527.8455	528.82	528.82	528.82	24	524.9252	524.4161	525.8183	520.0366		
25	527.8455	528.82	528.82	528.82	25	524.9252	524.4161	525.8183	520.0366		
26	527.8455	528.82	528.82	528.82	26	527.3363	529.7461	528.82	528.82		
27	527.8455	528.82	528.82	528.82	27	528.82	528.82	530.2776	528.82		
28	527.8455	528.82	528.82	528.82	30	510.6174	507.7946	505.9127	509.0308		
					31	509.6765	527.3622	529.3058	529.2906		

## 20. Wkompresor /m BX

Pebruari	w				Maret	w			
	Turbin Gas (BX) dalam Kelvin(K)					Turbin Gas (BX) dalam Kelvin(K)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00
1	228.0523	227.2103	227.0083	228.4733	1	228.0523	228.4733	228.4733	228.4733
2	228.0523	227.2103	227.0083	228.4733	2	229.3153	229.3153	228.2632	227.6313
3	228.0523	227.2103	227.0083	228.4733	3	229.3153	229.3153	228.2632	227.6313
4	228.0523	227.2103	227.0083	228.4733	4	222.1412	222.1412	221.7311	221.321
5	228.0523	227.2103	227.0083	228.4733	5	222.1412	222.1412	221.7311	221.321
6	222.8089	224.0475	231.3735	232.5082	6	220.9109	216.4576	213.7357	227.0083
7	222.8089	224.0475	231.3735	232.5082	7	220.9109	216.4576	213.7357	227.4266
8	222.8089	224.0475	231.3735	232.5082	8	220.9109	216.4576	213.7357	227.4266
9	222.8089	224.0475	231.3735	232.5082	9	220.9109	216.4576	213.7357	227.4266
10	222.8089	224.0475	231.3735	232.5082	10	227.2103	226.7892	229.3153	230.9471
11	222.8089	224.0475	231.3735	232.5082	11	227.2103	226.7892	229.3153	230.9471
12	222.8089	224.0475	231.3735	232.5082	12	227.2103	226.7892	229.3153	230.9471
13	222.8089	224.0475	231.3735	232.5082	13	227.2103	226.7892	229.3153	230.9471
14	222.8089	224.0475	231.3735	232.5082	14	227.2103	226.7892	229.3153	230.9471
15	222.8089	224.0475	231.3735	232.5082	15	227.2103	226.7892	229.3153	230.9471
16	224.2863	224.4603	224.0475	224.7019	16	225.1175	224.0475	223.7816	221.321
17	224.2863	224.4603	224.0475	224.7019	17	225.1175	224.0475	223.7816	221.321
18	224.2863	224.4603	224.0475	224.7019	18	225.1175	224.0475	223.7816	221.321
19	222.8089	224.4603	224.0475	224.7019	19	225.1175	224.0475	223.7816	221.321
20	222.8089	224.4603	224.0475	224.7019	20	225.1175	224.0475	223.7816	221.321
21	222.8089	224.4603	224.0475	224.7019	21	225.1175	224.0475	223.7816	221.321
22	227.2103	226.7892	227.0083	228.4733	22	225.1175	224.0475	223.7816	221.321
23	228.0523	228.4733	228.4733	228.4733	23	225.1175	225.533	225.533	225.533
24	228.0523	228.4733	228.4733	228.4733	24	225.1175	224.0475	223.7816	221.321
25	228.0523	228.4733	228.4733	228.4733	25	225.1175	224.0475	223.7816	221.321
26	228.0523	228.4733	228.4733	228.4733	26	228.6572	230.5207	228.4733	228.4733
27	228.0523	228.4733	228.4733	228.4733	27	228.4733	228.4733	228.2632	228.4733
28	228.0523	228.4733	228.4733	228.4733	30	210.1797	209.0178	208.2432	211.3768
					31	209.7924	227.0083	227.8449	229.5046

21.  $\Delta T_{35}$  BX

Pebruari	Delta T <sub>35</sub> Turbin Gas (BX) dalam Kelvin(K)				Maret	Delta T <sub>35</sub> Turbin Gas (BX) dalam Kelvin(K)			
	Tanggal	5:00	11:00	17:00		23:00	Tanggal	5:00	11:00
1	198.825	198.0909	197.9148	199.1921	1	198.825	199.1921	199.1921	199.1921
2	198.825	198.0909	197.9148	199.1921	2	199.9262	199.9262	199.0089	198.458
3	198.825	198.0909	197.9148	199.1921	3	199.9262	199.9262	199.0089	198.458
4	198.825	198.0909	197.9148	199.1921	4	193.6715	193.6715	193.314	192.9564
5	198.825	198.0909	197.9148	199.1921	5	193.6715	193.6715	193.314	192.9564
6	194.2536	195.3334	201.7205	202.7099	6	192.5989	188.7163	186.3432	197.9148
7	194.2536	195.3334	201.7205	202.7099	7	192.5989	188.7163	186.3432	198.2795
8	194.2536	195.3334	201.7205	202.7099	8	192.5989	188.7163	186.3432	198.2795
9	194.2536	195.3334	201.7205	202.7099	9	192.5989	188.7163	186.3432	198.2795
10	194.2536	195.3334	201.7205	202.7099	10	198.0909	197.7238	199.9262	201.3488
11	194.2536	195.3334	201.7205	202.7099	11	198.0909	197.7238	199.9262	201.3488
12	194.2536	195.3334	201.7205	202.7099	12	198.0909	197.7238	199.9262	201.3488
13	194.2536	195.3334	201.7205	202.7099	13	198.0909	197.7238	199.9262	201.3488
14	194.2536	195.3334	201.7205	202.7099	14	198.0909	197.7238	199.9262	201.3488
15	194.2536	195.3334	201.7205	202.7099	15	198.0909	197.7238	199.9262	201.3488
16	195.5416	195.6934	195.3334	195.904	16	196.2663	195.3334	195.1017	192.9564
17	195.5416	195.6934	195.3334	195.904	17	196.2663	195.3334	195.1017	192.9564
18	195.5416	195.6934	195.3334	195.904	18	196.2663	195.3334	195.1017	192.9564
19	194.2536	195.6934	195.3334	195.904	19	196.2663	195.3334	195.1017	192.9564
20	194.2536	195.6934	195.3334	195.904	20	196.2663	195.3334	195.1017	192.9564
21	194.2536	195.6934	195.3334	195.904	21	196.2663	195.3334	195.1017	192.9564
22	198.0909	197.7238	197.9148	199.1921	22	196.2663	195.3334	195.1017	192.9564
23	198.825	199.1921	199.1921	199.1921	23	196.2663	196.6286	196.6286	196.6286
24	198.825	199.1921	199.1921	199.1921	24	196.2663	195.3334	195.1017	192.9564
25	198.825	199.1921	199.1921	199.1921	25	196.2663	195.3334	195.1017	192.9564
26	198.825	199.1921	199.1921	199.1921	26	199.3524	200.9771	199.1921	199.1921
27	198.825	199.1921	199.1921	199.1921	27	199.1921	199.1921	199.0089	199.1921
28	198.825	199.1921	199.1921	199.1921	30	183.243	182.23	181.5547	184.2867
					31	182.9053	197.9148	198.6442	200.0912

## 22. Temperatur pada saat keluar dari combustor chamber BX

Pebruari		T <sub>3</sub> Turbin Gas (BX) dalam Kelvin(K)				Maret		T <sub>3</sub> Turbin Gas (BX) dalam Kelvin(K)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00		
1	1043.086	1040.685	1043.287	1044.564	1	1055.864	1056.787	1056.787	1044.564		
2	1043.086	1040.685	1043.287	1044.564	2	1055.854	1055.854	1056.048	1048.83		
3	1043.086	1040.685	1043.287	1044.564	3	1055.854	1055.854	1056.048	1048.83		
4	1043.086	1040.685	1043.287	1044.564	4	1033.488	1033.488	1032.02	1031.662		
5	1043.086	1040.685	1043.287	1044.564	5	1033.488	1033.488	1032.02	1031.662		
6	1028.515	1030.706	1049.871	1057.527	6	1030.749	1016.311	1008.938	1046.065		
7	1028.515	1030.706	1049.871	1057.527	7	1030.749	1016.311	1008.938	1053.652		
8	1028.515	1030.706	1049.871	1057.527	8	1030.749	1016.311	1008.938	1053.652		
9	1028.515	1030.706	1049.871	1057.527	9	1030.749	1016.311	1008.938	1053.652		
10	1028.515	1030.706	1049.871	1057.527	10	1051.241	1045.318	1054.743	1060.054		
11	1028.515	1030.706	1049.871	1057.527	11	1051.241	1045.318	1054.743	1060.054		
12	1028.515	1030.706	1049.871	1057.527	12	1051.241	1045.318	1054.743	1060.054		
13	1028.515	1030.706	1049.871	1057.527	13	1051.241	1045.318	1054.743	1060.054		
14	1028.515	1030.706	1049.871	1057.527	14	1051.241	1045.318	1054.743	1060.054		
15	1028.515	1030.706	1049.871	1057.527	15	1051.241	1045.318	1054.743	1060.054		
16	1043.136	1042.732	1043.483	1041.832	16	1040.527	1041.261	1040.474	1031.662		
17	1043.136	1042.732	1043.483	1041.832	17	1040.527	1041.261	1040.474	1031.662		
18	1043.136	1042.732	1043.483	1041.832	18	1040.527	1041.261	1040.474	1031.662		
19	1041.848	1042.732	1043.483	1041.832	19	1040.527	1041.261	1040.474	1031.662		
20	1041.848	1042.732	1043.483	1041.832	20	1040.527	1041.261	1040.474	1031.662		
21	1041.848	1042.732	1043.483	1041.832	21	1040.527	1041.261	1040.474	1031.662		
22	1042.352	1040.318	1043.287	1044.564	22	1040.527	1041.261	1040.474	1031.662		
23	1055.864	1056.787	1056.787	1044.564	23	1040.527	1042.556	1042.556	1042.556		
24	1055.864	1056.787	1056.787	1044.564	24	1040.527	1041.261	1040.474	1031.662		
25	1055.864	1056.787	1056.787	1044.564	25	1040.527	1041.261	1040.474	1031.662		
26	1055.864	1056.787	1056.787	1044.564	26	1057.502	1059.683	1057.342	1056.787		
27	1055.864	1056.787	1056.787	1044.564	27	1058.453	1057.898	1059.381	1056.787		
28	1055.864	1056.787	1056.787	1044.564	30	1042.504	998.7133	994.1491	999.1034		
					31	998.8331	1049.398	1056.239	1054.908		



### 23. Temperatur gas antara Gas Production (GP) dan Power Turbin (PT) BX

Pebruari		T <sub>5</sub> Turbin Gas (BX) dalam Kelvin(K)				Maret		T <sub>5</sub> Turbin Gas (BX) dalam Kelvin(K)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00		
1	844.2611	842.5944	845.3722	845.3722	1	857.0389	857.5944	857.5944	845.3722		
2	844.2611	842.5944	845.3722	845.3722	2	855.9278	855.9278	857.0389	850.3722		
3	844.2611	842.5944	845.3722	845.3722	3	855.9278	855.9278	857.0389	850.3722		
4	844.2611	842.5944	845.3722	845.3722	4	839.8167	839.8167	838.7056	838.7056		
5	844.2611	842.5944	845.3722	845.3722	5	839.8167	839.8167	838.7056	838.7056		
6	834.2611	835.3722	848.15	854.8167	6	838.15	827.5944	822.5944	848.15		
7	834.2611	835.3722	848.15	854.8167	7	838.15	827.5944	822.5944	855.3722		
8	834.2611	835.3722	848.15	854.8167	8	838.15	827.5944	822.5944	855.3722		
9	834.2611	835.3722	848.15	854.8167	9	838.15	827.5944	822.5944	855.3722		
10	834.2611	835.3722	848.15	854.8167	10	853.15	847.5944	854.8167	858.7056		
11	834.2611	835.3722	848.15	854.8167	11	853.15	847.5944	854.8167	858.7056		
12	834.2611	835.3722	848.15	854.8167	12	853.15	847.5944	854.8167	858.7056		
13	834.2611	835.3722	848.15	854.8167	13	853.15	847.5944	854.8167	858.7056		
14	834.2611	835.3722	848.15	854.8167	14	853.15	847.5944	854.8167	858.7056		
15	834.2611	835.3722	848.15	854.8167	15	853.15	847.5944	854.8167	858.7056		
16	847.5944	847.0389	848.15	845.9278	16	844.2611	845.9278	845.3722	838.7056		
17	847.5944	847.0389	848.15	845.9278	17	844.2611	845.9278	845.3722	838.7056		
18	847.5944	847.0389	848.15	845.9278	18	844.2611	845.9278	845.3722	838.7056		
19	847.5944	847.0389	848.15	845.9278	19	844.2611	845.9278	845.3722	838.7056		
20	847.5944	847.0389	848.15	845.9278	20	844.2611	845.9278	845.3722	838.7056		
21	847.5944	847.0389	848.15	845.9278	21	844.2611	845.9278	845.3722	838.7056		
22	844.2611	842.5944	845.3722	845.3722	22	844.2611	845.9278	845.3722	838.7056		
23	857.0389	857.5944	857.5944	845.3722	23	844.2611	845.9278	845.9278	845.9278		
24	857.0389	857.5944	857.5944	845.3722	24	844.2611	845.9278	845.3722	838.7056		
25	857.0389	857.5944	857.5944	845.3722	25	844.2611	845.9278	845.3722	838.7056		
26	857.0389	857.5944	857.5944	845.3722	26	858.15	858.7056	858.15	857.5944		
27	857.0389	857.5944	857.5944	845.3722	27	859.2611	858.7056	860.3722	857.5944		
28	857.0389	857.5944	857.5944	845.3722	30	859.2611	816.4833	812.5944	814.8167		
					31	815.9278	851.4833	857.5944	854.8167		

## 24. Temperatur gas pada saat keluar dari Power turbin BX

Pebruari	T <sub>6</sub> Turbin Gas (BX) dalam Kelvin(K)				Maret	T <sub>6</sub> Turbin Gas (BX) dalam Kelvin(K)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00
1	751.3363	749.6326	753.0732	752.3932	1	760.7647	761.4116	761.4116	752.3932
2	751.3363	749.6326	753.0732	752.3932	2	760.6559	760.6559	762.4067	755.6086
3	751.3363	749.6326	753.0732	752.3932	3	760.6559	760.6559	762.4067	755.6086
4	751.3363	749.6326	753.0732	752.3932	4	750.7999	750.7999	749.7406	749.5078
5	751.3363	749.6326	753.0732	752.3932	5	750.7999	750.7999	749.7406	749.5078
6	745.5093	747.0356	753.0999	755.7064	6	748.8617	744.7485	742.6687	755.1269
7	745.5093	747.0356	753.0999	755.7064	7	748.8617	744.7485	742.6687	760.7025
8	745.5093	747.0356	753.0999	755.7064	8	748.8617	744.7485	742.6687	760.7025
9	745.5093	747.0356	753.0999	755.7064	9	748.8617	744.7485	742.6687	760.7025
10	745.5093	747.0356	753.0999	755.7064	10	757.4212	753.0849	759.8361	760.6191
11	745.5093	747.0356	753.0999	755.7064	11	757.4212	753.0849	759.8361	760.6191
12	745.5093	747.0356	753.0999	755.7064	12	757.4212	753.0849	759.8361	760.6191
13	745.5093	747.0356	753.0999	755.7064	13	757.4212	753.0849	759.8361	760.6191
14	745.5093	747.0356	753.0999	755.7064	14	757.4212	753.0849	759.8361	760.6191
15	745.5093	747.0356	753.0999	755.7064	15	757.4212	753.0849	759.8361	760.6191
16	754.7031	755.9301	756.521	753.7034	16	752.7036	754.8714	755.8636	749.5078
17	754.7031	755.9301	756.521	753.7034	17	752.7036	754.8714	755.8636	749.5078
18	754.7031	755.9301	756.521	753.7034	18	752.7036	754.8714	755.8636	749.5078
19	755.4068	755.9301	756.521	753.7034	19	752.7036	754.8714	755.8636	749.5078
20	755.4068	755.9301	756.521	753.7034	20	752.7036	754.8714	755.8636	749.5078
21	755.4068	755.9301	756.521	753.7034	21	752.7036	754.8714	755.8636	749.5078
22	750.8624	749.3956	753.0732	752.3932	22	752.7036	754.8714	755.8636	749.5078
23	760.7647	761.4116	761.4116	752.3932	23	752.7036	754.1733	754.1733	754.1733
24	760.7647	761.4116	761.4116	752.3932	24	752.7036	754.8714	755.8636	749.5078
25	760.7647	761.4116	761.4116	752.3932	25	752.7036	754.8714	755.8636	749.5078
26	760.7647	761.4116	761.4116	752.3932	26	760.4173	760.38	761.8215	761.4116
27	760.7647	761.4116	761.4116	752.3932	27	762.6414	762.2314	764.8711	761.4116
28	760.7647	761.4116	761.4116	752.3932	30	771.6707	738.6317	735.2413	735.4523
					31	738.6589	757.5914	762.5814	758.4387



25. Tekanan udara lingkungan ( $P_{\text{ambient}}$ ) atau  $P_{\text{inlet BX}}$ 

Pebruari		$P_0 = P_1$ Turbin Gas (BX) dalam (kPa)				Maret		$P_0 = P_1$ Turbin Gas (BX) dalam (kPa)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00		
1	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	1	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
2	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	2	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
3	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	3	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
4	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	4	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
5	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	5	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
6	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	6	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
7	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	7	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
8	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	8	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
9	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	9	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
10	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	10	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
11	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	11	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
12	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	12	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
13	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	13	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
14	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	14	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
15	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	15	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
16	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	16	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
17	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	17	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
18	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	18	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
19	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	19	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
20	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	20	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
21	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	21	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
22	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	22	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
23	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	23	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
24	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	24	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
25	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	25	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
26	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	26	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
27	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	27	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
28	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118	30	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		
					31	100.3118	100.3118	100.3118	100.3118		

## 26. Tekanan pada saat keluar dari kompresor aksial (Pcd) BX

Pebruari		P <sub>2</sub> Turbin Gas (BX) dalam (kPa)				Maret		P <sub>2</sub> Turbin Gas (BX) dalam (kPa)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00		
1	717.0519	717.0519	710.1572	717.0519	1	717.0519	717.0519	717.0519	717.0519		
2	717.0519	717.0519	710.1572	717.0519	2	717.0519	717.0519	710.1572	717.0519		
3	717.0519	717.0519	710.1572	717.0519	3	717.0519	717.0519	710.1572	717.0519		
4	717.0519	717.0519	710.1572	717.0519	4	689.473	689.473	689.473	689.473		
5	717.0519	717.0519	710.1572	717.0519	5	689.473	689.473	689.473	689.473		
6	696.3677	696.3677	730.8414	744.6308	6	689.473	661.8941	648.1046	710.1572		
7	696.3677	696.3677	730.8414	744.6308	7	689.473	661.8941	648.1046	710.1572		
8	696.3677	696.3677	730.8414	744.6308	8	689.473	661.8941	648.1046	710.1572		
9	696.3677	696.3677	730.8414	744.6308	9	689.473	661.8941	648.1046	710.1572		
10	696.3677	696.3677	730.8414	744.6308	10	717.0519	717.0519	717.0519	730.8414		
11	696.3677	696.3677	730.8414	744.6308	11	717.0519	717.0519	717.0519	730.8414		
12	696.3677	696.3677	730.8414	744.6308	12	717.0519	717.0519	717.0519	730.8414		
13	696.3677	696.3677	730.8414	744.6308	13	717.0519	717.0519	717.0519	730.8414		
14	696.3677	696.3677	730.8414	744.6308	14	717.0519	717.0519	717.0519	730.8414		
15	696.3677	696.3677	730.8414	744.6308	15	717.0519	717.0519	717.0519	730.8414		
16	703.2625	696.3677	696.3677	703.2625	16	703.2625	696.3677	689.473	689.473		
17	703.2625	696.3677	696.3677	703.2625	17	703.2625	696.3677	689.473	689.473		
18	703.2625	696.3677	696.3677	703.2625	18	703.2625	696.3677	689.473	689.473		
19	696.3677	696.3677	696.3677	703.2625	19	703.2625	696.3677	689.473	689.473		
20	696.3677	696.3677	696.3677	703.2625	20	703.2625	696.3677	689.473	689.473		
21	696.3677	696.3677	696.3677	703.2625	21	703.2625	696.3677	689.473	689.473		
22	717.0519	717.0519	710.1572	717.0519	22	703.2625	696.3677	689.473	689.473		
23	717.0519	717.0519	717.0519	717.0519	23	703.2625	703.2625	703.2625	703.2625		
24	717.0519	717.0519	717.0519	717.0519	24	703.2625	696.3677	689.473	689.473		
25	717.0519	717.0519	717.0519	717.0519	25	703.2625	696.3677	689.473	689.473		
26	717.0519	717.0519	717.0519	717.0519	26	723.9467	730.8414	717.0519	717.0519		
27	717.0519	717.0519	717.0519	717.0519	27	717.0519	717.0519	710.1572	717.0519		
28	717.0519	717.0519	717.0519	717.0519	30	634.3152	634.3152	634.3152	648.1046		
					31	634.3152	710.1572	710.1572	723.9467		

## 27. Tekanan pada saat keluar dari combustor chamber BX

Pebruari		P <sub>3</sub> Turbin Gas (BX) dalam (kPa)				Maret		P <sub>3</sub> Turbin Gas (BX) dalam (kPa)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00		
1	702.7109	702.7109	695.954	702.7109	1	702.7109	702.7109	702.7109	702.7109		
2	702.7109	702.7109	695.954	702.7109	2	702.7109	702.7109	695.954	702.7109		
3	702.7109	702.7109	695.954	702.7109	3	702.7109	702.7109	695.954	702.7109		
4	702.7109	702.7109	695.954	702.7109	4	675.6835	675.6835	675.6835	675.6835		
5	702.7109	702.7109	695.954	702.7109	5	675.6835	675.6835	675.6835	675.6835		
6	682.4404	682.4404	716.2246	729.7382	6	675.6835	648.6562	635.1425	695.954		
7	682.4404	682.4404	716.2246	729.7382	7	675.6835	648.6562	635.1425	695.954		
8	682.4404	682.4404	716.2246	729.7382	8	675.6835	648.6562	635.1425	695.954		
9	682.4404	682.4404	716.2246	729.7382	9	675.6835	648.6562	635.1425	695.954		
10	682.4404	682.4404	716.2246	729.7382	10	702.7109	702.7109	702.7109	716.2246		
11	682.4404	682.4404	716.2246	729.7382	11	702.7109	702.7109	702.7109	716.2246		
12	682.4404	682.4404	716.2246	729.7382	12	702.7109	702.7109	702.7109	716.2246		
13	682.4404	682.4404	716.2246	729.7382	13	702.7109	702.7109	702.7109	716.2246		
14	682.4404	682.4404	716.2246	729.7382	14	702.7109	702.7109	702.7109	716.2246		
15	682.4404	682.4404	716.2246	729.7382	15	702.7109	702.7109	702.7109	716.2246		
16	689.1972	682.4404	682.4404	689.1972	16	689.1972	682.4404	675.6835	675.6835		
17	689.1972	682.4404	682.4404	689.1972	17	689.1972	682.4404	675.6835	675.6835		
18	689.1972	682.4404	682.4404	689.1972	18	689.1972	682.4404	675.6835	675.6835		
19	682.4404	682.4404	682.4404	689.1972	19	689.1972	682.4404	675.6835	675.6835		
20	682.4404	682.4404	682.4404	689.1972	20	689.1972	682.4404	675.6835	675.6835		
21	682.4404	682.4404	682.4404	689.1972	21	689.1972	682.4404	675.6835	675.6835		
22	702.7109	702.7109	695.954	702.7109	22	689.1972	682.4404	675.6835	675.6835		
23	702.7109	702.7109	702.7109	702.7109	23	689.1972	689.1972	689.1972	689.1972		
24	702.7109	702.7109	702.7109	702.7109	24	689.1972	682.4404	675.6835	675.6835		
25	702.7109	702.7109	702.7109	702.7109	25	689.1972	682.4404	675.6835	675.6835		
26	702.7109	702.7109	702.7109	702.7109	26	709.4677	716.2246	702.7109	702.7109		
27	702.7109	702.7109	702.7109	702.7109	27	702.7109	702.7109	695.954	702.7109		
28	702.7109	702.7109	702.7109	702.7109	30	621.6289	621.6289	621.6289	635.1425		
					31	621.6289	695.954	695.954	709.4677		

## 28. Tekanan gas antara Gas Production (GP) dan Power Turbin (PT) BX

Pebruari		P <sub>5</sub> Turbin Gas (BX) dalam (kPa)				Maret		P <sub>5</sub> Turbin Gas (BX) dalam (kPa)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00		
1	281.2515	281.6515	279.9045	281.1286	1	284.7387	284.461	284.461	281.1286		
2	281.2515	281.6515	279.9045	281.1286	2	283.1553	283.1553	281.7883	283.3548		
3	281.2515	281.6515	279.9045	281.1286	3	283.1553	283.1553	281.7883	283.3548		
4	281.2515	281.6515	279.9045	281.1286	4	275.1182	275.1182	275.2352	275.6484		
5	281.2515	281.6515	279.9045	281.1286	5	275.1182	275.1182	275.2352	275.6484		
6	275.6963	274.7465	284.327	290.3995	6	275.9146	266.5261	262.3572	280.6587		
7	275.6963	274.7465	284.327	290.3995	7	275.9146	266.5261	262.3572	282.185		
8	275.6963	274.7465	284.327	290.3995	8	275.9146	266.5261	262.3572	282.185		
9	275.6963	274.7465	284.327	290.3995	9	275.9146	266.5261	262.3572	282.185		
10	275.6963	274.7465	284.327	290.3995	10	284.5417	283.4555	282.8537	287.6895		
11	275.6963	274.7465	284.327	290.3995	11	284.5417	283.4555	282.8537	287.6895		
12	275.6963	274.7465	284.327	290.3995	12	284.5417	283.4555	282.8537	287.6895		
13	275.6963	274.7465	284.327	290.3995	13	284.5417	283.4555	282.8537	287.6895		
14	275.6963	274.7465	284.327	290.3995	14	284.5417	283.4555	282.8537	287.6895		
15	275.6963	274.7465	284.327	290.3995	15	284.5417	283.4555	282.8537	287.6895		
16	280.5315	277.4584	278.1691	279.6618	16	278.7919	277.5776	274.9476	275.6484		
17	280.5315	277.4584	278.1691	279.6618	17	278.7919	277.5776	274.9476	275.6484		
18	280.5315	277.4584	278.1691	279.6618	18	278.7919	277.5776	274.9476	275.6484		
19	279.2713	277.4584	278.1691	279.6618	19	278.7919	277.5776	274.9476	275.6484		
20	279.2713	277.4584	278.1691	279.6618	20	278.7919	277.5776	274.9476	275.6484		
21	279.2713	277.4584	278.1691	279.6618	21	278.7919	277.5776	274.9476	275.6484		
22	282.1102	282.082	279.9045	281.1286	22	278.7919	277.5776	274.9476	275.6484		
23	284.7387	284.461	284.461	281.1286	23	278.7919	278.821	278.821	278.821		
24	284.7387	284.461	284.461	281.1286	24	278.7919	277.5776	274.9476	275.6484		
25	284.7387	284.461	284.461	281.1286	25	278.7919	277.5776	274.9476	275.6484		
26	284.7387	284.461	284.461	281.1286	26	287.1594	288.1267	284.6113	284.461		
27	284.7387	284.461	284.461	281.1286	27	284.9117	284.7616	282.6809	284.461		
28	284.7387	284.461	284.461	281.1286	30	269.1636	259.827	259.6091	262.6924		
					31	258.9278	281.5606	282.3591	285.3801		

## 29. Tekanan gas pada saat keluar dari Power Turbin BX

Pebruari	$P_6$ Turbin Gas (BX) dalam (kPa)				Maret	$P_6$ Turbin Gas (BX) dalam (kPa)			
	Tanggal	5:00	11:00	17:00		23:00	Tanggal	5:00	11:00
1	160.12	160.12	160.12	160.12	1	160.12	160.12	160.12	160.12
2	160.12	160.12	160.12	160.12	2	160.12	160.12	160.12	160.12
3	160.12	160.12	160.12	160.12	3	160.12	160.12	160.12	160.12
4	160.12	160.12	160.12	160.12	4	160.12	160.12	160.12	160.12
5	160.12	160.12	160.12	160.12	5	160.12	160.12	160.12	160.12
6	160.12	160.12	160.12	160.12	6	160.12	160.12	160.12	160.12
7	160.12	160.12	160.12	160.12	7	160.12	160.12	160.12	160.12
8	160.12	160.12	160.12	160.12	8	160.12	160.12	160.12	160.12
9	160.12	160.12	160.12	160.12	9	160.12	160.12	160.12	160.12
10	160.12	160.12	160.12	160.12	10	160.12	160.12	160.12	160.12
11	160.12	160.12	160.12	160.12	11	160.12	160.12	160.12	160.12
12	160.12	160.12	160.12	160.12	12	160.12	160.12	160.12	160.12
13	160.12	160.12	160.12	160.12	13	160.12	160.12	160.12	160.12
14	160.12	160.12	160.12	160.12	14	160.12	160.12	160.12	160.12
15	160.12	160.12	160.12	160.12	15	160.12	160.12	160.12	160.12
16	160.12	160.12	160.12	160.12	16	160.12	160.12	160.12	160.12
17	160.12	160.12	160.12	160.12	17	160.12	160.12	160.12	160.12
18	160.12	160.12	160.12	160.12	18	160.12	160.12	160.12	160.12
19	160.12	160.12	160.12	160.12	19	160.12	160.12	160.12	160.12
20	160.12	160.12	160.12	160.12	20	160.12	160.12	160.12	160.12
21	160.12	160.12	160.12	160.12	21	160.12	160.12	160.12	160.12
22	160.12	160.12	160.12	160.12	22	160.12	160.12	160.12	160.12
23	160.12	160.12	160.12	160.12	23	160.12	160.12	160.12	160.12
24	160.12	160.12	160.12	160.12	24	160.12	160.12	160.12	160.12
25	160.12	160.12	160.12	160.12	25	160.12	160.12	160.12	160.12
26	160.12	160.12	160.12	160.12	26	160.12	160.12	160.12	160.12
27	160.12	160.12	160.12	160.12	27	160.12	160.12	160.12	160.12
28	160.12	160.12	160.12	160.12	30	160.12	160.12	160.12	160.12
					31	160.12	160.12	160.12	160.12

## 30. Rasio kompresi pagi dan sore Turbin Gas BX

Pebruari	Rasio kompresi ( $P_2/P_0$ ) (BX)		Maret	Rasio kompresi ( $P_2/P_0$ ) (BX)	
	tanggal	Pagi		Sore	tanggal
1	7.148231	7.079498	1	7.148231	7.148231
2	7.148231	7.079498	2	7.148231	7.079498
3	7.148231	7.079498	3	7.148231	7.079498
4	7.148231	7.079498	4	6.873299	6.873299
5	7.148231	7.079498	5	6.873299	6.873299
6	6.942032	7.285697	6	6.873299	6.460901
7	6.942032	7.285697	7	6.873299	6.460901
8	6.942032	7.285697	8	6.873299	6.460901
9	6.942032	7.285697	9	6.873299	6.460901
10	6.942032	7.285697	10	7.148231	7.148231
11	6.942032	7.285697	11	7.148231	7.148231
12	6.942032	7.285697	12	7.148231	7.148231
13	6.942032	7.285697	13	7.148231	7.148231
14	6.942032	7.285697	14	7.148231	7.148231
15	6.942032	7.285697	15	7.148231	7.148231
16	7.010765	6.942032	16	7.010765	6.873299
17	7.010765	6.942032	17	7.010765	6.873299
18	7.010765	6.942032	18	7.010765	6.873299
19	6.942032	6.942032	19	7.010765	6.873299
20	6.942032	6.942032	20	7.010765	6.873299
21	6.942032	6.942032	21	7.010765	6.873299
22	7.148231	7.079498	22	7.010765	6.873299
23	7.148231	7.148231	23	7.010765	7.010765
24	7.148231	7.148231	24	7.010765	6.873299
25	7.148231	7.148231	25	7.010765	6.873299
26	7.148231	7.148231	26	7.216964	7.148231
27	7.148231	7.148231	27	7.148231	7.079498
28	7.148231	7.148231	30	6.323435	6.323435
			31	6.323435	7.079498

### 31. Kecepatan putar Power Turbin (PT Speed) BX

Pebruari		Power Turbin (PT)Speed Turbin Gas (BX) dalam (RPM)				Maret		Power Turbin (PT)Speed Turbin Gas (BX) dalam (RPM)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00		
1	14260	13950	14182.5	14167	1	13950	14012	14260	14120.5		
2	14260	13950	14182.5	14167	2	14105	14105	14105	13996.5		
3	14260	13950	14182.5	14167	3	14105	14105	14105	13996.5		
4	14260	13950	14182.5	14167	4	13826	13795	13764	13795		
5	14260	13950	14182.5	14167	5	13826	13795	13764	13795		
6	14105	14105	13950	14105	6	14182.5	14322	14182.5	14089.5		
7	14105	14105	13950	14105	7	14182.5	14322	14182.5	14136		
8	14105	14105	13950	14105	8	14182.5	14322	14182.5	14136		
9	14105	14105	13950	14105	9	14182.5	14322	14182.5	14136		
10	14105	14105	13950	14105	10	14105	13950	13950	14105		
11	14105	14105	13950	14105	11	14105	13950	13950	14105		
12	14105	14105	13950	14105	12	14105	13950	13950	14105		
13	14105	14105	13950	14105	13	14105	13950	13950	14105		
14	14105	14105	13950	14105	14	14105	13950	13950	14105		
15	14105	14105	13950	14105	15	14105	13950	13950	14105		
16	14043	13981	13996.5	13996.5	16	13981	14105	13888	13826		
17	14043	13981	13996.5	13996.5	17	13981	14105	13888	13826		
18	14043	13981	13996.5	13996.5	18	13981	14105	13888	13826		
19	13981	13981	13996.5	13996.5	19	13981	14105	13888	13826		
20	13981	13981	13996.5	13996.5	20	13981	14105	13888	13826		
21	13981	13981	13996.5	13996.5	21	13981	14105	13888	13826		
22	14027.5	14012	13950	13950	22	13981	14105	13888	13826		
23	13950	14012	14260	14120.5	23	13981	14105	14105	14105		
24	13950	14012	14260	14120.5	24	13981	14105	13888	13826		
25	13950	14012	14260	14120.5	25	13981	14105	13888	13826		
26	13950	14012	14260	14120.5	26	14043	14027.5	13950	13981		
27	13950	14012	14260	14120.5	27	14027.5	13981	14027.5	13981		
28	13950	14012	14260	14120.5	30	14027.5	13175	13020	13175		
					31	13020	13795	13795	13795		



### 32. Aliran massa Turbin gas BX

Pebruari		m			Maret				
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00
1	14.54969	14.60361	14.52288	14.52288	1	14.54969	14.52288	14.52288	14.52288
2	14.54969	14.60361	14.52288	14.52288	2	14.46955	14.46955	14.44303	14.5766
3	14.54969	14.60361	14.52288	14.52288	3	14.46955	14.46955	14.44303	14.5766
4	14.54969	14.60361	14.52288	14.52288	4	14.54969	14.54969	14.5766	14.60361
5	14.54969	14.60361	14.52288	14.52288	5	14.54969	14.54969	14.5766	14.60361
6	14.60361	14.52288	14.52288	14.63072	6	14.63072	14.52288	14.49616	14.52288
7	14.60361	14.52288	14.52288	14.63072	7	14.63072	14.52288	14.49616	14.49616
8	14.60361	14.52288	14.52288	14.63072	8	14.63072	14.52288	14.49616	14.49616
9	14.60361	14.52288	14.52288	14.63072	9	14.63072	14.52288	14.49616	14.49616
10	14.60361	14.52288	14.52288	14.63072	10	14.60361	14.63072	14.46955	14.54969
11	14.60361	14.52288	14.52288	14.63072	11	14.60361	14.63072	14.46955	14.54969
12	14.60361	14.52288	14.52288	14.63072	12	14.60361	14.63072	14.46955	14.54969
13	14.60361	14.52288	14.52288	14.63072	13	14.60361	14.63072	14.46955	14.54969
14	14.60361	14.52288	14.52288	14.63072	14	14.60361	14.63072	14.46955	14.54969
15	14.60361	14.52288	14.52288	14.63072	15	14.60361	14.63072	14.46955	14.54969
16	14.60361	14.49616	14.52288	14.5766	16	14.54969	14.52288	14.44303	14.60361
17	14.60361	14.49616	14.52288	14.5766	17	14.54969	14.52288	14.44303	14.60361
18	14.60361	14.49616	14.52288	14.5766	18	14.54969	14.52288	14.44303	14.60361
19	14.60361	14.49616	14.52288	14.5766	19	14.54969	14.52288	14.44303	14.60361
20	14.60361	14.49616	14.52288	14.5766	20	14.54969	14.52288	14.44303	14.60361
21	14.60361	14.49616	14.52288	14.5766	21	14.54969	14.52288	14.44303	14.60361
22	14.60361	14.63072	14.52288	14.52288	22	14.54969	14.52288	14.44303	14.60361
23	14.54969	14.52288	14.52288	14.52288	23	14.54969	14.52288	14.52288	14.52288
24	14.54969	14.52288	14.52288	14.52288	24	14.54969	14.52288	14.44303	14.60361
25	14.54969	14.52288	14.52288	14.52288	25	14.54969	14.52288	14.44303	14.60361
26	14.54969	14.52288	14.52288	14.52288	26	14.60361	14.5766	14.52288	14.52288
27	14.54969	14.52288	14.52288	14.52288	27	14.52288	14.52288	14.44303	14.52288
28	14.54969	14.52288	14.52288	14.52288	30	14.52288	14.60361	14.65793	14.65793
					31	14.54969	14.52288	14.46955	14.54969



### 33. Power output ( Rumus empiris) Turbin gas BX

Pebruari	Power Output (Rumus Empiris) Turbin Gas (BX) dalam (kW)				Maret	Power Output (Rumus Empiris) Turbin Gas (BX) dalam (kW)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00
1	1798.936	1807.499	1782.706	1796.309	1	1874.066	1868.042	1868.042	1796.309
2	1798.936	1807.499	1782.706	1796.309	2	1839.819	1839.819	1823.312	1844.121
3	1798.936	1807.499	1782.706	1796.309	3	1839.819	1839.819	1823.312	1844.121
4	1798.936	1807.499	1782.706	1796.309	4	1717.801	1717.801	1720.334	1729.293
5	1798.936	1807.499	1782.706	1796.309	5	1717.801	1717.801	1720.334	1729.293
6	1866.819	1697.189	1839.469	1943.601	6	1735.071	1582.472	1517.065	1798.926
7	1866.819	1697.189	1839.469	1943.601	7	1735.071	1582.472	1517.065	1831.903
8	1866.819	1697.189	1839.469	1943.601	8	1735.071	1582.472	1517.065	1831.903
9	1866.819	1697.189	1839.469	1943.601	9	1735.071	1582.472	1517.065	1831.903
10	1866.819	1697.189	1839.469	1943.601	10	1869.792	1846.296	1833.322	1911.463
11	1866.819	1697.189	1839.469	1943.601	11	1869.792	1846.296	1833.322	1911.463
12	1866.819	1697.189	1839.469	1943.601	12	1869.792	1846.296	1833.322	1911.463
13	1866.819	1697.189	1839.469	1943.601	13	1869.792	1846.296	1833.322	1911.463
14	1866.819	1697.189	1839.469	1943.601	14	1869.792	1846.296	1833.322	1911.463
15	1866.819	1697.189	1839.469	1943.601	15	1869.792	1846.296	1833.322	1911.463
16	1809.187	1755.586	1771	1790.322	16	1771.523	1758.167	1714.11	1729.293
17	1809.187	1755.586	1771	1790.322	17	1771.523	1758.167	1714.11	1729.293
18	1809.187	1755.586	1771	1790.322	18	1771.523	1758.167	1714.11	1729.293
19	1794.999	1755.586	1771	1790.322	19	1771.523	1758.167	1714.11	1729.293
20	1794.999	1755.586	1771	1790.322	20	1771.523	1758.167	1714.11	1729.293
21	1794.999	1755.586	1771	1790.322	21	1771.523	1758.167	1714.11	1729.293
22	1817.337	1816.732	1782.706	1796.309	22	1771.523	1758.167	1714.11	1729.293
23	1874.066	1868.042	1868.042	1796.309	23	1771.523	1772.151	1772.151	1772.151
24	1874.066	1868.042	1868.042	1796.309	24	1771.523	1758.167	1714.11	1729.293
25	1874.066	1868.042	1868.042	1796.309	25	1771.523	1758.167	1714.11	1729.293
26	1874.066	1868.042	1868.042	1796.309	26	1913.258	1920.896	1871.302	1868.042
27	1874.066	1868.042	1868.042	1796.309	27	1877.821	1874.561	1842.661	1868.042
28	1874.066	1868.042	1868.042	1796.309	30	1696.142	1487.056	1482.289	1524.343
					31	1915.178	1818.387	1835.677	1874.772

### 34. Power output ( Aktual) Turbin gas BX

Pebruari	Power Output (Aktual) Turbin Gas (BX) dalam (kW)				Maret	Power Output (Aktual) Turbin Gas (BX) dalam (kW)			
Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00	Tanggal	5:00	11:00	17:00	23:00
1	1808.209	1802.239	1815.672	1825.373	1	1805.224	1802.239	1815.672	1825.373
2	1808.209	1802.239	1815.672	1825.373	2	1795.522	1795.522	1768.657	1794.03
3	1808.209	1802.239	1815.672	1825.373	3	1795.522	1795.522	1768.657	1794.03
4	1808.209	1802.239	1815.672	1825.373	4	1644.03	1594.03	1636.567	1647.015
5	1808.209	1802.239	1815.672	1825.373	5	1644.03	1594.03	1636.567	1647.015
6	1670.149	1681.343	1825.373	1898.507	6	1687.313	1523.881	1464.925	1742.537
7	1670.149	1681.343	1825.373	1898.507	7	1687.313	1523.881	1464.925	1800
8	1670.149	1681.343	1825.373	1898.507	8	1687.313	1523.881	1464.925	1800
9	1670.149	1681.343	1825.373	1898.507	9	1687.313	1523.881	1464.925	1800
10	1670.149	1681.343	1825.373	1898.507	10	1805.224	1783.582	1771.642	1844.776
11	1670.149	1681.343	1825.373	1898.507	11	1805.224	1783.582	1771.642	1844.776
12	1670.149	1681.343	1825.373	1898.507	12	1805.224	1783.582	1771.642	1844.776
13	1670.149	1681.343	1825.373	1898.507	13	1805.224	1783.582	1771.642	1844.776
14	1670.149	1681.343	1825.373	1898.507	14	1805.224	1783.582	1771.642	1844.776
15	1670.149	1681.343	1825.373	1898.507	15	1805.224	1783.582	1771.642	1844.776
16	1733.582	1678.358	1694.776	1721.642	16	1701.493	1704.478	1660.448	1659.701
17	1733.582	1678.358	1694.776	1721.642	17	1701.493	1704.478	1660.448	1659.701
18	1733.582	1678.358	1694.776	1721.642	18	1701.493	1704.478	1660.448	1659.701
19	1733.582	1678.358	1694.776	1721.642	19	1701.493	1704.478	1660.448	1659.701
20	1733.582	1678.358	1694.776	1721.642	20	1701.493	1704.478	1660.448	1659.701
21	1733.582	1678.358	1694.776	1721.642	21	1701.493	1704.478	1660.448	1659.701
22	1808.209	1802.239	1815.672	1825.373	22	1701.493	1704.478	1660.448	1659.701
23	1805.224	1802.239	1815.672	1825.373	23	1701.493	1704.478	1660.448	1659.701
24	1805.224	1802.239	1815.672	1825.373	24	1701.493	1704.478	1660.448	1659.701
25	1805.224	1802.239	1815.672	1825.373	25	1701.493	1704.478	1660.448	1659.701
26	1805.224	1802.239	1815.672	1825.373	26	1849.254	1821.642	1809.701	1813.433
27	1805.224	1802.239	1815.672	1825.373	27	1805.224	1801.493	1809.701	1813.433
28	1805.224	1802.239	1815.672	1825.373	30	1805.224	1416.418	1402.985	1444.03
					31	1388.806	1750	1790.299	1829.851

