

# EVALUASI VALIDITAS RUMUS PERFORMA KOMPRESOR ENGINE CFM56-3C PT. G BERDASARKAN DATA TEST CELL

Syahrul Hadi <sup>1)</sup>, H. Abubakar K, MSAE <sup>2)</sup>, Dwi Margi Virdhawati, ST <sup>3)</sup>,  
Dr. Ir. H. Eddy Priyono, MSAE <sup>4)</sup>, Ir. Simusbi, M.Sc., MM <sup>5)</sup>  
Program Study Teknik Penerbangan Fakultas Teknik  
Universitas Nurtanio Bandung

## ABSTRAK

*Engine* CFM56-3C yang telah melalui proses perawatan atau perbaikan (*repaired/overhaul*) di *engine shop* PT. G harus dilakukan pengujian *test cell* untuk mengetahui performa dari *engine* tersebut. Salah satu parameter nilai yang di hasilkan dari pengujian ini adalah parameter performa kompresor *engine*.

PT. G sebenarnya mempunyai rumus-rumus perhitungan performa kompresor *engine* CFM56-3C namun selama ini hanya mempercayai hasil pengujian *test cell* tanpa mengetahui bagaimana proses perhitungannya. Oleh sebab itu, perlu dilakukan validitas dan tingkat keyakinan terhadap rumus perhitungan performa kompresor.

Pada penelitian tugas akhir ini digunakan delapan sampel data hasil pengujian *test cell engine* CFM56-3C. Validitas dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan manual dari rumus performa kompresor *engine* CFM56-3C yang dimiliki PT. G dengan data *output* hasil pengujian *test cell*. Tingkat keyakinan dilakukan sebagai analisis selisih nilai yang terjadi dari validitas rumus perhitungan tersebut. Pada penelitian ini dilakukan juga penyusunan rumus perhitungan efisiensi kompresor *engine* CFM56-3C dari studi literatur. Penyusunan rumus perhitungan dimaksud untuk mengetahui nilai efisiensi dari kompresor karena pada data *output* hasil pengujian *test cell* tidak terdapat nilai efisiensi kompresor. Rumus perhitungan performa dan efisiensi kompresor yang telah valid selanjutnya di susun menggunakan MS Excel untuk di pergunakan sebagai pembanding data dari *output test cell* di PT. G.

Pada penelitian ini membuktikan bahwa rumus untuk menghitung performa kompresor *engine* CFM56-3C valid dengan kriteria selisih perbedaan nilai kurang dari 2.5% dan tingkat keyakinan 95%. Tingkat keyakinan maksimum yang dapat dicapai dari rumus perhitungan parameter performa kompresor adalah 99.94%. Rumus perhitungan efisiensi kompresor *engine* CFM56-3C berhasil disusun dan nilai efisiensi kompresor untuk semua sampel *engine* berhasil didapat.

## A. Pendahuluan

*Engine* yang telah melalui proses perawatan atau perbaikan (*repaired/overhaul*) terlebih dahulu harus dilakukan pengujian untuk mengetahui performa dari *engine* tersebut sebelum dipasang pada pesawat, apakah *engine* layak digunakan dipesawat atau tidak karena

adanya parameter-parameter yang berada diluar batas ketentuan (*limitation*). Batas ketentuan tertuang dalam *Engine Testing Manual*. Demikian juga yang dilakukan untuk *engine* CFM56-3C.

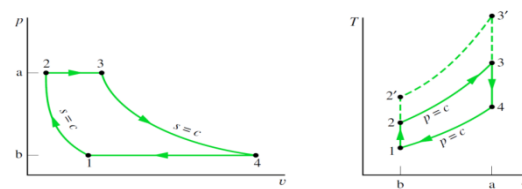
Pengujian *engine* CFM56-3C dilakukan di *test cell*. Pada pengujian di *test cell engine* akan diuji pada masing – masing kondisi yaitu

kondisi *idle*, *approach idle*, *maximum continuous*, dan kondisi *take off*. Hasil pengujian *engine* akan menghasilkan data keluaran (*output*) *test cell* yang berisi nilai-nilai performa dari *engine* yang diuji. Pada data *output test cell* terdapat dua macam nilai yaitu nilai hasil pengukuran dan nilai hasil perhitungan. Nilai dari hasil pengukuran seperti tekanan, temperatur, kelembaban dan lainnya digunakan untuk mendapatkan nilai hasil perhitungan seperti putaran rotor tekanan rendah (N1), putaran rotor tekanan tinggi (N2), gaya dorong (*thrust*) dan lainnya.

Selama ini PT. G percaya dengan hasil *output test cell* untuk performa *engine* yang telah dilakukan pengujian tanpa mengetahui bagaimana proses perhitungannya walaupun PT. G mempunyai rumus-rumus perhitungan untuk performa *engine*. Untuk mengetahui hasil perhitungan dari *test cell* masih sesuai (*valid*) maka penulis akan melakukan perhitungan kembali secara manual dengan menggunakan rumus yang ada, untuk mengetahui seberapa besar tingkat keyakinan terhadap rumus-rumus perhitungan tersebut terutama untuk performa kompresor *engine* CFM56-3C. Selain itu penulis juga akan menyusun rumus perhitungan efisiensi kompresor *engine* CFM56-3C dari hasil studi literatur untuk mengetahui nilai efisiensi kompresor karena pada data *output test cell* PT. GMF AeroAsia tidak terdapat nilai efisiensi untuk kompresor *engine* CFM56-3C.

**Dasar Teori**

Siklus brayton adalah siklus ideal untuk turbin gas sederhana. Dalam siklus yang ideal, proses yang melalui kompresor dan turbin adalah isentropik.

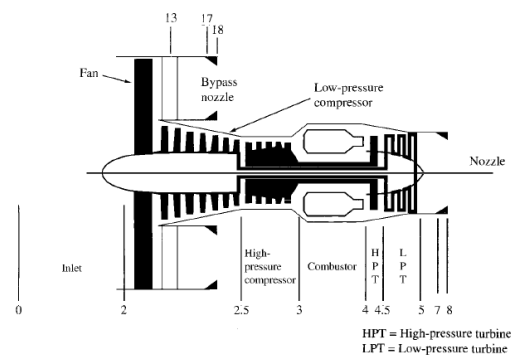


Gambar. 1 Siklus Brayton

Berikut ini adalah proses yang terjadi pada gambar 1.

- 1-2 Proses isentropik di kompresor
- 2-3 Proses pembakaran di ruang bakar pada tekanan konstan
- 3-4 Proses isentropik di turbin
- 4-1 Proses pelepasan panas pada tekanan konstan

Pada penelitian ini menggunakan *engine* CFM56-3C yang merupakan jenis *turbofan* yang banyak digunakan sebagai sistem pendorong pesawat terbang. Hal ini karena jika dibandingkan dengan jenis *engine* yang lain, *engine turbofan* lebih ekonomis dan efisien dibandingkan dengan jenis *turbojet*.



Gambar 2 Bagian-bagian *Engine Turbofan*.  
(Mattingly, 2006)

Pada gambar 2 menunjukkan bagian-bagian pada *engine turbofan*, salah satu bagian yang terdapat pada *engine turbofan* adalah kompresor. Kompresor adalah *engine* yang berfungsi mengalirkan dan menaikkan tekanan udara sesuai dengan spesifikasi rancangannya. Ada dua jenis kompresor yaitu kompresor sentrifugal dan kompresor aksial.

Pada kompresor sentrifugal udara yang masuk kedalam kompresor arahnya sejajar dengan sumbu rotor dan pada saat udara keluar arahnya tagak lurus pada sumbu rotor. Untuk kompresor aksial udara mengalir dalam arah sejajar sumbu poros kompresor. Pada *engine* CFM56-3C menggunakan kompresor jenis aksial dimana proses yang terjadi proses isentropik.

*Engine* CFM56-3C yang telah selesai dilakukan perawatan selanjutnya akan diuji performa *engine* tersebut di *test cell*. *Test cell* adalah tempat untuk melakukan pengujian *engine*. Pada *test cell* terdapat suatu ruangan tertutup yang digunakan untuk pengujian *engine* dimana didalamnya terdapat peralatan ukur yang mendukung dalam pengujian untuk mendapatkan nilai parameter performa *engine*. *Test cell* juga dilengkapi program komputer yang secara otomatis menyimpan data untuk mendapatkan data hasil pengujian *engine*.

Untuk mendapatkan data-data performa *engine* pada pengujian *engine* CFM56-3C diperlukan komponen *test cell* yang dipasang pada *engine* yaitu:

- *Screen* dipasang pada bagian depan inlet kompresor, yang mempunyai fungsi untuk menyaring udara yang masuk ke kompresor. *Screen* tersebut dipasang sensor yang berfungsi untuk mengukur temperatur dan tekanan udara luar yang masuk.
- *Bellmouth* adalah alat yang dipasang pada *inlet frame* untuk melancarkan aliran udara yang masuk ke *engine* agar tidak terjadi turbulensi. *Bellmouth* juga dipasang sensor yang mempunyai fungsi untuk membantu mengukur tekanan udara luar yang masuk ke kompresor dan laju aliran udara yang masuk kompresor.
- *Exhaust configuration* dipasang pada saluran pembuangan, pada *exhaust configuration* juga dipasang sensor yang berfungsi untuk mengukur tekanan gas buang.

Pada data *test cell* hasil pengujian terdapat dua macam nilai yaitu nilai hasil pengukuran (Pu) dan nilai hasil perhitungan (Ph). Pada nilai hasil pengukuran terdapat dua macam nilai yaitu nilai *observe* (obs) dan nilai *corrective* (corr). Nilai *observe* (obs) adalah nilai yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian dan sensor yang dipasang di *engine* pada saat pengujian, sedangkan nilai *corrective* (corr) adalah nilai *observe* yang telah dilakukan koreksi. Koreksi dilakukan karena kondisi lingkungan dimana dilakukannya pengujian *engine* berbeda untuk

setiap negara. Sedangkan pada nilai hasil perhitungan juga terdapat dua macam nilai yaitu nilai pada saat kondisi *standard day* dan *hot day*, dimana kondisi *standard day* adalah kondisi suhu pada keadaan standar/tetap sedangkan untuk *hot day* kondisinya suhu pada saat hangat atau dalam keadaan panas.

Pada perhitungan performa kompresor penulis menggunakan rumus yang terdapat pada *CFM56-3 Engine Shop Manual, Engine Test – Test 003 – Engine Acceptance*. Perhitungan performa kompresor tersebut akan menghasilkan nilai-nilai seperti:

- N1
- FN
- EPR
- $CPR_{core}$
- $CPR_{compressor}$
- CTR

Untuk rumus efisiensi kompresor, penulis menggunakan referensi dari buku karangan P.P Walsh P. Fletcher dengan judul *Gas Turbine Performance 2<sup>nd</sup> edition*. Penulis menggunakan referensi tersebut dikarenakan istilah-istilah parameter untuk menghitung efisiensi kompresor mirip dengan parameter yang tertera dilembar hasil pengujian *test cell*.

Pada perhitungan efisiensi ini rumus diasumsikan isentropik karena proses yang terjadi di kompresor secara adiabatik dan reversibel dengan perpindahan panas dan gesekan diabaikan. Efisiensi isentropik adalah

rasio kerja aktual terhadap kerja idealnya. Agar hasil perhitungan yang diperoleh bisa lebih akurat, maka rumus perhitungan efisiensi isentropik dipengaruhi oleh rasio tekanan dan efisiensi politropiknya dengan syarat menggunakan harga rasio kalor spesifik yang tepat pada temperatur rata-rata dikomponen yang akan dihitung (Walsh, 2004). Berikut ini adalah rumus perhitungan efisiensi kompresor.

Rumus efisiensi dari referensi:

$$ETA2 = \frac{(P3Q2)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{(P3Q2)^{\frac{\gamma-1}{\gamma \times ETAP2}} - 1}$$

$$ETAP2 = \frac{\ln(P3Q2)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{\ln(T3Q2)}$$

Keterangan :

ETA2 = Efisiensi isentropik kompresor

ETAP2= Efisiensi politropik kompresor

P3Q2 = Rasio tekanan kompresor

T3Q2 = Rasio temperatur kompresor

$\gamma$  = Rasio kalor spesifik

Rumus sesuai istilah *test cell*:

$$ETA2 = \frac{(CPR_{compressor})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{(CPR_{compressor})^{\frac{\gamma-1}{\gamma \times ETAP2}} - 1}$$

$$ETAP2 = \frac{\ln(CPR_{compressor})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{\ln(CTR)}$$

Pada tabel 1 menunjukan perubahan notasi pada rumus efisiensi kompresor.

Tabel 1 Perubahan notasi rumus efisiensi kompresor

| Referensi | Test Cell | Keterangan                 |
|-----------|-----------|----------------------------|
| P3Q2      | CPR       | Rasio Tekanan Kompresor    |
| T3Q2      | CTR       | Rasio Temperatur Kompresor |

Dari parameter yang terdapat pada rumus efisiensi kompresor, hanya rasio kalor spesifik ( $\gamma$ ) yang harus dihitung lebih lanjut. Dimana rasio kalor spesifik adalah perbandingan antara tekanan konstan ( $C_p$ ) dan volume konstan ( $C_v$ ).

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

Selain rasio kalor spesifik dicari juga konstanta gas ( $R$ ) yang merupakan selisih dari tekanan konstan terhadap volume konstan.

$$R = C_p - C_v$$

Dengan menggabungkan kedua rumus diatas, maka didapat rumus sebagai berikut :

$$\gamma = \frac{C_p}{C_p - R}$$

Untuk nilai konstanta gas ( $R$ ) didapat sebesar:

$$R_{\text{udara kering}} = \frac{8314.3}{28.964} = 287.05 \frac{J}{kg K}$$

Sedangkan untuk mencari nilai  $C_p$  didapat dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_p = A_0 + A_1 \times TZ + A_2 \times TZ^2 + \dots + A_8 \times TZ^8$$

Dimana

$$TZ = \frac{TS}{1000}$$

$$TS = \frac{T_2 + T_3}{2}$$

Untuk nilai  $A$  pada variabel  $C_p$  dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 2 Nilai  $A$  untuk variabel  $C_p$  (Walsh, 2004)

|    |           |     |           |
|----|-----------|-----|-----------|
| A0 | 0.992313  | A6  | -3.234725 |
| A1 | 0.236688  | A7  | 0.794571  |
| A2 | -1.852148 | A8  | -0.081873 |
| A3 | 6.083152  | A9  | 0.422178  |
| A4 | -8.893933 | A10 | 0.001053  |
| A5 | 7.097112  |     |           |

Untuk menentukan validitas rumus perhitungan parameter performa kompresor yang telah ada, maka penulis menggunakan metode tingkat keyakinan (*confidence level*) dan batas kesalahan ( $\Delta$ ).

Metode tersebut merupakan analisis statistika pendugaan parameter dengan sampel kecil dimana harga varians ( $\sigma$ ) tidak diketahui. Maka interval keyakinan untuk titik pendugaan  $\Delta$  (Anto, 1986) adalah:

$$\bar{x} - t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} < \Delta < \bar{x} + t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Pada penelitian tugas akhir ini, penulis menggunakan kriteria batas kesalahan dan tingkat keyakinan sebagai berikut :

- Batas kesalahan ( $\Delta$ ) < 2.5%
- Tingkat keyakinan 95 %

## Metodologi Penelitian

### A. Langkah 1

Pada langkah awal ini, penulis akan melakukan studi literatur untuk mempelajari kontruksi dan sistem kerja *engine* CFM56-3C, proses pengujian dan data hasil pengujian *engine* di *test cell*, serta mempelajari tentang rumus-rumus efisiensi kompresor.

### B. Langkah 2

Pada langkah selanjutnya penulis akan melakukan perhitungan performa kompresor. Data-data performa kompresor dari hasil pengujian di *test cell* akan dihitung dengan menggunakan rumus yang dimiliki oleh PT. GMF AeroAsia.

### C. Langkah 3

Pada langkah ketiga ini, penulis akan melakukan penyusunan rumus untuk efisiensi kompresor *engine* CFM56-3C berdasarkan studi literatur dan melakukan perhitungan efisiensi kompresor menggunakan rumus yang telah berhasil disusun tersebut.

### D. Langkah 4

Pada langkah keempat, penulis akan melakukan analisis validitas dengan tingkat keyakinan menggunakan MS Excel dan piranti lunak SPSS terhadap hasil perhitungan performa kompresor untuk mengetahui apakah rumus-rumus performa kompresor valid sebagai rumus perhitungan. Apabila rumus tersebut

tidak valid, maka akan dilakukan revisi terhadap rumus-rumus tersebut dan melakukan perhitungan ulang untuk memperoleh rumus yang valid.

### E. Langkah 5

Pada langkah kelima, penulis akan mengambil kesimpulan terhadap analisis rumus-rumus perhitungan performa kompresor dan rumus efisiensi kompresor yang telah disusun dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

## Hasil Perhitungan Performa dan Efisiensi Kompresor.

Pada tabel 3 menampilkan hasil perhitungan performa kompresor untuk semua sampel *engine*

Tabel 3 Hasil Perhitungan Performa Kompresor

| Parameter | ES 1 | ES 2 | ES 3 | ES 4 | ES 5 | ES 6 | ES 7 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| N         | 85   | 72   | 85   | 72   | 85   | 85   | 72   |
| N         | 66   | 48   | 89   | 71   | 88   | 88   | 53   |
| N         | 92   | 85   | 24   | 44   | 61   | 54   | 73   |
| N1        | 48   | 49   | 49   | 49   | 48   | 49   | 48   |
| N1        | 90.  | 03.  | 21.  | 03.  | 84.  | 16.  | 36.  |
| N1        | 1    | 5    | 3    | 4    | 6    | 9    | 5    |
| FN        | 23   | 23   | 23   | 23   | 24   | 23   | 22   |
| FN        | 99   | 31   | 61   | 83   | 01   | 86   | 26   |
| FN        | 5    | 6    | 1    | 0    | 8    | 1    | 6    |
| EPR       | 4.0  | 3.9  | 4.3  | 3.9  | 4.1  | 3.9  | 3.8  |
| EPR       | 23   | 97   | 11   | 44   | 32   | 14   | 28   |
| CPR       | 2.0  | 1.9  | 2.1  | 1.9  | 2.0  | 1.9  | 1.9  |
| CPR       | 04   | 87   | 37   | 63   | 55   | 49   | 02   |
| CPR       | 23.  | 23.  | 23.  | 23.  | 23.  | 23.  | 21.  |

|     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|     | 10  | 57  | 13  | 18  | 42  | 54  | 52  |
|     | 5   | 8   | 4   | 2   | 5   | 3   | 5   |
| CTR | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.7 |
|     | 40  | 65  | 33  | 26  | 14  | 66  | 02  |

Pada tabel 4 menampilkan hasil perhitungan efisiensi kompresor untuk semua sampel *engine*.

Tabel 4 Hasil Perhitungan Efisiensi Kompresor

| Parameter | S/<br>N | S/<br>N | S/<br>N | S/<br>N | S/<br>N | S/<br>N | S/<br>N |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| met       | 85      | 72      | 85      | 72      | 85      | 85      | 72      |
| er        | 66      | 48      | 89      | 71      | 88      | 88      | 53      |
|           | 92      | 85      | 24      | 44      | 61      | 54      | 73      |
| ETA       | 0.8     | 0.8     | 0.8     | 0.8     | 0.8     | 0.8     | 0.8     |
| P2        | 55      | 52      | 61      | 63      | 69      | 53      | 54      |
| ETA       | 0.7     | 0.7     | 0.7     | 0.7     | 0.8     | 0.7     | 0.7     |
| 2         | 86      | 81      | 94      | 97      | 06      | 83      | 85      |

**Analisis Validitas**

Pada tabel 5 menampilkan interval tingkat keyakinan sebesar 95%.

Tabel 5 Interval Tingkat Keyakinan 95%

| Parameter performa kompresor | Rata-rata ( $\bar{x}$ ) | Standar Deviasi | Koef Standar Distribusi-t | Batas Interval (%) |       |
|------------------------------|-------------------------|-----------------|---------------------------|--------------------|-------|
|                              |                         |                 |                           | Bawah              | Atas  |
| N <sub>1</sub>               | 0.464                   | 0.185           | 2.365                     | 0.310              | 0.619 |
| FN                           | 1.111                   | 0.598           | 2.365                     | 0.611              | 1.611 |
| EPR                          | 0.518                   | 0.303           | 2.365                     | 0.265              | 0.771 |
| CPR <sub>core</sub>          | 0.576                   | 0.380           | 2.365                     | 0.258              | 0.894 |
| CPR <sub>comp</sub>          | 0.011                   | 0.013           | 2.365                     | 0.000              | 0.022 |
| CTR                          | 0.014                   | 0.019           | 2.365                     | -0.002             | 0.030 |

Pada tabel 5 dapat dilihat bahwa yang mendekati dengan batas kesalahan <2.5% adalah parameter FN dengan batas atas sebesar 1.6%. oleh sebab itu penulis mencoba melakukan perhitungan kembali untuk

mendapatkan tingkat keyakinan maksimum yang masih masuk kriteria validitas <2.5%. didapat tingkat keyakinan maksimum sebesar 99.94% seperti tabel 6.

Tabel 6 Interval Keyakinan 99.94%

| Parameter           | Rata-rata | Standar Deviasi | Koef Standar Distribusi-t | Batas Interval (%) |       |
|---------------------|-----------|-----------------|---------------------------|--------------------|-------|
|                     |           |                 |                           | Bawah              | Atas  |
| N <sub>1</sub>      | 0.464     | 0.185           | 5.899                     | 0.078              | 0.850 |
| FN                  | 1.111     | 0.598           | 5.899                     | -0.136             | 2.358 |
| EPR                 | 0.518     | 0.303           | 5.899                     | -0.114             | 1.150 |
| CPR <sub>core</sub> | 0.576     | 0.380           | 5.899                     | -0.217             | 1.369 |
| CPR <sub>comp</sub> | 0.011     | 0.013           | 5.899                     | -0.016             | 0.038 |
| CTR                 | 0.014     | 0.019           | 5.899                     | -0.026             | 0.054 |

**Kesimpulan dan Saran**

Pada penelitian tugas akhir ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Rumus untuk menghitung parameter performa kompresor yang terdapat pada *CFM56-3 Engine Shop Manual, Engine Test – Test 003 – Engine Acceptance* masih masuk dalam kriteria validitas tingkat keyakinan 95% (lihat tabel 1.5). Sehingga dapat disimpulkan rumus tersebut valid sebagai rumus perhitungan untuk dilakukan di *test cell*.
2. Rumus perhitungan untuk menghitung efisiensi kompresor *engine CFM56-3C* telah berhasil di susun.
3. Nilai efisiensi kompresor untuk semua sampel *engine CFM56-3C* berhasil didapat.
4. Rumus perhitungan performa kompresor dan efisiensi kompresor yang telah valid telah berhasil di susun menggunakan MS Excel untuk di pergunakan sebagai

pembandingan data dari *output test cell* di PT. GMF AeroAsia.

5. Rumus – rumus perhitungan parameter performa kompresor mempunyai tingkat keyakinan maksimum sampai dengan 99.94% yang masih masuk dalam kriteria validitas  $\Delta < 2.5\%$ .

### C. Daftar Pustaka

1. Dajan, Anto. Pengantar Metode Statistik. Cetakan 11. LP3ES, Jakarta, 1986
2. Walsh, Philip P. and Paul Fletcher. *Gast Turbine Performance*. 2<sup>nd</sup> edition. Blackwell Science Ltd, Oxford, 2004
3. CFM56-3C *Engine Shop Manual – Engine Test – Test 003*
4. Mattingly, Jack D. *Element of Propulsion : Gas Turbine and Rocket*. 2<sup>nd</sup> edition. The American Intitute of Aeronautics and Astronautic, Inc., Reston-Virginia, 2006
5. Moran, Michael J. and Howard N. Shapiro. *Fudamentals of Engineering Thermodynamics*. 5<sup>th</sup> edition. John Wiley & Sons Ltd, Chihester-West Sunsex, 2006
6. Arismunandar, Wiranto. Pengatar Turbin Gas dan Motor Propulsi. ITB, Bandung, 2002