

ANALISIS EFISIENSI *THERMAL* TERHADAP *ENGINE TURBOFAN* PESAWAT *BOEING 737-500*

Yoseph Alexandro Grandy¹, Edi Sofyan², Ferry Setiawan³, Muh Anhar⁴

^{1,2,3}Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta

⁴Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ketapang

Email ; ferry.setiawan@sttkd.ac.id

ABSTRACT

Thermal efficiency is a dimensionless measure that shows the incoming heat is the energy obtained from the energy source. The cooled output may be either heat or work, or it may be both. The CFM56-3 engine is a turbofan jet engine with large bypass capacity, dual rotor used with advanced axial flow technology designed for use on BOEING737 aircraft and all its variants. The purpose of this study is to determine the thermal efficiency of a turbofan engine, the causes of decreased performance of a turbofan engine and efforts to overcome it. This research is a qualitative and quantitative research using primary data and secondary data. Data collection techniques used are field studies, literature studies, as well as discussion and problem analysis. The field study in this research is to make direct observations of the processes that occur in the field. The results of this study can be concluded that the thermal efficiency of the Boeing 737-500 aircraft occurs the higher the difference between the incoming energy and outgoing energy through the compressor is 49.11% and the turbine is 64.01% the system produces the ideal thermal efficiency value of the Brayton cycle of 70,51% produced will be higher while the actual thermal efficiency of the Brayton cycle of 44.0% has decreased compared to the ideal thermal efficiency. The comparison of the ideal thermal efficiency of the Brayton cycle and the actual thermal efficiency of the Brayton cycle is 26.51%, meaning that efficiency can still be increased by as much as possible returning the component dimensions to their proper condition. The cause of the decreased performance of the turbofan engine is a change in dimensions due to frictional materials; wear and tear caused by continuous operation; as well as incorrect operating steps on the turbine engine and efforts to overcome them are periodic inspections of each turbofan engine components and using accurate measuring instruments.

Keywords: *Thermal Efficiency, Turbofan Engine, Boeing 737-50*

ABSTRAK

Efisiensi *thermal* merupakan ukuran tanpa dimensi yang menunjukkan panas yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi. *Output* yang diinginkan dapat berupa panas atau kerja, atau mungkin keduanya. *Engine* CFM56-3 merupakan mesin jet *turbofan* dengan kapasitas *bypass* yang besar, dual rotor yang digunakan dengan teknologi *advance aksial flow* yang dirancang untuk digunakan pada pesawat terbang jenis BOEING737 dan semua variannya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efisiensi termal *engine turbofan*, penyebab menurunnya performa sebuah engine turbofan dan upaya penanggulangannya. Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif dan kuantitatif dengan menggunakan data primer dan data sekunder. Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah studi lapangan, studi literatur, serta diskusi dan analisis permasalahan. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa efisiensi *thermal* pada pesawat Boeing 737-500 terjadi semakin tinggi selisih antara energi masuk dan energi keluar yang melalui kompresor sebesar 49,11% dan turbin sebesar 64,01% dihasilkan sistem maka nilai efisiensi *thermal* ideal siklus brayton sebesar 70,51% yang dihasilkan akan semakin tinggi, sedangkan efisiensi *thermal* aktual siklus brayton sebesar 44,0% mengalami penurunan bila dibandingkan dengan efisiensi *thermal* ideal. Perbandingan efisiensi *thermal* ideal siklus brayton dan efisiensi *thermal* aktual siklus brayton sebesar 26,51 %, artinya efisiensi masih dapat ditingkatkan dengan semaksimal mungkin mengembalikan dimensi komponen pada kondisi seharusnya. Penyebab terjadi menurunnya performa *engine turbofan* adalah perubahan dimensi akibat material yang bergesekan; keausan dan ketuaan yang disebabkan karena pengoperasian yang terus menerus; serta langkah pengoperasian yang salah pada *turbine engine* dan upaya penanggulangannya adalah pemeriksaan secara berkala pada setiap komponen-komponen *turbofan engine* dan menggunakan alat ukur yang akurat.

Kata kunci: : Efisiensi Thermal, Mesin Turbofan, Boeing 737-500

1. Pendahuluan

Efisiensi *thermal* merupakan ukuran tanpa dimensi yang menunjukkan panas yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi. *Output* yang diinginkan dapat berupa panas atau kerja, atau mungkin keduanya. Performa peralatan, seperti mesin pembakaran dalam dan sebagainya. Efisiensi *thermal* merujuk pada rasio seberapa banyak kalor yang dapat dikonversi menjadi kerja dibandingkan dengan keseluruhan kalor yang dimasukkan ke dalam sistem. Untuk menghitung efisiensi ini, kita perlu membandingkan antara selisih energi *input* dan energi *output* dengan energi yang dimasukkan ke dalam sistem.

Pada pesawat boeing 737-500 yang menggunakan *Engine Turbofan*, ditemukan permasalahan *engine turbofan* yaitu, turunnya daya yang dihasilkan oleh turbin gas dan berakibat pada menurunnya performa turbin gas itu sendiri. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk mendalami permasalahan tersebut dan mencari solusi penanggulangannya, dengan judul Penelitian “Analisis Efisiensi *Thermal* terhadap *Engine Turbofan* Pesawat Boeing 737-500”.

Tinjauan Pustaka

Pertama, Sri Mulyani (2015) meneliti tentang “Analisis Performa *Engine Turbofan* Pesawat Boeing 737-300”. Hasil penelitian ini adalah nilai *specific thrust* berbanding lurus dengan nilai *compressor pressure ratio*, tetapi berbanding terbalik dengan nilai *bypass ratio*. nilai *specific thrust* cenderung konstan pada nilai *bypass ratio* yang lebih tinggi, dan *thrust specific fuel consumption* akan semakin kecil pada nilai *compressor pressure ratio* dan *bypass ratio* yang lebih besar.

Kedua, penelitian yang dilakukan oleh Dendi (2015) dengan judul “Terjadinya *Unbalanced Fan Blade* sebagai Salah Satu Penyebab *Vibrasi* pada *Engine CFM56-7B* Boeing 737-900 ER PK-LGK”. Hasil penelitian ini adalah mengatasi *fan blade unbalance* pada *engine CFM 56 -7B Boeing*

737-900ER dengan beberapa metode, yaitu *airborne vibration monitoring units (AVM)*, *metoda 3 shoot plot*, *metoda fan mapping*.

Ketiga, Cyrilus (2015) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Terhadap *Starter Motor Auxiliary Power Unit* 85/129e saat *on* pada pesawat Boeing 737-300 PK-YVW dan upaya penanggulangannya”. Hasil penelitian ini adalah mengetahui jika terjadi *trouble* pada *relay R5* maka akan berpengaruh pada penuplaian arus dari external battery DC.

Keempat, Rahmat Ikrahmadan (2016) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Perbandingan Performa Turbin Gas Pada Variasi Beban yang Berbeda di PLTGU Blok Gt 1.3 Pt. Pjb Up Gresik”. Hasil penelitian ini adalah dari hasil proses perhitungan *properties* pada masing-masing titik di siklus turbin gas blok GT 1.3. PLTGU PT. PJB UP Gresik.

Kelima, penelitian yang dilakukan oleh Sunarwo (2016) dengan judul “Pengaruh *Overhaul Combustor Inspection* terhadap Efisiensi Turbin Gas Unit 1 di PLTGU Cilegon”. Hasil penelitian ini adalah hasil perhitungan setelah dilakukan *overhaul* efisiensi kompresor mengalami peningkatan tertinggi 1,44%, efisiensi ruang bakar mengalami penurunan tertinggi 1,74 %, efisiensi turbin mengalami peningkatan tertinggi 0,23 %, efisiensi *thermal* siklus *brayton* mengalami peningkatan tertinggi 0,47 %, efisiensi *thermal* efektif mengalami peningkatan tertinggi 0,27 %, *heat rate* mengalami penurunan tertinggi 114,83 kj/kwh, dan konsumsi bahan bakar mengalami penurunan tertinggi 697,42 nmi.

Keenam, penelitian yang dilakukan oleh Fuqron (2017) dengan judul “Evaluasi *Reliability Engine Fuel And Control* pada pesawat boeing 737-800 Garuda Indonesia di PT. GMF Aeroasia Cengkareng”. Hasil penelitian ini adalah mendapatkan jenis perawatan yang sesuai, yaitu *scheduled restoration task* untuk komponen *fuel pump*, *IDG oil cooler*, *servo fuel heater* dan

hydro-mechanical unit.

Ketujuh, Naryono (2017) meneliti dengan judul “Efisiensi Turbin Gas terhadap Beban Operasi PLTGU Muara Tawar Blok 1”. Hasil penelitian ini adalah bahwa efisiensi *thermal* turbin gas PLTGU Muara Tawar Unit 1, 2, dan 3 meningkat di setiap peningkatan pembebanan.

Terakhir, penelitian yang dilakukan oleh Firmansyah (2019) dengan judul “Analisis Pengaruh Kegagalan Sistem Pendingin Genset Caterpillar 3500 Series”. Hasil penelitian ini adalah meminimalisasi kerusakan dengan melakukan rekondisi radiator jika terjadi kerusakan maka harus dilakukan perawatan berkala.

Landasan Teori

Turbofan

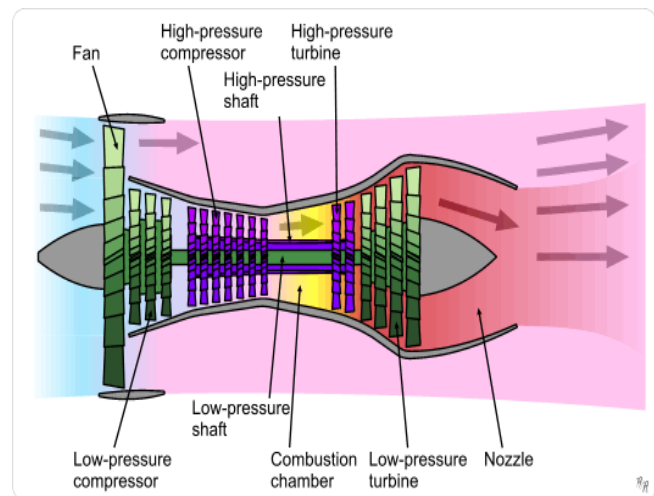
Tipe *engine turbofan* serupa dengan tipe *turbopropeller*, tetapi pada *engine turbofan* sudah tidak lagi menggunakan *propeller* melainkan sudah menggunakan *fan*. Pada tipe *engine turbofan* biasanya tidak menggunakan roda gigi reduksi dan *fan* berputar dalam saluran sehingga tidak langsung berhubungan dengan udara atmosfer.

Engine Turbofan Tipe CFM56-3

Engine CFM56-3 merupakan mesin jet *turbofan* dengan kapasitas *bypass* yang besar, dual rotor yang digunakan dengan teknologi *advance aksial flow* yang dirancang untuk digunakan pada pesawat terbang jenis BOEING737 dan semua variannya.

Bagian Utama Turbofan Engine Pada dasarnya *engine* memiliki beberapa bagian utama, yaitu *air intake*, *compressor*, *combustion chamber*, *turbine* dan *exhaust unit* untuk menghasilkan gaya dorong (*thrust*).

Sistem Kerja Engine CFM56-3



Gambar 1. Skema Engine CFM56-3

(Sumber : CFM56-3 Training Handbook)

1. *Engine Aerodynamic Station*
Rancangan dari mesin CFM56-3 *high by pass* memiliki aliran *airflow* yang sempurna dengan dua bagian *airflow*, yakni *primary airflow* dan *secondary airflow*.
2. *Saluran By-Pass (By-Pass Duct)*
Saluran by-pass merupakan saluran yang komponen-komponennya terbuat dari baja fabrikasi dan *fiberglass* yang menghubungkan mesin dari wadah pertengahan kompresor (*compressor intermedite case*) ke penggabung gas annular.
3. *Exhaust Collector*
Exhaust collector merupakan bagian yang terletak setelah *exhaust*. Bentuk dari bagian ini adalah menyerupai *nozzle* yang berfungsi untuk mempercepat *airflow* sehingga menghasilkan gaya dorong.
4. *Sistem Bahan Bakar (Fuel System)*
Fuel pump bertekanan rendah menginjeksikan bahan bakar pada berbagai langkah mesin, *fuel pump* bertekanan tinggi melalui sebuah pemanas bahan bakar pendingin oli, sebuah saringan bahan bakar dan sebuah *flowmeter*.

5. Sistem Pelumasan

Sistem pelumasan (*oil system*) pada mesin CFM56-3 yang didesain “*dry sump*” terjadi pada *forward sump* dan *aft sump* serta *gearbox*.

6. Engine Control

Pengontrolan manual pada mesin dilakukan melalui dua buah lever pada pedestal pilot.

7. Air Flow Control

Udara dapat mengoperasikan mesin secara halus pada rasio kompresi rendah, aliran udara yang melalui HPC dikontrol oleh IGV (*Inlet Guide Vane*) pada tingkat awal dari kompresor dan juga *bleed valve* pada tingkat ketujuh.

8. Cooling Dan Sealing Air

Untuk mendinginkan mesin secara *internal* hingga diperoleh temperatur konsisten yang memenuhi *performance engine*, udara diambil dari LPC, saluran *by-pass*, dan HPC untuk memenuhi kebutuhan mesin.

9. Anti Icing

Untuk mencegah terbentuknya es pada udara masuk mesin selama beroperasi pada temperatur rendah, udara dari saluran tingkat 9 HPC disalurkan melalui dua buah *control* katup *anti icing* melalui IGV ke *fairing nose* udara masuk dan dialirkan untuk memanasi *nose cowl*.

10. Starting

Untuk memutar mesin pada saat *starting*, digunakan *stater* udara bertekanan tinggi.

2. Metode Penelitian

Metode pengambilan data dalam penelitian ini adalah studi lapangan, studi literatur, diskusi dan analisis permasalahan. Rencana penelitian ini adalah menggunakan *riset exploratory* yang bertujuan untuk menyederhanakan masalah agar lebih mudah dipecahkan dan siklus *brayton* untuk menganalisis efisiensi *thermal* terhadap *engine turbofan*. Penelitian dilaksanakan dari tanggal 8 Februari sampai dengan tanggal 8 Maret 2021. Tempat penelitian

pada Divisi Teknik Maskapai Lion Air Group di Bandar Udara El Tari Kupang - Nusa Tenggara Timur. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah laptop (*PC*), aplikasi *Ms. Excel*, sedangkan bahan yang digunakan adalah data siklus *Brayton*.

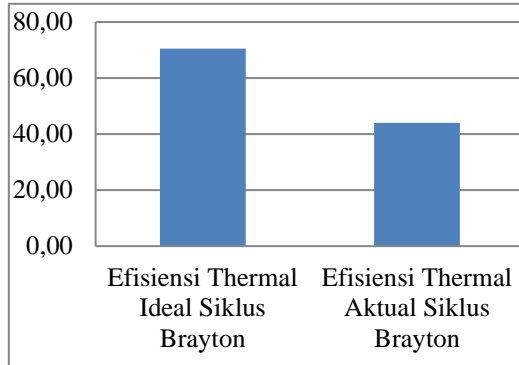
3. Hasil dan Pembahasan

Efisiensi Thermal Pada Pesawat Boeing 737-500

Efisiensi *thermal* merujuk pada rasio seberapa banyak kalor yang dapat dikonversi menjadi kerja dibandingkan dengan keseluruhan kalor yang dimasukkan ke dalam sistem. Untuk mengetahui performa menurunnya turbin gas, kita perlu mengetahui nilai-nilai *input* di mana nilai *input* antara lain sebagai berikut (lampiran 1 Tabel Parameter-parameter Input) Data parameter-parameter *input* di ambil pada tanggal 8 Februari 2021 – 8 Maret 2021, di maskapai Lion Air Group Kupang – Nusa Tenggara Timur. Dari perolehan data parameter-parameter *input*, kita dapat memperoleh data *ouput* melalui perhitungan, dimana data ini antara lain meliputi (lampiran 2 Tabel Parameter-parameter Output)

Berdasarkan Tabel.2 Parameter-parameter *Output*, kita telah mengetahui nilai-nilai yang mempengaruhi penyebab menurunnya performa *engine turbofan* pada pesawat Boeing 737-500. Dari analisa data *ouput* pula kita bisa menentukan nilai – nilai sebagai pembanding untuk mengetahui penyebab dan langkah-langkah upaya penanggulangannya, agar performa mesin ini dapat bekerja secara optimal. Dari perhitungan di atas pula di dapatkan selisih efisiensi *thermal* siklus brayton ideal dan efisiensi *thermal* siklus brayton aktual sebesar **26,51 %**.

Pengaruh Efisiensi Thermal Pada Pesawat Boeing 737-500 Dibandingkan dengan Teoretis



Dari Gambar Grafik Perbandingan Efisiensi di atas, diketahui efisiensi *thermal* ideal siklus brayton sebesar 70,51 % dan efisiensi *thermal* aktual siklus brayton sebesar 44,0 %. Dengan demikian selisih penurunan efisiensi *thermal* ideal siklus brayton dan efisiensi *thermal* aktual siklus brayton sebesar 26,51 %. Semakin rendah nilai efisiensi *thermal* aktual siklus brayton maka akan berpengaruh pada performa turbin itu sendiri.

Penyebab Menurunnya Performa Turbin Gas Pada Pesawat Boeing 737-500

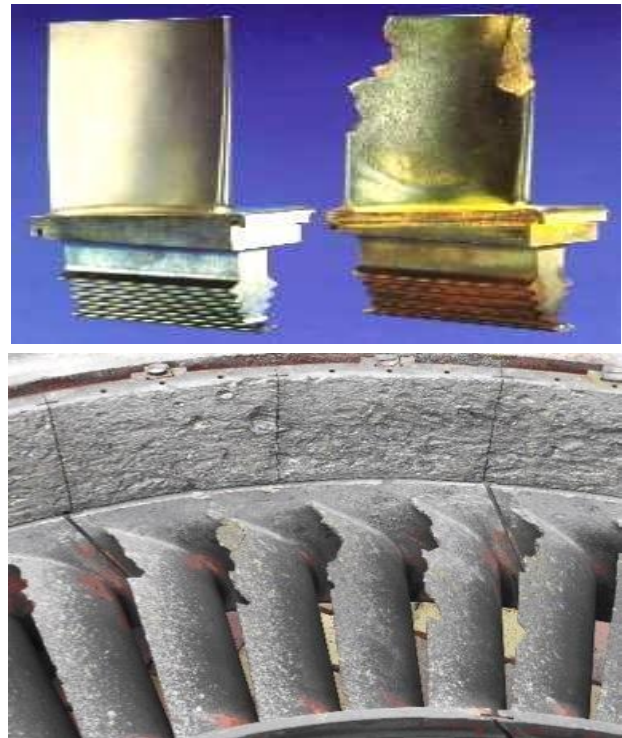
Dari Gambar Grafik Perbandingan Efisiensi di atas. Perbandingan efisiensi *thermal*, diketahui efisiensi *thermal* ideal siklus brayton dibandingkan dengan efisiensi *thermal* aktual siklus brayton, terjadi selisih penurunan persentase sebesar 26,51%.

Hal ini disebabkan oleh:

1. Perubahan dimensi akibat material yang bergesekan.

Sebagian besar kerusakan-kerusakan yang timbul pada sudu gerak turbin terjadi pada bagian-bagian dengan temperatur kerja yang tinggi. Penyebab kerusakan sudu ini adalah adanya partikel-partikel asing di dalam aliran, meningkatnya tegangan vibrasi, siklus kerja yang tinggi pada tegangan temperatur, korosi, perubahan keadaan tegang material, keanehan titik berat pada saat pembuatan, dan *overheating*.

Kerusakan sudu-sudu turbin juga sering terjadi sebagai akibat dampak oleh subyek asing dan serpihan-serpihan dari elemen yang rusak. Dalam banyak hal, hasil-hasil tarikan, lekukan dan goresan menimbulkan konsentrasi tegangan sehingga mengurangi ketahanan fatigue material.



Gambar 3. Sudu-sudu Turbin yang mengalami perubahan dimensi

2. Keausan dan ketuaan yang disebabkan karena pengoperasian yang terus menerus. Dapat dilihat pada gambar



berikut :

Gambar 4. Retak di bagian Iner Casing Turbin

Pada gambar 4, terdapat retakan di bagian *Inner Casing Turbin*, yang di sebabkan karena langkah pengoperasian yang terus menerus. Akibatnya bagian tersebut mengalami keausan dan kelelahan sehingga menjadi retak. Untuk menanggulangi hal tersebut, di perlukan perawatan yang teratur, atau jika terlanjur mengalami kerusakan fatal, maka harus segera di ganti.

3. Langkah pengoperasian yang salah pada *turbine engine (Human Factor)*.

Upaya Penanggulangannya

Maintenance pada turbin gas selalu tergantung dari faktor-faktor operasional dengan kondisi yang berbeda dari setiap wilayah operasinya karena turbin gas sangat tergantung dari kondisi daerah operasinya. Semua pabrik pembuat turbin gas telah menetapkan suatu ketetapan yang aman dalam pengoperasian sehingga turbin gas selalu dalam batas kondisi aman dan tepat waktu untuk melakukan *maintenance*.

Dengan kata lain *maintenance* tersebut dikategorikan *predictive maintenance* yaitu kegiatan monitor, menguji, dan mengukur peralatan-peralatan yang beroperasi dengan menentukan perubahan yang terjadi pada bagian utama, apakah peralatan tersebut berjalan dengan normal atau tidak.

4. Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian, pengolahan data dan analisa hasil pengujian analisis efisiensi *thermal* terhadap *engine turbofan* pesawat boeing 737-500, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Efisiensi *thermal* ideal siklus brayton sebesar 70,51 % sedangkan efisiensi *thermal* aktual siklus brayton sebesar 44,0 %. Perbandingan efisiensi *thermal* ideal siklus brayton dan efisiensi *thermal* aktual siklus brayton sebesar 26,51 %, artinya efisiensi masih dapat ditingkatkan dengan semaksimal mungkin mengembalikan dimensi komponen pada kondisi seharusnya.

2. Penyebab terjadi menurunnya performa *engine turbofan* adalah perubahan dimensi akibat material yang bergesekan; keausan & ketuaan yang disebabkan oleh pengoperasian yang terus menerus; serta langkah pengoperasian yang salah pada *turbine engine*.
3. Upaya penanggulangannya adalah pemeriksaan secara berkala pada setiap komponen-komponen *turbofan engine* dan menggunakan alat ukur yang akurat.

Daftar Pustaka

- Arismunandar, Wiranto. 2000. *Pengantar Turbin Gas dan Motor Propulsi*. Bandung: ITB.
- Cengel, Yusuf A. 1994. *Thermodynamics: An Engineering Approach 5th ed.* USA: Mc Graw-Hill.
- CFM International. 1995. *CFM56-3 Basic Engine Training Manual*. CFM International.
- Cohen, Roger, Saravanamuttoo. 1978. *Gas Turbine Theory 2 nd ed*. London: The Chauser Press.
- Farooq Saeed. 2004. *Aero-Thermodynamics Of Turbo machinery For Jet Propulsion*. Dipublikasikan di www.google.com pada tanggal 18 Agustus 2008.
- Fitria. 2013. "Audit Energi Pada Gas Turbin Generator (GTG) Untuk Produksi Energi Listrik (Studi Kasus Di PT. Petrokimia)" *Audit Energi Pada Gas Turbin Generator (GTG) Untuk Produksi Energi Listrik (Studi Kasus Di PT. Petrokimia)*.
- Hasanudin. 2009. *Analisis Pemakaian Bahan Bakar Pada APU GTCP85-129*. Jakarta: Teknologi Industri Teknik Mesin.
- Naryono. 2013 "Analisa Efisiensi Turbin Gas Terhadap Beban Operasi PLTGU Muara Tawar Blok 1, Vol.2"/ *Analisa Efisiensi Turbin Gas Terhadap Beban Operasi PLTGU Muara Tawar Blok 1, Vol.2*.
- Purnomo, Muhammad Jalu. 2015. *Analisis Pemakaian Bahan Bakar (SFC) Mesin Lycoming O-360-A1ad Saat Terbang Di Ketinggian 13500 Ft*. Yogyakarta: Teknik Penerbangan U.S. Department of Transportation. *Aviation Maintenance Technician Handbook*.
- Saputro. 2006. "Kajian Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas G4."
- Sunaryo. 2016. "Analisa Efisiensi Turbin Gas Unit 1 Sebelum Dan Setelah *Overhaul Combustor Inspection* Di PT. PLN (PERSERO) Sektor Pembangkit PLTGU Cilegon : 50-57"/ *Analisa Efisiensi Turbin Gas Unit 1 Sebelum Dan Setelah Overhaul Combustor Inspection Di PT.*

Item	Symbol	Value			
Temperatur Udara Inlet Kompresor	T1	30	° C	303,15	K
Temperatur Udara Outlet Kompresor	T2	400	° C	673,15	K
Temperatur Gas Buang	T4	600	° C	873,15	K
Tekanan Udara Inlet Kompresor	P1	1	atm	101,33	kPa
Tekanan Udara Outlet Kompresor (Gage)	P2 gage	5	bar	500	kPa
Tekanan Absolut Udara Outlet Kompresor	P2	P2 gage + 1 atm		601,33	kPa
Debit Aliran Bahan Bakar	Qaftur	3.065	liter/jam	3,06	m ³ /jam
Berat Jenis Bahan Bakar	Paftur	18.400	kg/m ³		
Laju Aliran Bahan Bakar	Maftur	2,40	kg/s		
Nilai Kalor Bahan Bakar	LHV	0,8	kg/l	48147	kJ/Kg
Laju Aliran Massa Udara	Mudara	896825	lbs/hr	113	kg/s
Konstanta Kalor	CPudara	1,005	Kj/(kg.K)		

*PLN (PERSERO) Sektor Pembangkit PLTGU
 Cilegon : 50-57.*

Item	Symbol	Rumus	Value		
Temperatur Udara Outlet Kompresor	T2s	$T_2 = T_1 + \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(1,4-1)/1,4}$	1027,95	K	
Temperatur Ruang Bakar	T3	$T_3 = T_2 + \frac{(m \cdot LHV)}{m \cdot C_p}$	1690,65	K	
Temperatur Gas Buang Ideal	T4s	$T_{4s} = T_3 \times \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{(1,4-1)/1,4}$	498,59	K	
Panas Masuk Sistem	Qin.s	$q_{in.s} = c_p \cdot (T_3 - T_{2s})$	666,02	kJ/kg	
Panas Masuk Aktual	Qin	$q_{in} = c_p \cdot (T_3 - T_2)$	1022,59	kJ/kg	
Panas Keluar Sistem Ideal	Qout.s	$q_{out.s} = c_p \cdot (T_{4s} - T_1)$	196,41	K	
Panas Keluar Sistem Aktual	Qout	$q_{out} = c_p \cdot (T_4 - T_1)$	572,85	K	
Kerja Kompresor Ideal	Wcs	$W_{Cs} = c_p \cdot (T_{2s} - T_1)$	728,42	kJ/kg	
Kerja Kompresor Aktual	Wc	$W_C = c_p \cdot (T_2 - T_1)$	371,85	kJ/kg	
Efisiensi Kompresor	η_c	$\eta_c = \frac{W_c}{W_{Cs}}$	0,51		49,11 %
Kerja Turbin Ideal	WTs	$W_{Ts} = c_p \cdot (T_3 - T_{4s})$	1198,03	kJ/kg	
Kerja Turbin Aktual	WT	$W_T = c_p \cdot (T_3 - T_4)$	821,59	K	
Efisiensi Turbin	η_t	$\eta_t = \frac{W_t}{W_{Ts}}$	0,69		64,01 %
Nisbah Kerja Balik Ideal	Bwrs	$B_{wrs} = \frac{W_{Cs}}{W_{Ts}}$	0,61		
Nisbah Kerja Balik Aktual	Bwr	$B_{wr} = \frac{W_c}{W_t}$	0,45		
Kerja Bersih Sistem Ideal	Wnet-s	$W_{net-s} = W_{Ts} - W_{Cs}$	470	kJ/kg	
Kerja Bersih Sistem Aktual	Wnet	$W_{net} = W_T - W_C$	450	kJ/kg	
Efisiensi Thermal Ideal Siklus Brayton	$\eta_{th.s}$	$\eta_{th.s} = \frac{W_{net-s}}{q_{in-s}}$	70,51	%	
Efisiensi Thermal Aktual Siklus Brayton	η_{th}	$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_{in}}$	44,0	%	
Daya Bersih Ideal	Pnet-s	$P_{net-s} = m \cdot W_{net-s}$	53065,26	kW	
Daya Bersih Aktual	Pnet	$P_{net} = m \cdot W_{net}$	50820,75	kW	

Maintenance			
Inspection/ Chek	Testing	Repair	Cleaning
Periksa kemungkinan adanya kebocoran dan kerusakan secara umum pada <i>engine</i> .	Melakukan pengujian bahan bakar apakah terjadi kebocoran.	Melakukan pergantian <i>Gearbox bearing</i> yang mengalami keausan dan kavitasi, Melakukan pergantian <i>Seal</i> dan <i>packing</i> pada pompa yang mengalami keausan.	<i>Air Inlet Sytem</i> : 1. Pembersihan filter sebelum dan setelah <i>silencer</i> untuk menyaring udara yang akan masuk kedalam <i>air inlet system</i> . Kotoran yang masuk <i>compressor</i> akan mengurangi efisiensi turbin gas dengan bertambahnya konsumsi bahan bakar. 2. Pembersihan <i>air intake manifold</i> dan pembersihan <i>variable guide vane</i> , dimana fungsinya untuk mengatur jumlah laju aliran gas pembakaran.
Periksa keamanan dan adanya benda asing pada penutup <i>engine</i> , wilayah masuknya udara dan putara bebas dari kipas/blade yang terlihat / tampak dari luar.	Melakukan pengujian pada putaran rotor (fan blade) apakah terjadi getaran yang berlebihan.	Melakukan pergantian <i>Fan Blade</i> jika terjadi getaran yang berlebihan.	<i>Compressor</i> : 1. Pembersihan <i>burner hole</i> untuk melancarkan pembakaran di <i>combustor</i> . 2. Dilakukan <i>compressor washing</i> untuk mengurangi <i>fouling</i> pada sudu-sudu <i>compressor</i> turbin gas. 3. <i>Cleaning compressor diffuser</i> untuk melancarkan aliran udara masuk ke <i>compressor</i> untuk menyempurnakan pembakaran di <i>combustor</i> .
Periksa pembungkus luar kipas, pembungkus kipas bagian dalam, kerangka dan topangan kerangka.	Melakukan pengujian rasio tekanan kompresor, temperature dan perbandingan panas spesifik.	Melakukan pergantian <i>combustor basket</i> di <i>combustor</i> .	<i>Combustor</i> : 1. Membersihkan <i>tubing-tubing burner</i> di <i>combustor</i> untuk menyempurnakan pembakaran yang akan mempengaruhi efisiensi ruang bakar menjadi meningkat. 2. Pembersihan di bagian <i>fuel distribution system</i> untuk melancarkan aliran bahan bakar untuk proses pencampuran udara dan bahan bakar di <i>combustor</i> .
Periksa <i>Thrust</i> pembalik, gas buang pada mesin bagian dalam, topangan	Melakukan Pengujian HPT (<i>Stator & Rotor</i>).	Melakukan pergantian pada <i>konector</i> yang longgar atau tidak layak pakai lagi.	<i>Turbine</i> : 1. Pembersihan <i>flange turbin-exhaust casing</i> pada sisi <i>combustor</i> dan

<p>pembungkus gas buang, dan <i>blades</i> turbin (bagian yang terlihat saja), kemudian periksa dari adanya timbunan minyak pada sisi <i>blades</i>.</p>			<p><i>exhaust diffuser</i> sebagai tempat penyaluran gas sisa dari turbin.</p> <p>2. Pembersihan <i>turbine vane carrier</i> dan sudu-sudu turbin untuk mengurangi <i>fouling</i> yang bertujuan untuk memaksimalkan gas hasil pembakaran menjadi energi mekanik.</p>
<p>Periksa banyaknya pelumas untuk <i>engine stater</i> dan isilah kembali bila diperlukan.</p>			