

## PENGEMBANGAN METODE OPTIMASI INTERVAL PERAWATAN MESIN CFM56-3

Pandu Darmadi, ST.<sup>1)</sup> dan Dr. Ir. Edy Suwondo<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara  
Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132  
pandu\_darmadi@hotmail.com

<sup>2)</sup> Program Studi Aeronotika dan Astronotika, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara  
Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132  
esuwondo@ae.itb.ac.id

### Abstrak

Setiap mesin pesawat terbang membutuhkan perawatan yang rutin untuk menjaga prestasinya juga agar tetap laik terbang. mesin. Beberapa perusahaan perawatan pesawat terbang (*Maintenance and Repair Organization, MRO*) melakukan tugasnya dengan pola pembayaran *power by the hour (PBH)*. Karena itu untuk mendapatkan keuntungan yang maksimum, MRO harus dapat meminumkan biaya perawatan per jam terbang pesawat, salah satunya adalah penentuan ruang lingkup (*workscope*) perawatan mesin pesawat secara tepat. Pada saat ini di PT. GMF GMF AEROASIA GMF AeroAsia belum terdapat metode yang merencanakan seluruh perawatan dari awal penggunaan hingga mesin tersebut tidak dipakai (*scrap*). Dalam penelitian ini dilakukan pengembangan metode yang dapat menentukan ruang lingkup pekerjaan pada saat mesin melakukan *shop visit* untuk mengoptimalkan biaya perawatan per *flight cycle (FC)* mesin. Variabel penentu untuk dapat mengoptimalkan biaya perawatan yaitu umur sisa *Life Limit Part (LLP)* yang harus diganti dan *Exhaust Gas Temperature (EGT)* margin. Metode diuji dengan data lampau dan kemudian diimplementasi untuk mendapatkan batas sisa umur LLP yang harus diganti agar menghasilkan biaya perawatan mesin yang paling optimum. Untuk mesin dengan *thrust rating* 20.000 lbs dan 22.000 lbs didapat sisa umur LLP yang harus diganti agar mendapatkan biaya perawatan yang paling optimum adalah LLP dengan sisa umur dibawah 5.000 FC, sedangkan untuk mesin dengan *thrust rating* 23.500 lbs adalah LLP dengan sisa umur dibawah 1.250 FC. Implementasi metode ini juga menunjukkan bahwa mesin dengan *thrust rating* 23.500 lbs tidak direkomendasikan untuk digunakan di Indonesia.

*Key words:* Workscope, shop visit, life limited part, exhaust gas temperature, biaya minimum

### 1. Pendahuluan

Pada akhir 2009 Garuda Indonesia mengoperasikan pesawat 737 Classic sebanyak 38 pesawat dan setiap pesawatnya menggunakan 2 mesin pendorong tipe CFM56-3. Rata-rata mesin pesawat melakukan *shop visit* setiap 3 tahun. Pada setiap bulannya GMF AeroAsia akan menerima 2 mesin pesawat yang membutuhkan perawatan, dengan rata-rata waktu pengerjaan (*Turn Around Time, TAT*) 70 hari. Sehingga pada bulan yang sama GMF AeroAsia akan merawat 4 mesin pesawat secara bersamaan. Pesawat yang salah satu mesinnya sedang mendapatkan perawatan akan

menggunakan mesin cadangan milik GMF AeroAsia agar pesawat dapat tetap dioperasikan. Jika hal ini tidak terencana dengan baik maka jumlah mesin yang memerlukan perawatan pada saat yang sama dapat meningkat lebih dari empat mesin per bulannya, semenara itu GMF AeroAsia memiliki jumlah mesin cadangan yang terbatas.

Perawatan mesin pesawat akan dilakukan pada setiap komponen, perawatan dapat berupa penggantian atau reparasi komponen. Penggantian komponen akan dilakukan pada komponen yang mengalami beban dinamik sehingga dibatasi oleh umurnya atau masuk



kategori *Life Limited Part* (LLP). Jika hanya komponen yang hampir mencapai batas kelelahannya yang diganti, maka biaya yang dikeluarkan sedikit, tetapi umur mesin tersebut untuk dapat tetap dioperasikan (*onwing*) hingga menuju perawatan berikutnya menjadi pendek. Selain batas lelahnya, mesin pesawat memiliki beberapa parameter kesehatan. Salah satu parameter tersebut adalah temperatur gas yang keluar dari ruang bakar (*combustion chamber*) atau disebut *exhaust gas temperature* (EGT). Keausan mesin atau timbulnya pelapisan kerak akibat udara sekitar yang kotor menyebabkan meningkatnya EGT. Mesin menggunakan komponen yang memiliki batas maksimum temperatur agar kekuatannya tidak berkurang, karena suatu material bila dipanaskan akan mengalami penurunan kekuatan. Setiap perawatan yang dilakukan akan kembali memperkecil EGT.

Pada saat ini GMF AeroAsia melakukan penentuan ruang lingkup (*workscope*) perawatan dengan melihat sejarah EGT margin mesin yang akan dirawat berdasarkan data EGT margin saat terakhir digunakan, *deterioration rate* EGT margin, dan data perawatan yang akan dilakukan maka dapat memperkirakan besarnya EGT margin yang akan didapat setelah melakukan perawatan. Dengan perkiraan besar EGT margin yang didapat setelah perawatan maka didapat waktu minimum umur mesin tersebut dibangun berdasarkan LLP. Metode penentuan *workscope* perawatan ini belum dapat menentukan *workscope* perawatan yang dilakukan pada *shop visit* berikutnya.

## 2. Life Limited Part

Mesin CFM56-3 terbagi atas 3 modul utama dan setiap modul utama dibagi menjadi beberapa submodul. Submodul pada mesin CFM56-3 terdiri dari:

## 3. Exhaust Gas Temperature

*Exhaust Gas Temperature* adalah temperatur gas yang keluar dari ruang bakar. Temperatur ini memiliki nilai maksimum (*EGT red line*) agar tidak merusak komponen yang ada dibelakang ruang bakar. Selisih antara *exhaust gas temperature* dan *EGT red line* disebut EGT margin.

Pada kebanyakan CFM56-3 hanya dapat mencapai 75% dari nilai *exhaust gas temperature* marginnya setelah mendapatkan perawatan pada *shop visit* yang pertama. Hal ini disebabkan oleh adanya part yang tererosi selama pengoperasian awal dan tidak dilakukan pengantian LLP ketika *shop visit* pertama sehingga menyebabkan turunnya EGT margin mesin tersebut.

Dave Carr, ketua tim *Total Engine Support* (TES) CFM56-3 menjelaskan pada keadaan standar yaitu pada temperatur lingkungan 30°C, engine CFM56-

- *Fan Major Module*  
*Fan and Booster, no. 1 and no. 2 Bearing Support, Fan Frame, IGB and no. 3 Bearing, TGB module, AGB Module,*
- *Core Major Module*  
*HPC Rotor Module, HPC Forward Stator Module, HPC Rear Stator Module, Combustion Case, Combustion Chamber, HPT Nozzle and Support Module, HPT Rotor Module, HPT Shroud and Stage 1 LPT Nozzle*
- *Low Pressure Turbine*  
*LPT Rotor/ Stator Assy, LPT Shaft Module, Turbine Frame*

Untuk mengganti sebuah LLP cukup dengan membongkar submodul yang memuat LLP tersebut. Submodul tersebut akan dibongkar secara keseluruhan (*overhaul*) hingga ke komponen terkecilnya.

Part-part pada mesin CFM56-3 yang merupakan LLP diantaranya:

- *Fan and Booster*  
*Fan Disk Stage 1, Spool Booster, Fan Shaft,*
- *High Pressure Compessor (core)*  
*Front Shaft HPC, Spool Stage 1-2, Disk Stage 3 HPC, Spool Stage 4-9, Seal Air HPC Rear,*
- *High Pressure Turbine (core)*  
*Shaft Forward HPT, Front Seal Air HPT, Disk HPT, Shaft Rear HPT,*
- *Low Pressure Turbin*  
*Disk Stage 1 LPT, Disk Stage 2 LPT, Disk Stage 3 LPT, Disk Stage 4 LPT, Conical Support LPT, Shaft LPT, Shaft Stub LPT.*

3 yang baru memiliki EGT margin pada 115- 120°C untuk CFM56-3B1 pada thrust level 18.500 pound. Pada CFM56-3B2 dan CFM56-3C1, 90-100°C bila digunakan pada 20.000 pound, 60-70°C pada 22.000 pound dan 40-50°C derajat celcius bila digunakan pada 23.500 pound.

EGT margin di atas adalah hanya untuk engine yang masih baru dan setelah *shop visit* pertama EGT itu maksimum hanya dapat kembali 75% dari EGT margin barunya. Menurut Joao Baleizao, CFM56 *powerplant engineer* di TEP *Maintenance and Engineering*, besarnya nilai EGT margin bergantung pada pekerjaan yang dilakukan pada saat *shop visit* dan *Core major module* berpengaruh paling besar untuk mengembalikan EGT margin. Perbaikan *seal* dan mengurangi tingkat *loss pressure* adalah salah satu tindakan lain yang dapat dilakukan untuk mendapatkan EGT margin yang lebih besar setelah perawatan. Lanjut Baleizao, jarak *clearance* antara *blade* dan *cover* menjadi hal yang harus diperhatikan, sebab jika jarak *clearencenya* besar maka akan terjadi banyak *pressure loss*.



Tabel 1 Cycle Limit LLP [Engine shop visit report ESN 857389 Desember 2009]

DESCRIPTION	PART NUMBER	LIFE LIMIT (FLIGHT CYCLES)		
		20.000 lbs	22.000 lbs	23.500 lbs
Spool Booster	335-009-306-0	30.000	30.000	30.000
Disk. Fan Stg.1	335-014-511-0	30.000	24.900	20.100
Shaft-Fan	335-006-414-0	30.000	30.000	30.000
Front Shaft HPC	1275M37P02	20.000	20.000	20.000
Spool. Stg 1-2	1589M66G02	20.000	20.000	20.000
Disk. Stg. 3-HPC	1590M59P01	20.000	20.000	20.000
Spool. Stg 4-9	1588M29G01	20.000	20.000	15.800
Seal, Air HPCR Rear	1319M25P02	20.000	18.000	15.000
Shaft Fwd-HPT	1385M90P04	20.000	17.300	17.000
Seal, Air-HPT	1282M72P05	20.000	15.800	15.100
Disk-HPT	1475M29P02	20.000	18.500	16.600
Shaft, Rear-HPT	9514M71P07	25.000	20.000	15.800
Disk, Stg 1-LPT	301-331-126-0	25.000	25.000	25.000
Disk, Stg 2-LPT	301-331-227-0	25.000	25.000	25.000
Disk, Stg 3-LPT	301-331-322-0	25.000	25.000	25.000
Disk, Stg 4-LPT	301-331-427-0	25.000	25.000	25.000
Conical Support LPT	305-056-116-0	25.000	25.000	25.000
Shaft-LPT	301-330-067-0	30.000	30.000	30.000
Shaft, Stub-LPT	301-330-626-0	25.000	25.000	25.000

### 3.1. Available EGT Margin

Pada uraian sebelumnya semua EGT margin CFM56-3 mengacu pada keadaan lingkungan dengan temperatur 30°C pada maksimum *thrust* dan pada ketinggian pada permukaan laut. EGT margin dapat meningkat bila temperatur udara lingkungan kurang dari 30°C. EGT margin akan meningkat 3.2°C setiap penurunan temperatur lingkungan 1°C, dan sebaliknya untuk kenaikan temperatur lingkungan.

Mesin yang digunakan pada 23.500 pound akan mendapatkan EGT margin 62°C saat keluar dari *engine shop* jika temperatur lingkungannya adalah 20°C. Adanya EGT margin yang didapat menambah umur mesin tersebut untuk dapat tetap *on-wing* sebelum harus meningkatkan prestasinya kembali. Mesin yang sama bila digunakan pada temperatur lingkungan 10°C EGT marginnya akan mencapai 94°C.

Hal yang sama akan terjadi pada mesin dengan *thrust rating* 22.000 pound, ketika mesin keluar dari *engine shop* maka jika temperatur lingkungan 20°C maka EGT marginnya mencapai 72°C. Peningkatan kembali terjadi bila temperatur lingkungannya mencapai 10°C maka EGT margin yang akan didapat adalah 104°C.

### 3.2. EGT Margin Deterioration

Pada umumnya mesin pesawat semakin lama digunakan maka temperatur gas yang keluar dari ruang

bakar semakin tinggi atau EGT margin turun sejalan dengan umur mesin. Besarnya penurunan EGT margin mesin tidak hanya disebabkan oleh lingkungan. Besarnya gaya dorong (*thrust*) juga mempengaruhi penurunan EGT margin. Menurut Carr, pada mesin dengan *thrust rating* 23.500 pound akan mengalami penurunan 12°C EGT margin pada 1.000 Flight Cycle (FC) pertama, kemudian akan kembali mengalami penurunan sebesar 6°C pada 1.000 FC kedua, dan menurun 4°C pada setiap 1.000 FC berikutnya, hingga mendapatkan perawatan kembali. Pada dasarnya mesin dengan *thrust rating* 23.500 pound akan memerlukan perawatan *performance restoration* pada kurang lebih setiap 5.000 FC pada kondisi temperatur lingkungan standar.

Mesin dengan *thrust level* 22.000 lb akan terjadi penurunan EGT margin 16°C pada 2.000 FC pertama dan penurunan 3-4°C pada setiap 1.000 FC berikutnya. Engine dengan *thrust level* ini akan membutuhkan *perawatan performance restoration* pada setiap kurang lebih 8.000 FC pada temperatur lingkungan standar. Perbedaan temperatur lingkungan akan mempengaruhi interval perawatan.

Carr menambahkan bila mesin tersebut adalah CFM56-3C1 dan digunakan pada *thrust rating* 20.000 pound maka akan mengalami penurunan sebesar 9-10°C pada 2000 FC pertama dan hanya 2-3°C setiap 1000 FC berikutnya. Dengan perhitungan tersebut



kurang lebih mesin ini hanya memerlukan perawatan *performance restoration* pada setiap 15.000 FC.

GMF AeroAsia mengadakan riset penurunan EGT margin secara umum pesawat 737 Classic milik Garuda Indonesia. Riset tersebut menunjukkan bahwa pesawat 737 Classic milik Garuda Indonesia mengalami penurunan EGT margin sebanyak 7°C kurun waktu 1000 FC. Ini mengkonfirmasi apa yang dikatakan oleh Carr.

#### 4. Metode Optimasi

Metode optimasi dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excel®. Metode ini mensimulasikan seluruh pekerjaan yang dilakukan pada *shop visit* pertama hingga *shop visit* kesepuluh. Setelah mendaftar semua pekerjaan yang dilakukan kemudian dilakukan perhitungan biaya perawatannya. Setelah diketahui biaya pada setiap *shop visit* selanjutnya dilakukan optimasi hingga didapatkan biaya perawatan yang paling minimum.

Input yang dibutuhkan program ini adalah umur masing-masing LLP (19 buah) dan EGT margin pada setiap *shop visit*. Data ini didapat berdasarkan studi literatur yang sudah dilakukan sebelumnya. Setelah memasukkan input umur harus dimasukan juga harga *life limited part* dan biaya perawatan (*refurbishment cost*) untuk membongkar dan menganti LLP tersebut. Seluruh variabel di atas merupakan menjadi variabel kontrol. Variabel kontrol ini masing-masing dimasukan untuk setiap *engine thrust rating*. Input berikutnya adalah besarnya umur sisa minimum LLP yang tidak akan diganti pada saat *shop visit*. Artinya jika ada LLP part yang setelah digunakan umur sisanya tidak mencapai umur sisa minimum LLP, maka part tersebut akan diganti dengan yang baru dan umurnya kembali nol. Input ini merupakan bebas sehingga dapat diubah-ubah hingga didapatkan biaya akhir yang optimum.

Pada program yang dikembangkan, untuk tiap *engine shop visit* terdapat 4 kolom. Kolom pertama berisi nama setiap variabel kontrolnya, kolom kedua berisi umur setiap variabel kontrol sebelum digunakan, kolom ketiga berisi umur variabel kontrol setelah digunakan. Kolom keempat berisi tanda apakah LLP tersebut akan diganti pada *shop visit* yang bersangkutan.

Variabel yang digunakan pada LLP adalah Flight Cycle (FC), sedangkan pada EGT margin menggunakan satuan derajat Celcius. Untuk menyamakan satuan ini digunakan persamaan yang mengubah menjadi satuan derajat Celcius menjadi FC. Rumus yang digunakan berbeda untuk masing-masing *thrust rating* dan dinyatakan seperti di bawah ini.

$$(20\text{K lbs}) T_{n,E} = 2000 + ((EGTM_n - 8 - 6)/3 * 1000)$$
$$(22\text{K lbs}) T_{n,E} = 2000 + ((EGTM_n - 10 - 6)/3 * 1000)$$
$$(23\text{K lbs}) T_{n,E} = 2000 + ((EGTM_n - 12 - 6)/4 * 1000)$$

Jika sebuah LLP diganti maka diperlukan biaya perawatan (LLP cost) untuk pergantian, sedangkan tidak diganti maka nilai LLP cost nol. Bila dilakukan penggantian LLP maka akan dilakukan *overhaul* pada modul yang bersangkutan dan akan terdapat biaya *overhaul* (*refurbishment cost*). Jika tidak dilakukan *overhaul* maka akan ditinjau apakah nilai EGT margin nol. Bila EGT margin nol, maka perlu dilakukan perawatan prestasi pada semua modul. Jika tidak dilakukan perawatan prestasi dan hanya dilakukan inspeksi modul, maka akan dikenakan biaya perawatan minimum.

Setelah mendapatkan biaya perawatan baik LLP cost, *refurbishment cost*, biaya perawatan prestasi, atau perawatan minimum, maka dengan menjumlahkan semuanya akan didapat biaya perawatan yang akan diperlukan pada *shop visit* tersebut.

Seperti sudah disebutkan sebelumnya, nilai EGT margin akan berkurang menjadi 75% dari nilai EGT margin pada *shop visit* sebelumnya. Sesudah dilakukan perawatan sebanyak 4 kali maka EGT margin yang didapat saat *shop visit* dianggap sudah tidak berkurang lagi.

#### 5. Pengujian dan Implementasi Optimasi

Pada pengujian program yang dikembangkan digunakan data lampau yaitu *engine shop visit report* ESN 858620 dan ESN 858657. Metode baru dapat digunakan pada kondisi-kondisi *shop visit* yang sudah pernah terjadi dan menghasilkan data biaya yang sama. Dengan pengujian ini maka metode baru dapat mencerminkan biaya yang sebenarnya terjadi.

Program tersebut kemudian diimplementasikan untuk menentukan besarnya umur sisa minimum LLP sehingga menghasilkan biaya perawatan yang paling optimum, untuk *thrust rating* dimana mesin dioperasikan. Perhitungan optimasi sampai dengan umur mesin 50.000 FC atau 10 kali *shop visit*, mana yang tercapai lebih dulu.

*Engine thrust* 20.000 pound memiliki nilai awal umur LLP yang merupakan kelipatan 5.000 FC. Hal ini menyebabkan biaya perawatan dan pekerjaan yang dilakukan akan sama pada setiap minimum LLPnya pada selang 5.000 FC.

Selain terdapat hasil biaya perawatan per FC dan umur mesin sejak baru (*Cycle Since New*, CSN) mesin pada saat *shop visit*, dapat diketahui juga biaya perawatan secara total hingga mesin mencapai umur 50.000 FC.

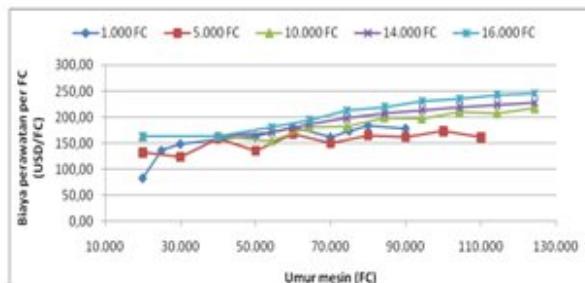
*Engine thrust* 22.000 pound memiliki nilai awal umur LLP lebih beragam. Sedikit perubahan pada penentuan variabel bebas umur sisa minimum LLP akan dapat mengubah biaya perawatan dan ruang lingkup perawatan yang dilakukan. Untuk itu, perubahan nilai variable bebas dalam penentuan biaya total perawatan yang optimum diperkecil menjadi 500 FQ1]



*Engine thrust* 23.500 pound memiliki nilai awal umur LLP yang berbeda dengan *engine thrust rating* lainnya. Dilihat dari pola umur LLP dan EGT margin maka untuk *engine thrust rating* ini untuk optimasi harus menggunakan jarak antar variabel bebas yang lebih diperkecil lagi, yaitu 250 FC. Untuk *thrust rating* ini perhitungan hanya sampai CSN 26.750 FC karena sudah mencapai sepuluh kali *shop visit*.

## 6. Grafik Hasil Implementasi

Untuk mesin dengan *thrust rating* 20.000 pound proses optimasi menghasilkan grafik biaya perawatan seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan tabel biaya perawatan total ditunjukkan pada Tabel 2. Jumlah *shop visit* (No. SV) adalah jumlah shop visit sampai umur akhir mesin yaitu 50.000 FC. Dari grafik dan tabel tersebut maka dapat diambil kesimpulan bahwa biaya perawatan akan optimum bila selalu mengganti LLP yang umurnya sudah dibawah 5.000 FC.

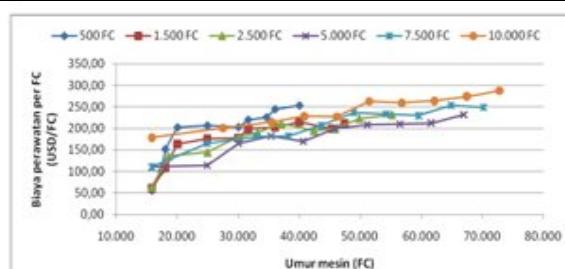


Gambar 1 Biaya perawatan pada *thrust* 20.000 pound

Untuk mesin dengan *thrust rating* 22.000 pound hasil optimasinya pada Gambar 2 dalam bentuk grafik dan pada Tabel 3 dalam bentuk tabel. Untuk variable bebas bernilai 500 dan 1500 FC menghasilkan jumlah *shop visit* lebih dari 10, karena itu menghasilkan ‘unknown’. Kesimpulan yang dapat diambil dari grafik dan tabel tersebut adalah bahwa biaya perawatan akan optimum bila selalu mengganti LLP yang umurnya sudah dibawah 5.000 FC.

Tabel 2 Biaya Perawatan pada *thrust* 20.000 pound

20k lb	Avg. cost (USD)	No. SV	Total cost (USD)
1.000	1.607.242	5	8.125.932
5.000	1.774.038	4	6.788.273
10.000	2.703.997	3	8.379.779
14.000	2.836.093	3	9.247.450
16.000	3.051.065	3	9.815.991

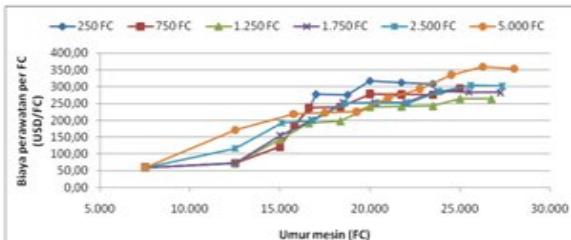


Gambar 2 Biaya perawatan pada *thrust* 22.000 pound

Tabel 3 Biaya Perawatan pada *thrust* 22.000 pound

22k lb	Avg. cost (USD)	No. SV	Total cost (USD)
500	1.013.195,93	unknown	unknown
1.500	1.000.297,15	unknown	unknown
2.500	1.279.141,48	10	12.791.415
5.000	1.550.826,65	7	10.662.849
7.500	1.747.445,38	7	12.641.506
10.000	2.096.747,54	6	13.534.177

Untuk mesin dengan *thrust rating* 23.500 pound hasil optimasinya pada Gambar 3 dalam bentuk grafik dan pada Tabel 4 dalam bentuk tabel. Untuk variable bebas bernilai 250 dan 750 FC menghasilkan jumlah *shop visit* lebih dari 10, karena itu menghasilkan ‘unknown’. Kesimpulan yang dapat diambil dari grafik dan tabel tersebut adalah bahwa biaya perawatan akan optimum bila selalu mengganti LLP yang umurnya sudah dibawah 1.250 FC.



Gambar 1 Biaya perawatan pada *thrust* 23.500 pound

Tabel 4 Biaya Perawatan pada *thrust* 23.500 pound

23,5k lb	Avg. cost (USD)	No. SV	Total cost 26.750 FC (USD)
250	723.990	unknown	unknown
750	738.489	unknown	unknown
1.250	706.568	10	7.065.678
1.750	770.139	10	7.701.392
2.500	824.895	10	8.248.949
5.000	990.211	10	9.902.111



## 7. Identifikasi Pekerjaan pada Setiap Shop Visit

Dengan menggunakan program Microsoft Excel® yang dikembangkan pada penelitian ini dapat diketahui dengan ruang lingkup pekerjaan perawatan untuk tiap *shop visit* pada mesin dengan *thrust rating* tertentu. Dengan memasukan data besarnya *engine thrust rating* dan *engine shop visit* ke berapa akan langsung tampil data mengenai pekerjaan yang dilakukan, LLP yang diganti, biaya untuk LLP, *refurbishment cost*, dan total biaya perawatan. Selain itu dapat diketahui besarnya biaya perawatan per *engine flight cycle* hingga saat ini. Gambar 4 menunjukkan tampilan ruang lingkup pekerjaan pada sebuah shop visit dari program Microsoft Excel® yang dikembangkan.

## 8. Kesimpulan

Kesimpulan penelitian pengembangan metode optimasi interval perawatan ini adalah sebagai berikut.

- a. Metode sudah selesai dikembangkan dalam bentuk program Microsoft Excel®.
- b. Program sudah diuji dengan data lampau dan menunjukkan hasil yang memuaskan.
- c. Implementasi program menghasilkan interval perawatan yang memberikan biaya minimum untuk semua *thrust rating* yang digunakan.

## 9. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. GMF AeroAsia atas semua data dan informasi yang diperlukan untuk penelitian ini.

## 10. Daftar Pustaka

1. CFM56-3 Engine, Familiarization and Systems Overview, MTU Maintenance Hannover (for training purposes only), Agustus 2007.
2. CFM56-3 Maintenance Analysis and Budget, Aircraft Owner's and Operator's Guide Issue No 45, April/Mei 2006.
3. Ackert, Shannon. *Engine Maintenance Concepts for Financiers*, Macquarie AirFinance, 2010.
4. LineOps GMF GMF AEROASIA – Continuation Training Media, Edisi I/2010 (17 Pebruari 2010)
5. Engineering Information, Garuda Maintenance Facilities, B171-00-0001EI\_0 Thrust Rating
6. <http://www.cfm56.com/products/cfm56-3/cfm56-3-technology> (diakses 5 Juli 2010).
7. [http://www.geaviationservicesolutions.com/archive\\_s/](http://www.geaviationservicesolutions.com/archive_s/) (diakses 5 Juli 2010).
8. GE Engine Services, Service Solutions, Issue No.3, Mei/Juni 2004.
9. [http://www.efunda.com/solid\\_mechanics/fatigue\\_highcycle.cfm](http://www.efunda.com/solid_mechanics/fatigue_highcycle.cfm) (diakses 22 Juli 2010).
10. [http://www.engrasp.com/doc/eth/mod/fm1/stresslife\\_help.html](http://www.engrasp.com/doc/eth/mod/fm1/stresslife_help.html) (diakses 22 Juli 2010).
11. Dr Rachmat K Bachrun, *RCM 07 - Functions and Failures*, ITB, 2009.
12. Prof. Dr. Indra Nurhadi, *Slide Perkuliahan Perawatan Mesin MS-4012*, ITB, 2009.
13. <Http://iklim.bmg.go.id/normal.asp> (diakses 2 Agustus 2010)
14. Engineering Information, Garuda Maintenance Facilities, B105-10-0001EI\_0 CFM56-7B LLP



Thrust Engine	22k				
Number Engine Shop Visit	3				
minimum LLP	5000				
removal reason	LLP				
CSN	30000				
CSLV	5100				
EGTM	34	8000	2900		
LLP limit	0				
Part number	LLP LSV	LLP now	removal	LLP Price	Refurbishment Cost
Spool Booster	335-009-306-0	5.100	-	x 169.793,48	FAN & BOOSTER 24.051,33
Disk. Fan Stg.1	335-014-511-0	24.900	19.800	0	NO.1 AND NO.2 BEARING SUPPORT 7.725,66
Shaft-Fan	335-006-414-0	5.100	-	x 105.380,84	FAN FRAME 33.518,50
Front Shaft HPC	1275M37P02	10.900	5.800	0	IGB AND NO.3 BEARING 483,58
Spool. Stg 1-2	1589M66G02	10.900	5.800	0	TGB MODULE 483,58
Disk. Stg. 3-HPC	1590M59P01	10.900	5.800	0	AGB MODULE 483,58
Spool. Stg 4-9	1588M29G01	10.900	5.800	0	HPC ROTOR MODULE 103.768,39
Seal, Air HPCR Rear	1319M25P02	8.900	3.800	x 52.662,07	HPC FORWARD STATOR MODULE 55.308,14
Shaft Fwd-HPT	1385M90P04	8.200	3.100	x 92.223,83	HPC REAR STATOR MODULE 47.677,13
Seal, Air-HPT	1282M72P05	6.700	1.600	x 97.997,04	COMBUSTION CASE 78.984,29
Disk-HPT	1475M29P02	9.400	4.300	x 175.918,30	COMBUSTION CHAMBER 54.200,19
Shaft, Rear-HPT	9514M71P07	10.900	5.800	0	HPT NOZZLE & SUPPORT MODULE 88.964,65
Disk, Stg 1-LPT	301-331-126-0	25.000	19.900	0	HPT ROTOR MODULE 204.795,86
Disk, Stg 2-LPT	301-331-227-0	25.000	19.900	0	HPT SHROUD & STAGE 1 LPT NOZZLE 129.402,33
Disk, Stg 3-LPT	301-331-322-0	25.000	19.900	0	LPT ROTOR/ STATOR ASSY 306.369,38
Disk, Stg 4-LPT	301-331-427-0	25.000	19.900	0	LPT SHAFT MODULE 48.590,16
Conical Support LPT	305-056-116-0	25.000	19.900	0	TURBINE FRAME 78.370,20
Shaft-LPT	301-330-067-0	5.100	-	x 158.678,08	
Shaft, Stub-LPT	301-330-626-0	25.000	19.900	0	
LLP price	852.653,64				
refurbishment cost	1.263.176,94				
total price	2.115.830,59				
Next Cycle Limit	5800				
\$/FC	165,07				
Fan & LPC	Overhaul				
Core	Overhaul				
LPT	Overhaul				
Accessory Drive	Minimum				

Gambar 4 Ruang lingkup pekerjaan perawatan keluaran program optimasi yang dikembangkan



*Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9*  
*Palembang, 13-15 Oktober 2010*

---



**ISBN : 978-602-97742-0-7**

**MIII-242**