

STUDI PERHITUNGAN EFEKTIVITAS DERATE THRUST ENGINE ROLLS-ROYCE TRENT 700 PADA PESAWAT AIRBUS A330-300

Tri Susilo*, Aprilia Sakti K., Miftha Hudin Budiman

Teknik Penerbangan Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma
Jl. Protokol Halim Perdanakusuma Jakarta Timur 13610

*Corresponding Author : trisusilo@lionair.co.id

Abstrak -- Mesin turbin gas sebagai penghasil tenaga dorong bagi pesawat udara harus dioperasikan se-optimal dan se-efisien mungkin, mengingat biaya perawatan engine yang mahal. Pemakaian tenaga dorong (thrust) paling besar adalah pada saat pesawat lepas landas (takeoff) dan terbang menanjak (climb). Pada kedua fase ini biasanya pesawat menghasilkan thrust dengan maksimal, tetapi hal ini berakibat meningkatnya tingkat kelelahan (fatigue) dari engine sendiri. Maka kemudian dikembangkan suatu metode yang bisa membatasi kinerja engine agar tidak perlu menghasilkan thrust maksimal (100%), metode ini disebut sebagai Derate Thrust. Dengan demikian penelitian ini dibuat dengan maksudkan untuk mempelajari, menghitung serta menganalisis seberapa efektif penggunaan derate thrust tersebut, dan yang dijadikan objek penelitian ini adalah metode engine Turbofan Rolls-Royce Trent 700 yang digunakan pada pesawat Airbus A330-300. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode perhitungan menggunakan rumus-rumus derate thrust yang di keluarkan langsung oleh pihak manufaktur engine yakni Rolls-Royce, yang selanjutnya akan dilakukan perbandingan dengan data aktual pabrik untuk dianalisa. Hasil dari perhitungan tersebut diperoleh kesimpulan bahwa hasil penggunaan derate paling efektif pada persentase 14,67. Bisa disimpulkan semakin besar nilai efektivitas yang dihasilkan maka akan semakin kecil kesempatan engine untuk mengalami kerusakan.

Kata kunci : derate thrust Rolls-Royce Trent 700, takeoff derate, climb derate, dan effective derate

Abstract – Gas turbine engine as propulsion system in airplane are required to operate efficiently and optimally as possible. Maximum thrust is required when the airplane in take-off and climbing phases. In both flight phases, the engines are experiencing high loads that cause high probability of fatigue failure. In order to prevent in maximum thrust operation, engine operation is limited by method called derate thrust. The purposes of this research are to study, calculate and analyze the performance of derate thrust method on Turbofan Rolls-Royce Trent 700 of Airbus A330-300. The formulas used in the derate method is based on Rolls-Royce manufacturer and will be compared with actual data in analysis. The results show the derate thrust effectively on 14,67 %. As the value of effectiveness is higher the probability of engine failure is lower.

Keywords: derate thrust Rolls-Royce Trent 700, takeoff derate, climb derate, effective derate

I. PENDAHULUAN

Mesin turbin gas yang berfungsi sebagai penghasil tenaga dorong untuk pesawat udara harus dioperasikan se-efisien mungkin, mengingat biaya operasional dan perawatan sebuah mesin pesawat sangatlah besar. Oleh karena itu, perusahaan penerbangan atau maskapai biasanya mencoba mengurangi atau meminimalkan biaya operasional tersebut dengan cara mengoptimalkan pemakaian *engine*.

Mengoptimalkan pemakaian *engine* berarti menggunakan tenaga dorong (*thrust*) se-efisien mungkin. Dan dalam penerbangan waktu yang paling vital dan besar penggunaan *thrust* adalah saat fase tinggal landas (*takeoff*) dan terbang menanjak (*climb*). Karena pada kedua fase ini-lah di butuhkan tenaga (*power*) terbesar pada saat terbang. Biasanya mesin harus menghasilkan *thrust* yang maksimal untuk mewujudkan fase *takeoff* dan *climb* yang lancar.

Namun, pemakaian *thrust* yang maksimal secara *continue* pada setiap penerbangan akan meningkatkan tingkat stress suatu *engine* yang otomatis kemudian akan menambah biaya perawatan *engine* tersebut. Oleh karena itu, dibuatlah suatu metode yang akan membatasi kinerja mesin agar mesin tidak bekerja maksimal (100%), metode ini dinamakan *Derate Thrust*.

Metode *derate thrust* ini memungkinkan para *engineer* untuk menurunkan standar maksimal tenaga dorong (*thrust*) yang dihasilkan *engine* pada saat tinggal landas (*takeoff*) dan pada fase menanjak (*climb*). Hal ini bertujuan agar *engine* tidak bekerja keras dan untuk jangka panjang akan memperpanjang umur dan kehandalan *engine* yang otomatis akan memangkas

biaya perawatan (*maintenance cost*) dan biaya operasional .

Metode ini sebenarnya sebuah metode yang baru diciptakan dan diperkenalkan oleh pihak manufaktur (*Rolls-Royce*). Penulis merasa tertarik untuk mempelajari dan memperkenalkan materi ini sebagai ilmu baru kepada pihak kampus karena memang dalam kegiatan perkuliahan kami belum pernah mengenal materi atau metode *derate thrust* ini sebelumnya. Oleh karena itu penulis mengangkat materi tersebut menjadi sebuah karya tulis yang nantinya penulis mencoba mempelajari penjelasan, perhitungan dan menganalisa keefektifan metode *derate thrust* tersebut saat fase tinggal landas (*takeoff*) dan menanjak (*climb*) beserta parameter - parameter yang terkait.

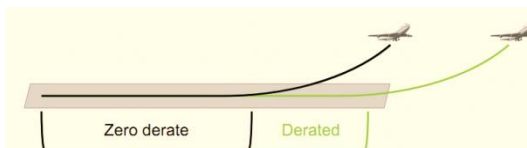
II. TINJAUAN PUSTAKA

Derate Thrust

Pada saat mengalami fase tinggal landas (*takeoff*) biasanya dibutuhkan tenaga (*power*) paling besar daripada fase terbang yang lain. Karena kebutuhan *power* besar tersebut otomatis *engine* harus menghasilkan tenaga dorong (*thrust power*) secara maksimal. Hal ini berakibat terforsinya *engine*, suhu *engine* yang selalu mencapai titik batas maksimal membuat tingkat *stress* pada *engine* meningkat dan menurunkan kehandalan (*reliability*) *engine*. Dengan adanya fenomena tersebut dibuatlah suatu metode yang berfungsi untuk mengurangi atau membatasi kinerja *engine* yang berarti membatasi *power* yang dihasilkan oleh *engine*. Jadi *engine* tidak perlu lagi berkerja maksimal (100%), metode ini adalah *Derate thrust*^[1].

Takeoff Derate Thrust

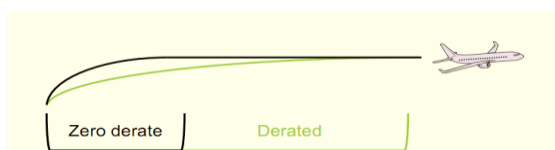
Pada saat *takeoff* seperti biasa atau tanpa menggunakan metode *derate thrust* (*fully-rated thrust*) dengan *power* dan kecepatan maksimal dari *engine* akan membutuhkan setengah sampai 2/3 dari panjang *runway* yang ada sampai pesawat terangkat ke udara. Sedangkan jika menggunakan *derate thrust* pesawat akan membutuhkan jarak panjang maksimal dari *runway*. Namun bukan berarti pesawat tidak melakukan *takeoff* sesuai standar. *Takeoff* tanpa atau dengan menggunakan *derate thrust* akan mencapai titik ketinggian jelajah (*cruise*) yang sama di udara, dan pesawat akan terbang dengan normal^[1].



Penggunaan *derate* pada saat *takeoff* bergantung pada beberapa faktor seperti, berat pesawat, suhu sekitar, dan panjang *runway* yang tersedia^[2].

Climb Derate Thrust

Bila saat menanjak (*climb*) menggunakan *derate* seperti pada saat *takeoff*, pesawat akan membutuhkan waktu sedikit lebih lama untuk mencapai titik ketinggian jelajah (*cruising altitude*) pada saat terbang karena menggunakan *thrust* yang lebih rendah dari *maximal thrust* yang seharusnya. Penggunaan *derate* untuk menanjak (*climb*) ini sendiri di pengaruhi oleh beberapa faktor seperti, berat pesawat dan pengaturan lalu lintas di udara oleh ATC^[2].



Faktor Suhu (DTamb)

DTamb atau *delta ambient temperature* bisa didefinisikan sebagai *free stream static temperature* (OAT) yang di kurangi dengan *standard atmospheric temperature* (ISA)^[7]. Dtamb menjadi parameter suhu sekitar *engine* yang digunakan dalam perhitungan *derate thrust* ini.

Outside Air Temperature adalah suhu udara di luar kabin yang bergantung pada posisi pesawat saat itu. Sedangkan *International Standard Atmosphere* adalah nilai baku standar internasional yang menjadi dasar dari berbagai instrumen penerbangan dan hampir semua data kinerja (*performance*) pesawat, untuk mendapatkan sebuah referensi bagi tekanan dan suhu.

Efektivitas Derate Thrust

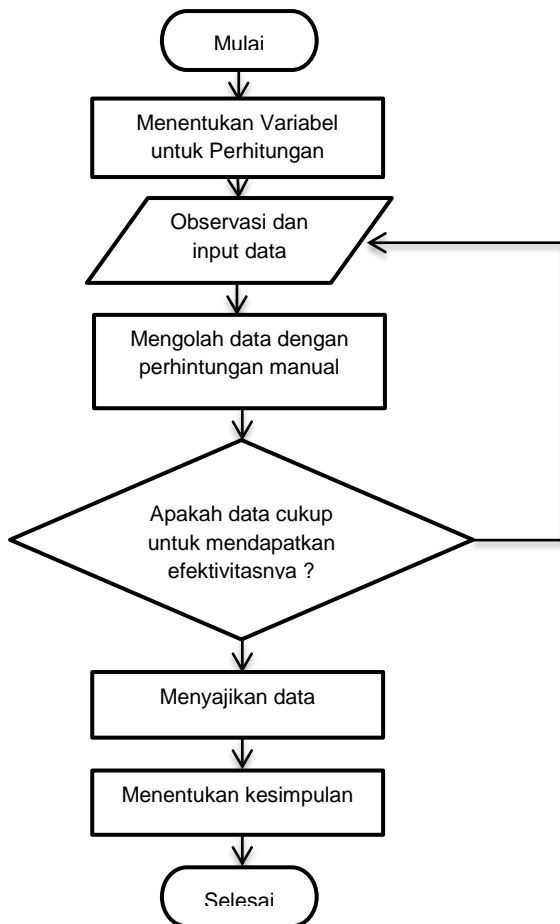
Nilai hasil perhitungan *derate thrust* untuk *takeoff* dan *climb* digabungkan dengan faktor suhu (DTamb) untuk dapat menghitung efektivitas *derate*.

Efektivitas tersebut berhubungan atau berpengaruh kepada kesehatan *engine* (*engine health*). Bisa disimpulkan semakin besar nilai efektivitas yang dihasilkan maka akan semakin kecil peluang *engine* untuk mengalami kerusakan.

III. METODE PENELITIAN

Alur Penelitian

Proses penelitian ini ditunjukkan pada *flowchart* yang tersaji pada Gambar berikut :



IV. PERHITUNGAN DAN ANALISIS

4.1. Perhitungan Takeoff Derate

Untuk perhitungan manual ini, penulis mengambil salah satu data yang nantinya akan disimulasikan dalam perhitungan, yaitu data *takeoff* dan *climb* pada tanggal 7 Nopember 2015 pukul 22:46 dari Bandara Soekarno-Hatta oleh pesawat A330-300.

Diketahui data :

- Engine Pressure Ratio (EPR) : 1,370
- Max Engine Pressure Ratio : 1,620
- Mach number (Mn) : 0,24
- Ketetapan^[2] : **52347,66**
187741,62
51904,62
139021,08
37027,95

Langkah selanjutnya yaitu mencari nilai FN_{actual} dan FN_{max} dengan data parameter yang sudah disebutkan diatas

FN_{actual} :

$$FN_{actual} = (52347,66 \times Mn^2) - (51904,62 \times Mn) - (37027,95 \times EPR^2) + (187741,62 \times EPR) - (139021,08)$$

$$FN_{actual} = (52347,66 \times 0,24^2) - (51904,62 \times 0,24) - (37027,95 \times 1,370^2) + (187741,62 \times 1,370) - (139021,08)$$

$$FN_{actual} = 39.245,296 \text{ lb}$$

FN_{actual} :

$$FN_{max} = (52347,66 \times Mn^2) - (51904,62 \times Mn) - (37027,95 \times EPR^2) + (187741,62 \times EPR) - (139021,08)$$

$$FN_{max} = (52347,66 \times 0,24^2) - (51904,62 \times 0,24) - (37027,95 \times 1,602^2) + (187741,62 \times 1,602) - (139021,08)$$

$$FN_{max} = 57.270,432 \text{ lb}$$

Setelah mendapatkan nilai FN_{actual} dan FN_{max} , selanjutnya nilai-nilai tersebut bisa dimasukkan untuk mencari persentase *takeoff derate*, sebagai berikut :

$$Takeoff \% derate = \frac{(FN_{max} - FN_{actual})}{FN_{max}} \times 100\%$$

$$= \frac{(57.270,432 - 39.245,296)}{57.270,432} \times 100\%$$

$$= 0,3147 \times 100\% = \underline{\underline{31,47\%}}$$

4.2. Perhitungan Climb Derate

Dalam mencari nilai *climb derate* terdapat parameter yang diperoleh dari data *climb* (*climb export*) dalam satu fase terbang. Untuk mencari nilai dari *Climb derate* berasal dari perhitungan tiga parameter (*export value/CLDL*) dalam data *climb derate export*.

Export value:	0	1	2
CLDL2 derate	0	1.5	2.0
CLDL3 derate	0	2.0	3.5
CLDL4 derate	0	4.5	6.5

Data yang akan dihitung harus menyesuaikan dengan data yang digunakan dalam perhitungan *Takeoff derate* yaitu data pada tanggal 7 Nopember 2015 pukul 22:46 keberangkatan dari Bandara Soekarno-Hatta. Jadi data untuk *Climb derate* adalah sebagai berikut :

Diketahui : CLDL2 = 2
 CLDL3 = 2
 CLDL4 = 2

Jawab :

CLDL2 = 2 maka nilai *derate* = 2,0 %

CLDL3 = 2 maka nilai *derate* = 3,5 %

CLDL4 = 2 maka nilai *derate* = 6,5 %

Jadi, total *Climb derate* : 2,0 + 3,5 + 6,5
 = **12 %**

4.3. Perhitungan Faktor Suhu (DTamb)

Perhitungan DTamb didasari dengan beberapa parameter antara lain : *Total Air Temperature* (TAT), *Mach Number* (Mn), dan ketinggian (ALT) yang di dapat dari data *takeoff export*.

Diketahui :

- TAT : 29° *Celcius*
- Mn : 0,24
- ALT : 842 ft

Langkah pertama adalah mencari nilai suhu udara disekitar (OAT)

$$OAT = \frac{TAT + 273,15}{1 + (0,2 \times Mn^2)}$$

$$= \frac{29 + 273,15}{1 + (0,2 \times 0,24^2)}$$

$$= \frac{302,15}{1,01152}$$

$$OAT = 298,7089^\circ K$$

Kedua, mencari nilai suhu International Standards Atmosphere (ISA).

$$ISA = 288,15 - \frac{ALT}{505}$$

$$= 288,15 - \frac{842}{505}$$

$$= 288,15 - 1,6673$$

$$ISA = 286,4827^\circ K$$

Konversi satuan *Kelvin* ke *Celcius* :

- OAT = 298,7089° K – 273,15
 = 25,5589° C
- ISA = 286,4827° K – 273,15
 = 13,3327° C

Jadi, perhitungan nilai DTamb adalah sebagai berikut :

$$DTamb = (OAT - ISA) \times 100\%$$

$$= (25,5589^\circ C - 13,3327^\circ C) \times 100\%$$

$$DTamb = 12,2262^\circ C \times 100 \% = 12,2262 \%$$

4.4. Perhitungan Efektivitas *Derate*

Perhitungan efektivitas ini didasarkan pada rumus yang telah dibuat dan di tetapkan oleh pihak manufaktur (*Rols-Royce*) dan sudah dipakai untuk operasional pesawat itu sendiri.

$$\text{Konstanta}^{[2]} = A = 0,47$$

$$B = 0,53$$

$$C = 0,556$$

$$\begin{aligned}
& \text{Eff derate} = \\
& (A \times \text{takeoff derate}) + (B \times \text{climb derate}) \\
& \quad - (C \times \text{Dtamb}) \\
& \text{Eff derate} = (0,47 \times 31,47\%) + (0,53 \times 12\%) \\
& \quad - (0,556 \times 12,2262\%) \\
& = (14,7909) + (6,36) - (6,7978) \\
& = \mathbf{14,3551\%}
\end{aligned}$$

4.5. Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan manual diatas dapat disimpulkan bahwa, efektivitas *derate* terbesar terjadi pada angka 14,6771% pada kolom berwarna kuning dalam tabel. Hasil ini terjadi pada penerbangan tanggal 25 Desember 2015 pukul 19:27 dari bandara King Abdul Aziz. Jika dilihat dari data *takeoff export*, hasil efektivitas *derate* terbesar ini terjadi pada suhu (TAT) 25,5 °C, pada ketinggian 501 ft, dan pada kecepatan Mach 0,252.

Setelah didapatkan nilai efektivitas sebesar 14,6771% ini. Lalu sebenarnya untuk apa nilai efektivitas ini. Efektivitas tersebut berhubungan atau berpengaruh kepada kesehatan engine (*engine health*). Bisa disimpulkan semakin besar nilai efektivitas yang dihasilkan maka akan semakin kecil peluang *engine* untuk mengalami kerusakan.

Masa pemakaian suatu engine memang sudah ditentukan oleh pabrikan, tetapi dengan diterapkannya metode *derate thrust* ini secara continue diharapkan agar kondisi engine selalu dalam keadaan baik (*servicable*) dan tidak membutuhkan perawatan yang berat dalam masa pemakaiannya (*engine life*). Dengan kata lain penggunaan metode *derate thrust* ini bukan untuk memperpanjang usia pemakaian engine tetapi untuk menjaga kondisi engine agar tidak mudah rusak.

4.6. Perbandingan Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan yang dilakukan secara manual setelah didapat, selanjutnya akan di bandingkan dengan hasil perhitungan manufaktur (data aktual). Dengan perbandingan yang dibuat ini nantinya akan diperoleh kesimpulan. Berikut perbandingan di sajikan dalam bentuk tabel pada tabel dibawah.

Aircraft A330-300 (PK-LEF)	TO <i>Derate</i> (%)	CL <i>Derate</i> (%)	DTAMB (deg Celcius)	Eff. <i>Derate</i>
Hitung Manual (Engine 1)	23,7016	3,0702	13,1330	5,46
Hitung Manual (Engine 2)	23,6075	3,0702	13,1330	5,42
Data Aktual (Pabrik)	23,3	3,1	12,5	5,7

Dilihat dari Tabel diatas dapat diberikan sedikit penjelasan bahwa, pada kolom hitung manual adalah nilai rata-rata dari hasil perhitungan manual untuk kedua *engine*, sedangkan data aktual (manufaktur) adalah data perkiraan (*assessment*) yang di dapat dari pihak manufaktur (*Rolls-Royce*). Data aktual ini merupakan data rata-rata dari penerbangan selama tiga bulan oleh pesawat tersebut.

Dari tabel perbandingan diatas dapat disimpulkan bahwa ada terlihat adanya perbedaan antara hasil perhitungan manual dengan data aktual (perhitungan pabrik). Yang penulis lihat hal ini disebabkan karena faktor suhu (DTamb) berbeda. Karena secara kasar data aktual ini adalah rata rata dari data semua bandara yang dilalui pesawat PK-ZEF selama tiga bulan penerbangan. Dan Dtamb disetiap bandara keberangkatan selalu berbeda beda.

V. KESIMPULAN

1. *Derate thrust* adalah metode untuk menurunkan standar maksimum *thrust* yang dihasilkan *engine* agar tidak perlu mencapai 100%. Metode ini digunakan

- agar *engine* tidak mencapai tingkat *stress* yang tinggi, otomatis akan mengurangi biaya perawatan *engine* dan memperkecil pengeluaran perusahaan.
2. Dari segi efektivitas, setelah melakukan perhitungan manual dihasilkan angka persentase *effective derate* terbesar yaitu 14,67%. Efektivitas ini berpengaruh kepada kesehatan *engine* (*engine health*). Bisa disimpulkan semakin besar nilai efektivitas yang dihasilkan maka akan semakin kecil kesempatan engine untuk mengalami kerusakan.
 3. Jika dilihat dari perbandingan hasil perhitungan manual dengan perhitungan manufaktur (data aktual), maka terdapat perbedaan atau selisih angka sangat sedikit yaitu kurang dari 1 %. Hal ini disebabkan karena, pada perhitungan manufaktur merupakan hasil rata-rata dari semua penerbangan yang dilakukan oleh pesawat PK-ZEF. Sementara pada perhitungan manual merupakan hasil rata-rata penerbangan dari 3 bandara yang paling sering dilalui pesawat PK-ZEF.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] FAA Advisory Circular No.25-23, 1988, "**Advisory Circular No.25-23 Reduced and Derated Takeoff Thrust (Power) Procedures**", U.S. Department of Transportation, USA.
- [2] Douglas, Andy, 2013, **Engine Health Monitoring Training Trent 700**, Rolls-Royce plc, France.
- [3] Roll-Royce, 2013, **Costumised Exports and Trent 700 Derate**, Rolls-Royce plc, France.
- [4] Roll-Royce, "**RB211-Trent 700 (Airbus A330-200/300) Line and Base Maintenance Training**", Rolls-Royce plc, France.
- [5] Airbus, 2005, "**Airbus A330 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning**", Airbus S.A.S., France.
- [6] _____, 2010, "**Buku Geospasial Transportasi Udara**", Kementerian Perhubungan, Jakarta, Indonesia
- [7] Sangwian, Sirirat, 2011, "**Multivariable Sliding Mode Control Design For Aircraft**", Cleveland State University, USA.
- [8] _____, 2015, "**Takeoff Basic Performance Data Aircraft PK-LEF**", Batam Aero Technic, Tangerang, Indonesia
- [9] _____, 2015, "**Climb Basic Performance Data Aircraft PK-LEF**", Batam Aero Technic, Tangerang, Indonesia
- [10] _____, 2016, Informasi Teknik Bandara Soekarno-Hatta <http://soekarnohatta-airport.co.id/id/airport/airport-technical-information> , diakses pada tanggal 11 Juli 2016.
- [11] _____, 2016, Informasi Teknik Bandar Udara Kuala Namu <http://kualanamu-airport.co.id/id/airport/airport-technical-information> , diakses pada tanggal 11 Juli 2016.
- [12] _____, 2016, King Abdul Aziz International Airport <http://jed-airport.com> , diakses pada tanggal 12 Juli 2016.
- [13] Chiles, Patrick, 2011, "**When Less is More : Reduced Thrust Takeoffs offer Safety Benefits, as wel as Economics Benefits**", FAA, USA.
- [14] _____, 2016, Boeing B737 NG Reduced Thrust Takeoff <https://www.youtube.com/watch?v=Sox dhQF09k0>, diakses pada tanggal 20 Agustus 2016.