

Analisis Perbandingan Fuel Consumption Pada Pesawat boeing B737-800 Rute CGK-DMK dan CGK-AMQ

Mohamad Fauzan Sofyan^{1,*}, Freddy Fransiscus², Mufti Arifin³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi Dirgantara dan Industri
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta Timur, Indonesia.

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 20 Oktober 2024
Direvisi: 4 November 2024
Diterima: 7 Desember 2024

Kata kunci:

Cargo
fuel consumption
jarak
loading
penumpang.

Keywords:

Cargo
fuel consumption
distance
loading
passenger

Penulis Korespondensi:

Mohamad Fauzan Sofyan
Email:
mohamadfauzansofyan067@gmail.com

ABSTRAK

Fuel consumption merupakan perhitungan konsumsi bahan bakar yang digunakan pesawat udara melalui dua engine, perhitungan ini akan mengetahui banyaknya fuel yang digunakan oleh pesawat dengan rute CGK-DMK dan CGK-AMQ dengan menggunakan pesawat Boeing B737-800 dan jarak terbang yang hampir sama dengan estimasi waktu sekitar 3 jam 15 menit, fuel *uplift* setiap rute berbeda sesuai dengan *Load sheet*, perhitungan untuk perbedaan berat pesawat maka fuel yang dibakar lebih banyak, yang mempengaruhi berat pesawat sendiri ialah *cargo* dan penumpang yang naik di dalam pesawat. *Fuel consumption* digunakan dalam tiga fase, yaitu; *Take off*, *cruising*, dan *landing*. Analisis dilakukan yaitu dengan metode perhitungan data pertama melalui *Load sheet* dengan tujuan CGK-DMK *Takeoff* sebesar 70.654 kg dan tujuan CGK-AMQ *Takeoff* sebesar 71.560 kg. Hasil analisis menunjukkan pada kedua rute tersebut mendapatkan nilai sebesar 906 kg untuk perbedaannya, rute CGK-DMK *fuel take off* sebesar 2.245,8 kg, *fuel cruise* sebesar 5.345,34 kg, dan *fuel landing* sebesar 350 kg. rute CGK-AMQ *fuel take off* sebesar 2.193,6 kg, *fuel cruise* sebesar 5.207,33 kg, dan *fuel landing* sebesar 350 kg. Rute CGK-DMK *traffic load* sebesar 13.319 kg memerlukan 8.239,4 kg *fuel*, pada rute CGK-AMQ *traffic load* sebesar 15.798 kg dan memerlukan *fuel* sebesar 8.051 kg, *traffic load* memiliki selisih sebesar 2.479 kg dan *fuel* memiliki selisih sebesar 238,4 kg dengan faktor pengaruh dari *traffic load* dan ketinggian terbang.

Fuel consumption is a calculation of fuel consumption used by aircraft through two engines, this calculation will determine the amount of fuel used by aircraft with the CGK-DMK and CGK-AMQ routes using Boeing B737-800 aircraft and almost the same flight distance with an estimated time of around 3 hours 15 minutes, fuel uplift for each route is different according to the Loadsheet, the calculation for the difference in aircraft weight means that more fuel is burned, which affects the weight of the aircraft itself is the cargo and passengers on board the aircraft. Fuel consumption is used in three phases, namely; Take off, cruising, and landing. The analysis was carried out using the first data calculation method through the Loadsheet with the destination CGK-DMK Takeoff of 70,654 kg and the destination CGK-AMQ Takeoff of 71,560 kg. The results of the analysis showed that on both routes a value of 906 kg was obtained for the difference, the CGK-DMK route fuel take off was 2,245.8 kg, fuel cruise was 5,345.34 kg, and fuel landing was 350 kg. CGK-AMQ route fuel take off is 2,193.6 kg, fuel cruise is 5,207.33 kg, and fuel landing is 350 kg. CGK-DMK route traffic load is 13,319 kg requires 8,239.4 kg of fuel, on the CGK-AMQ route traffic load is 15,798 kg and requires 8,051 kg of fuel, traffic load has a difference of 2,479 kg and fuel has a difference of 238.4 kg with the influence factors of traffic load and flight altitude.

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Pesawat udara merupakan salah satu sarana transportasi yang digunakan masyarakat terutama di Indonesia sendiri karena untuk memangkas waktu tempuh yang apabila menggunakan moda transportasi lain bisa menghabiskan waktu. Indonesia merupakan negara kepulauan, dengan adanya moda transportasi udara bisa menjangkau dari kota ke kota dan pulau ke pulau dengan sangat efisien waktunya. Perkembangan industri penerbangan ditandai dengan meningkatnya kebutuhan akan pesawat terbang. Para pelaku bisnis penerbangan domestik pun berlomba-lomba mengembangkan usahanya dalam memilih pesawat dan rute yang akan dituju untuk digunakan. Selain itu, dengan berkembangnya rute penerbangan yang dibangun, akan meningkatkan frekuensi penerbangan. Meningkatnya jumlah pesawat dan rute penerbangan menciptakan persaingan bagi operator penerbangan. Penerbangan. Operator tidak hanya bersaing untuk mendapatkan pelanggan melalui rute tetapi juga perlu menentukan rutanya dengan kapasitas pesawat yang digunakan dan konsumsi bahan bakar yang efisien. [1] Penggunaan bahan bakar yang efisien dapat mempengaruhi kinerja engine dan dapat menghemat biaya pengeluaran pada perusahaan, tentunya pengisian bahan bakar harus sesuai dengan data yang diberikan oleh FOO (*Flight Operation Officer*) yang telah mengatur *flight data plan*, sehingga pada saat *refueling* jangan sampai kelebihan, apabila kelebihan dapat menyebabkan *defueling* ataupun *off-loading cargo* sehingga perlu ada perubahan pada *load data sheet*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui rute penerbangan mana yang lebih menguntungkan bagi perusahaan dan untuk menganalisis perbandingan bahan bakar, kargo, bagasi, awak kabin serta penumpang yang akan melakukan tujuan penerbangan menggunakan pesawat boeing B737-800NG dari rute CGK (*Soekarno Hatta International Airport*) – DMK (*Don Mueang International Airport*) serta pada penerbangan CGK (*Soekarno Hatta International Airport*) – AMQ (*Ambon Pattimura Airport*), kedua penerbangan ini menempuh jarak yang sama sekitar 3 jam 15 menit. Metode yang digunakan adalah Metode perhitungan. Estimasi berat pesawat akan dihitung oleh FLOPS (*Flight Operation*), di FLOPS akan menghitung semua data untuk penerbangan, yaitu: Berat kosong pesawat, berat kargo yang naik, berat fuel uplift, dan berat berapa jumlah penumpang serta crew on board, Kepatuhan terhadap weight dan balance pesawat apapun sangat penting untuk keselamatan penerbangan. Beroperasi di atas maksimal weight dapat membahayakan integritas structural sebuah pesawat terbang dan berdampak buruk pada kinerjanya. Operasional dengan pusat gravitasi (CG) di luar batas yang telah ditentukan dapat mengakibatkan kesulitan pengendalian. Weight merupakan gaya gravitasi yang menarik suatu benda ke arah pusat bumi. Berat pesawat merupakan faktor utama dalam konstruksi dan pengoperasian pesawat terbang.[2]

Pesawat udara komersial disarankan untuk terbang pada lapisan bumi yang disebut dengan *Tropopause* yang berjarak 8-12 km atau sekitar 26.246 ft sampai dengan 39.370 ft. Pada tabel 1 menunjukkan perbedaan ketinggian dalam hitungan meter. Bandar Udara soekarno Hatta merupakan bandara komersial yang dibawah naungan Angkasa Pura II (*Injourney Airport*) yang melayani penerbangan domestik maupun *internasional* yang mampu memuat pesawat berbadan lebar saat yaitu Airbus A380 dan Boeing B747. Bandar udara Pattimura merupakan bandar udara yang terletak pada kota ambon provinsi maluku, bandar udara ini melayani penerbangan domestik dengan pesawat terbesar saat ini yang dapat dilayani ialah jenis pesawat tipe Boeing 737-900ER. Bandar Udara Don Mueang (DMK) Bandar udara Don Mueang merupakan bandara yang melayani penerbangan domestik dan internasional yang terletak di Bangkok Thailand.

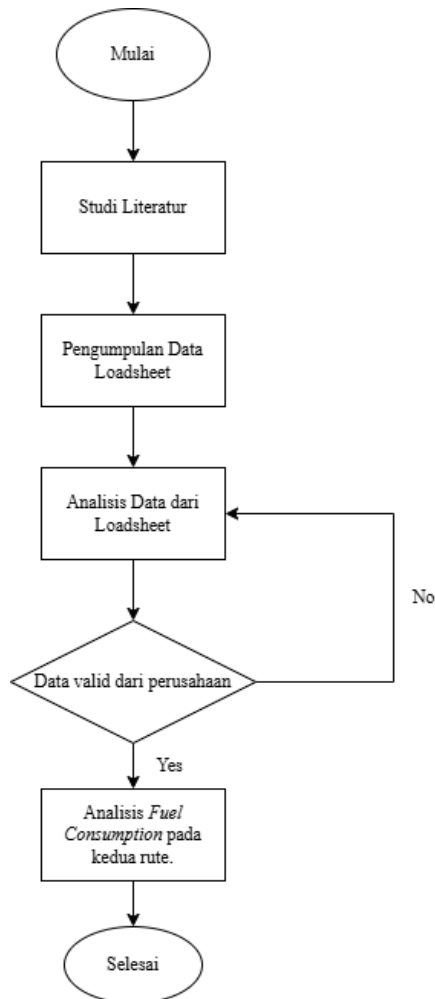
Tabel 1 Ketinggian dalam *feet* dan meter [3]

<i>Ketinggian</i>	<i>meter</i>
33.000 <i>ft</i>	10.058,4
34.000 <i>ft</i>	10.363,2
35.000 <i>ft</i>	10.668
36.000 <i>ft</i>	10.972,8
37.000 <i>ft</i>	11.277,6

Tabel 3 Spesifikasi Bandar Udara Pattimura dan Bandar Udara Don Mueang [4] [5]

SPESIFIKASI		KETERANGAN		
IATA	CGK	AMQ	DMK	
ICAO	WIII	WAPP	VTBD	
PANJANG RUNWAY	3.660 m	2.500 m	3.700 m	
KOORDINAT	06° 07' 35.42" LS 106° 39' 40" BT	03° 42' 25" LS 128° 05' 19.65" BT	13.9137 LS 100.599 BT	

II. METODE PENELITIAN



Gambar 1 Diagram Alir

Flowchart untuk penelitian yang dilakukan pada Tugas Akhir Analisis Perbandingan *Fuel Consumption* pada Pesawat Boeing B737-800 Rute CGK-DMK dan CGK-AMQ, untuk alur yang pertama yaitu memulainya penelitian ini, lalu studi literatur dengan mengumpulkan beberapa sumber untuk sebagai referensi, yang ketiga mencari data *loadsheets* pada perusahaan, ketika data itu sudah valid dari perusahaan tersebut dan pesawat serta jarak yang digunakan pada data tersebut maka dilanjut untuk menganalisis, disini perhitungan manual akan terdapat selisih nilai ketika dibandingkan dengan perhitungan otomatis yang sudah ada pada *loadsheets*. [6]

Loadsheets merupakan dokumen pesawat udara yang wajib dibuat oleh station keberangkatan berupa perhitungan distribusi untuk menentukan weight and balance sesuai dengan tipe pesawat yang dikerjakan dan berisi tentang perhitungan jumlah berat/muatan keseluruhan pesawat untuk mengetahui titik CG pada zero fuel weight, take off maupun landing sehingga pesawat berada pada kondisi weight and balance. *Stability and Balance Control* merupakan kontrol keseimbangan mengacu pada lokasi CG

dari pesawat, tentunya jadi kepentingan utama pada stabilitas pesawat yang mana menentukan keselamatan dalam penerbangan. CG merupakan poin di mana total berat pesawat diasumsikan untuk dikonsentrasikan, dan CG mesti ditempatkan di dalam batasan tertentu untuk keselamatan penerbangan. Pesawat dalam keadaan tidak seimbang sangat berbahaya, karena dapat menjadi tidak stabil dalam proses manuver lepas landas, *Loadseet* dihitung untuk mengetahui CG berada dimana dan untuk menentukan Setting Trim yang harus di input ke FMC (*Flight Management System*) oleh Pilot/*First Officer* dan mengetahui CG berada dibagian mana terdapat pada *loadhseet*. [7]

Cara yang benar dalam menghitung konsumsi bahan bakar pesawat, mengatur dan menangani arus lalu lintas dalam suatu metode yang akurat dan rancangan prosedur penerbangan yang sangat penting dan sesuai dengan aturan bisa memberikan efisiensi optimal dalam konsumsi bahan bakar. Salah satu contoh metode pengurangan bahan bakar konsumsinya adalah merancang prosedur penerbangan operasional yang optimal seperti *Optimized Profile Descent* (OPD) dan sering disebut *Continuous Descent Operation* (CDO). Selain itu, rute kedatangannya bisa jadi dinonaktifkan berdasarkan area navigasi (RNAV), seperti Point Marge System yang juga mengurangi bahan bakar konsumsi, karena prosedur ini memungkinkan pesawat turun dari posisi optimalnya dengan daya dorong mesin minimum. [1]

Dalam penerbangan ini yaitu menggunakan pesawat Boeing B737-800NG yang memiliki 2 kelas yaitu Bisnis dan Ekonomi, total ada 141 seat. B737-800NG merupakan pesawat 22% lebih efisien dibandingkan dengan pesawat B737-500 Classic karena desain aerodinamis yang lebih baik. B737-800NG dilengkapi dengan Engine CFM tipe 56-7BE yang sangat efisien, Kombinasi pesawat/mesin 737 Generasi Berikutnya yang ditenagai CFM56-7BE memberikan peningkatan dua persen dalam konsumsi bahan bakar, yang setara dengan pengurangan dua persen dalam emisi karbon. Pesawat ini memiliki tingkat kebisingan 85-dBA yang bisa didengarkan oleh manusia dengan telinga telanjang namun hanya maksimum 8 jam, jadi tetap diusahakan untuk menggunakan pelindung telinga (earplug/earmuff). [8]

Jenis fuel yang digunakan untuk bahan bakar pesawat ada dua jenis, yaitu: Avtur dan Avgas. Avtur (Aviation turbine) memiliki jenis JET A-1 yang diperuntukkan untuk jenis pesawat bermesin turbin, sedangkan jenis fuel Avgas (Aviation Gasoline) diperuntukkan untuk jenis pesawat bermesin sesuai dengan versi terbaru dari Standar Pertahanan 91/90 yang digunakan untuk pesawat bermesin piston dan helikopter ringan. [9] Namun, di Indonesia ada beberapa pemasok bahan bakar untuk pesawat, sehingga ada beberapa bandara yang tidak menggunakan pemasok bahan bakar seperti bandara lainnya, contohnya bandara IMIP, Morowali, Sulawesi Tengah dan Helipad di Cibubur menggunakan bahan bakar avtur dari pihak swasta. [10]

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Perhitungan LoadSheet CGK-DMK [11]

Type	: B737-800NG
Configurasi	: C/Y
Crew	: 2/4
Aircraft Registration	: PK-LDJ
Flight Number	: ID7631
Passenger / Pax	: 121/1/1 Adlt/Chld/Inf
Baggage	: 1.355 kg
Cargo	: 3.029 kg
Dry Operating Weight	: 42.735 kg
Total Fuel	: 14.900 kg
Taxi Fuel	: 300 kg
Burn of Trip (Trip Fuel)	: 8.989 kg

Penyelesaian data:

Perhitungan berat (Penumpang, Bagasi, dan Kargo) dapat dihitung untuk total berat penumpang dan jumlah total *traffic load*.

<i>Adult</i>	: 127 <i>pax</i> x 70 kg = 8.890 kg
<i>Child</i>	: 1 <i>pax</i> x 35 kg = 35 kg
<i>Inf</i>	: 1 <i>pax</i> x 10 kg = 10 kg
Total Berat Penumpang	= 8.935 kg
Bagasi	
Berat Bagasi	: 1.355 kg
Total Berat Bagasi	= 1.355 kg
Kargo	
Berat Kargo	: 3.049 kg
Total Berat Kargo	= 3.049 kg
Mail	
Berat Mail	: 0
Total Berat Mail	= 0

Menghitung Total Traffic Load

$$\begin{aligned}
 \text{Total Traffic Load} &= \text{Weight total passanger \& Cabin Bag} + (\text{Bagagge} + \text{Cargo} + \text{Mail}) \\
 &= 8.935 \text{ kg} + (1.335 \text{ kg} + 3.049 \text{ kg} + 0 \text{ kg}) \\
 &= 8.935 + 4.384 \text{ kg} = 13.319 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan dapat dihitung untuk *zero fuel weight*, *taxi weight*, *takeoff weight*, dan *landing weight*.

Menghitung Zero Fuel Weight

Zero fuel weight dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan 2.5.

$$\begin{aligned}
 \text{Zero Fuel Weight} &= \text{Total Traffic Load} + \text{Dry Operating Weight (DOW)} \\
 &= 13.139 \text{ kg} + 42.735 \text{ kg} = 56.054 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Menghitung Taxi Weight

Taxi weight dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan 2.6.

$$\begin{aligned}
 \text{Taxi Weight} &= \text{Zero Fuel Weight} + \text{Total Fuel} \\
 &= 56.054 \text{ kg} + 14.900 \text{ kg} = 70.954 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Menghitung Takeoff Weight

$$\begin{aligned}
 \text{Takeoff Weight} &= \text{Taxi Weight} - \text{Taxi Fuel} \\
 &= 70.954 \text{ kg} - 300 \text{ kg} = 70.654 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Menghitung Landing Weight

$$\begin{aligned}
 \text{Landing Weight} &= \text{Takeoff Weight} - \text{Trip Fuel} \\
 &= 70.654 \text{ kg} - 8.989 \text{ kg} = 61.665 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

3.2 Perhitungan LoadSheet CGK-AMQ

<i>Type</i>	: B737-800 NG
<i>Configurasi</i>	: C/Y
<i>Crew</i>	: 3/4
<i>Aircraft Registration</i>	: PK-LZO
<i>Flight Number</i>	: ID6170
<i>Passenger / Pax</i>	: 8/0/0 (C)
<i>Baggage</i>	139/1/0 (Y) Adlt/Chld/Inf
	: 1.883 kg
<i>Cargo</i>	: 3.170 kg
<i>Dry Operating Weight</i>	: 41.862 kg
<i>Total Fuel</i>	: 14.200 kg
<i>Taxi Fuel</i>	: 300 kg
<i>Burn of Trip (Trip Fuel)</i>	: 8.718 kg

Penyelesaian data:

Perhitungan berat (Penumpang, Bagasi, dan Kargo)

Penumpang

Adult : 153 *pax* x 70 kg = 10.710 kg

Child : 1 *pax* x 35 kg = 35 kg

Inf : 0 *pax* x 10 kg = 0 kg

Total Berat Penumpang = **10.745 Kg**

Bagasi

Berat Bagasi : 1.883 kg

Total Berat Bagasi = **1.883 kg**

Kargo

Berat Kargo : 3.170 kg

Total Berat Kargo = **3.170 kg**

Mail

Berat *Mail* : 0

Total Berat Mail = **0**

Menghitung Total Traffic Load

Total Traffic Load = *Weight total passanger & Cabin Bag + (Bagagge + Cargo + Mail)*

= 10.745 kg + (1.883 kg + 3.170 kg + 0 kg)

= 10.745 kg + 5.053 kg = 15.798 kg

Menghitung Zero Fuel Weight

Zero Fuel Weight = *Total Traffic Load + Dry Operating Weight (DOW)*

= 15.798 kg + 41.862 kg = 57.660 kg

Menghitung Taxi Weight

Taxi Weight = *Zero Fuel Weight + Total Fuel*

= 57.660 kg + 14.200 kg = 71.860 kg

Menghitung Takeoff Weight

Takeoff Weight = *Taxi Weight – Taxi Fuel*

= 71.860 kg – 300 kg = 71.560 kg

Menghitung Landing Weight

Landing Weight = *Takeoff Weight – Trip Fuel*

= 71.560 kg – 8.718 kg = 62.842 kg

Tabel 5 Hasil Perhitungan *Loadsheet*

Weight	CGK-DMK	CGK-AMQ
Total traffic weight	13.319 kg	15.798 kg
Zero fuel weight	56.054 kg	57.660 kg
Taxi weight	70.954 kg	71.860 kg
Takeoff weight	70.654 kg	71.560 kg
Landing weight	61.665 kg	62.842 kg

3.3 Perhitungan *Fuel Consumption* pada rute CGK – DMK.

Pada *flight* ini ketinggian pesawat ialah 37.000 ft, *Actual TakeOff Weight* 70.654 Kg dan *Maximum TakeOff Weight* 73.700 Kg.

Untuk pembacaan pada **Gambar 4. 9** perhitungan ini ialah, yang pertama kita bisa melihat kolom pada sebelah kiri untuk jarak (NM) yang sudah diketahui, setelah diketahui pada jarak 1250NM kita bisa melihat baris, namun sebelum melihat barisnya, lihatlah kolom paling atas untuk mengetahui berapa ketinggian terbang pesawat tersebut, setelah mengetahui total jarak tempuh 1250 dan ketinggian

terbang 37000 (37 pada baris dikalikan dengan 1000), mendapatkan nilai fuel 6.700kg dan waktu 3 jam 02 menit.

**Long Range Cruise Trip Fuel and Time
Reference Fuel and Time Required**

AIR DIST (NM)	PRESSURE ALTITUDE (1000 FT)									
	29		31		33		35		37	
	FUEL (1000 KG)	TIME (HR:MIN)	FUEL (1000 KG)	TIME (HR:MIN)	FUEL (1000 KG)	TIME (HR:MIN)	FUEL (1000 KG)	TIME (HR:MIN)	FUEL (1000 KG)	TIME (HR:MIN)
200	1.5	0:38	1.5	0:37	1.5	0:37	1.5	0:36	1.5	0:36
400	2.5	1:10	2.4	1:09	2.4	1:07	2.4	1:06	2.4	1:04
600	3.5	1:42	3.4	1:40	3.4	1:37	3.3	1:34	3.3	1:32
800	4.5	2:14	4.4	2:11	4.3	2:07	4.3	2:03	4.2	2:00
1000	5.5	2:45	5.4	2:41	5.3	2:36	5.2	2:32	5.1	2:28
1200	6.6	3:16	6.5	3:11	6.3	3:05	6.2	2:59	6.1	2:55
1400	7.7	3:47	7.5	3:41	7.3	3:34	7.2	3:27	7.0	3:22
1600	8.7	4:18	8.5	4:11	8.3	4:02	8.1	3:55	8.0	3:50
1800	9.8	4:49	9.6	4:40	9.3	4:31	9.1	4:23	8.9	4:17

Gambar 2 Manual Fuel Required CGK-DMK[12]

Dibawah ini merupakan perhitungan secara manual untuk rute penerbangan CGK-DMK, terdapat beberapa fuel requirement yang digunakan untuk melakukan perhitungan.

Tabel 6 Perhitungan fuel CGK-DMK[13]

Fuel	Berat
Fuel Taxi	300 Kg
Fuel Trip (37.000 ft)(1300Nm)	6.700 kg + Fuel adj (1.252 kg) = 7.952 kg
Fuel Alternate (HKT 372 Nm)	2.300 kg + Fuel adj (500 kg) = 2.800 kg
Fuel Holding	30 Min (1.218 kg)/ 2 ENG = 2.436 kg
Fuel Tankering	1000 kg
Fuel Contingency (5% fuel trip)	397 kg

Pada tabel dibawah ini merupakan tabel perhitungan yang digunakan pada rumus dibawah yang terdapat untuk *climb*, *cruise* dan *descent*. Pada kolom pertama terdapat perhitungan *up and low limit*, dan kolom kedua terdapat *enroute climb* yang terdiri dari *time*, *fuel*, *distance* and *speed* yang digunakan untuk perhitngan climbing, pada kolom ketiga terdapat kolom untuk perhitungan (FF/ENG) atau *fuel flow* untuk setiap *engine*, pada kolom keempat merupakan *fuel* yang dibutuhkan untuk *descent*, kolom yang terakhir merupakan *distance* (jarak) untuk *descent*.

Tabel 7 Climb, cruse dan descent CGK-DMK perhitungan pertama [12]

Route (Up limit and Low limit) / kg	Enroute Climb (time, fuel, distance and speed)	Cruise table (FF/ ENG)	Descent (time)	Descent (fuel)	Descent (distance)
Up limit	Low limit	Up limit	Low limit	Up limit	Low limit
To destination (75000 dan 70000)	33/2550 219/420 28/2200 182/416	1366 1244	28 26	350 350	135 132

a. *Take off* 70.654 kg

Berdasarkan persamaan 2.9 sampai dengan 2.11 dapat dihitung waktu, jarak dan *fuel* saat *takeoff* sebagai berikut:

$$time_{climb} = 28 + \left(\frac{70.654 - 70.000}{75.000 - 70.000} \times (33 - 28) \right) = 28,7 \text{ min}$$

$$fuel_{climb} = 2200 + \left(\frac{70.654 - 70.000}{75.000 - 70.000} \times (2550 - 2200) \right) = 2.245,8 \text{ kg}$$

$$distance_{climb} = 182 + \left(\frac{70.654 - 70.000}{75.000 - 70.000} \times (219 - 182) \right) = 186,8 \text{ NM}$$

b. Cruise height 37.000 ft

Berdasarkan persamaan 2.12 sampai dengan 2.16 dapat dihitung waktu, jarak dan *fuel* saat *cruising* atau terbang jelajah sebagai berikut:

Top of Climb (TOC)

$$\begin{aligned} \text{Berat pesawat pada TOC} &= BRW - fuel_{climb} \\ &= 70.654 - 2.245,8 = 68.408,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fuel_{flow} &= 1.244 + \left(\frac{70.654 - 70.000}{75.000 - 70.000} \times (1.366 - 1.244) \right) \\ &= 1.260 \text{ kg /hour/eng} \end{aligned}$$

$$\text{Fuel flow kedua engine} = 2 \times 1.260 = 2.520 \text{ kg/hour}$$

$$\text{Kecepatan pesawat cruise} = 460 \text{ knots}$$

$$\text{Total jarak CGK-DMK} = 1.295 \text{ NM}$$

Interpolasi data

$$Distance_{cruise} = Distance_{total} - (Distance_{climb} + Distance_{Descent})$$

$$distance_{destn} = 132 \left(\frac{70.654 - 70.000}{75.000 - 70.000} \times (135 - 132) \right) = 132,4 \text{ NM}$$

Distance cruise pada penerbangan ini ialah:

$$Distance_{cruise} = 1.295 - (186,8 + 132,4)$$

$$Distance_{cruise} = 975,8 \text{ NM}$$

Menggunakan formula

$$time_{cruising} = \frac{Distance_{cruising}}{Speed_{cruising}} \times 60$$

$$time_{cruising} = \frac{975,8}{460} \times 60 = 127,27 \text{ min}$$

$$fuel_{cruising} = \frac{127,27}{60} \times 2.520 \text{ kg} = 5.345,34 \text{ kg}$$

c. Landing height 37.000 ft

Berdasarkan persamaan 2.17 sampai dengan 2.19 dapat dihitung waktu dan *fuel* saat *landing* sebagai berikut:

$$TOD_{weight} = TOC_{weight} - fuel_{cruise}$$

$$TOD_{weight} = 68.408,2 \text{ kg} - 5.345,34 \text{ kg}$$

$$TOD_{weight} = 63.062,9$$

$$time_{descent} = 26 + \left(\frac{37.000 - 35.000}{36.000 - 35.000} \times (28 - 26) \right) = 30 \text{ min}$$

$$fuel_{descent} = 350 + \left(\frac{37.000 - 35.000}{36.000 - 35.000} \times (350 - 350) \right) = 350 \text{ kg}$$

3.4 Perhitungan Fuel Consumption pada rute CGK – AMQ.

Pada flight ini ketinggian pesawat ialah 36000 ft, *Actual TakeOff Weight* 71.560 Kg dan *Maximum TakeOff Weight* 73.800 Kg.

**Long Range Cruise Trip Fuel and Time
Reference Fuel and Time Required**

AIR DIST (NM)	PRESSURE ALTITUDE (1000 FT)									
	29		31		33		35		37	
	FUEL (1000 KG)	TIME (HR:MIN)	FUEL (1000 KG)	TIME (HR:MIN)	FUEL (1000 KG)	TIME (HR:MIN)	FUEL (1000 KG)	TIME (HR:MIN)	FUEL (1000 KG)	TIME (HR:MIN)
200	1.5	0:38	1.5	0:37	1.5	0:37	1.5	0:36	1.5	0:36
400	2.5	1:10	2.4	1:09	2.4	1:07	2.4	1:06	2.4	1:04
600	3.5	1:42	3.4	1:40	3.4	1:37	3.3	1:34	3.3	1:32
800	4.5	2:14	4.4	2:11	4.3	2:07	4.3	2:03	4.2	2:00
1000	5.5	2:45	5.4	2:41	5.3	2:36	5.2	2:32	5.1	2:28
1200	6.6	3:16	6.5	3:11	6.3	3:05	6.2	2:59	6.1	2:55
1400	7.7	3:47	7.5	3:41	7.3	3:34	7.2	3:27	7.0	3:22
1600	8.7	4:18	8.5	4:11	8.3	4:02	8.1	3:55	8.0	3:50
1800	9.8	4:49	9.6	4:40	9.3	4:31	9.1	4:23	8.9	4:17

Gambar 3 Manual Fuel Required CGK-AMQ[12]

Dibawah ini merupakan perhitungan secara manual untuk rute penerbangan CGK-AMQ, terdapat beberapa fuel requirement yang digunakan untuk melakukan perhitungan.

Tabel 8 Perhitungan fuel CGK-AMQ.[13]

Fuel	Berat
Fuel Taxi	300 kg
Fuel Trip (36.000 ft)(1250Nm)	6.275 kg + Fuel adj (800 kg) = 7.075 kg
Fuel Alternate (UPG 518 Nm)	2850 kg + Fuel ajd (450 kg) = 3.300 kg
Fuel Holding	30 Min (1.218 kg)/ 2 ENG = 2.436 kg
Fuel Tankering	700 kg
Fuel Contingency	353 kg

Tabel 9 Climb, cruise dan descent CGK-AMQ perhitungan pertama [12]

Route (Up limit and Low limit) / kg	Enroute Climb (time, fuel, distance and speed)	Cruise table (FF/ ENG)	Descent (time)	Descent (fuel)	Descent (distance)
Up limit	Low limit	Up limit	Low limit	Up limit	Low limit
To destination (75000 dan 70000)	30/2400 194/415 26/2100 166/412	1332 1238	27 25	350 350	133 129

a. Take off 71.560 kg

Perhitungan fuel yang terpakai.

$$time_{climb} = 26 + \left(\frac{71.560 - 70.000}{75.000 - 70.000} \times (30 - 26) \right) = 27,2 \text{ min}$$

$$fuel_{climb} = 2.100 + \left(\frac{71.560 - 70.000}{75.000 - 70.000} \times (2.400 - 2.100) \right) = 2.193,6 \text{ kg}$$

$$distance_{climb} = 166 + \left(\frac{71.560 - 70.000}{75.000 - 70.000} \times (194 - 166) \right) = 174,7 \text{ NM}$$

b. Cruise height 36.000 ft

Top of Climb (TOC)

$$\begin{aligned} \text{Berat pesawat pada TOC} &= BRW - fuel_{climb} \\ &= 71.560 - 2.193,6 = 69.366,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$fuel_{flow} = 1.238 + \left(\frac{71.560 - 70.000}{75.000 - 70.000} \times (1.332 - 1.238) \right)$$

$$= 1.267,3 \text{ kg /hour/eng}$$

$$\text{Fuel flow kedua engine} = 2 \times 1.267,3 = 2.534,6 \text{ kg/hour}$$

$$\text{Kecepatan pesawat cruise} = 460 \text{ knots}$$

$$\text{Total jarak CGK-DMK} = 1.250 \text{ NM}$$

Interpolasi data

$$\text{Distance cruise} = \text{Distance total} - (\text{Distance climb} + \text{Distance Descent})$$

$$distance_{destn} = 129 \left(\frac{71.560 - 70.000}{75.000 - 70.000} \times (133 - 129) \right) = 130,25 \text{ NM}$$

Distance cruise pada penerbangan ini ialah:

$$\text{Distance cruise} = 1.250 - (174,7 + 130,25)$$

$$\text{Distance cruise} = 945,05 \text{ NM}$$

Menggunakan formula

$$time_{cruising} = \frac{\text{Distance}_{cruising}}{\text{Speed}_{cruising}} \times 60$$

$$time_{cruising} = \frac{945,05}{460} \times 60 = 123,27 \text{ min}$$

$$fuel_{cruising} = \frac{123,27}{60} \times 2.534,6 \text{ kg} = 5.207,33 \text{ kg}$$

c. Landing height 36.000 ft

$$\text{ TOD weight} = \text{ TOC weight} - \text{ fuel cruise}$$

$$\text{ TOD weight} = 69.366,4 \text{ kg} - 5.207,33 \text{ kg}$$

$$\text{ TOD weight} = 64.159,07$$

$$time_{descent} = 25 + \left(\frac{36.000 - 34.000}{35.000 - 34.000} \times (27 - 25) \right) = 29 \text{ min}$$

$$fuel_{descent} = 350 + \left(\frac{36.000 - 34.000}{35.000 - 34.000} \times (350 - 350) \right) = 350 \text{ kg}$$

3.5 Hasil perbandingan fuel consumption dari kedua rute tersebut.

Dari perhitungan kedua rute tersebut terdapat beberapa perbedaan walaupun dengan flight time yang hampir sama, perbedaan tersebut bisa dibandingkan melalui data dibawah ini.

Tabel 10 Hasil perhitungan kedua rute

Perbedaan	CGK-DMK	CGK-AMQ
BRW	70.654 kg	71.560 kg
Keringgian	37.000 ft	36.000 ft
Taxi	300 kg	300 kg
Take off		
time	28,7 min	27,2 min
fuel	2.245,8 kg	2193,6 kg
distance	186,8 NM	174,7 NM
Cruise		
time	127,27 min	123,27 min
Perbedaan	CGK-DMK	CGK-AMQ

fuel	5.345,34 kg	5207,33 kg
distance	975,8 NM	945,05 NM
speed	460 knots	460 knots
Landing		
time	30 min	27 min
fuel	350 kg	350 kg

Dari data diatas, terdapat perbedaan data sebagai berikut, untuk data pada saat *Take off* dari kedua rute tersebut hanya terdapat perbedaan waktu 1,5 menit untuk mencapai ketinggian yang telah ditentukan, *fuel* yang digunakan berbeda 52,2 kg, jarak yang dilalui hanya berbeda 12,2 NM. Pada saat *cruise* CGK-DMK memerlukan waktu 127,27 menit dan untuk CGK-AMQ memerlukan 123,27 menit sehingga selisihnya hanya 4 menit, *fuel* yang digunakan hanya selisih 138,01 kg, jaraknya berbeda 30,78 NM. Pada saat *landing* hanya perbedaan waktu selisih 3 menit, dan *fuel* yang digunakan keduanya sama yaitu 350 kg.

Tabel 11 Selisih kedua rute

Perbedaan	CGK-DMK	CGK-AMQ	Selisih
Brake Release Weight	70.654 kg	71.560 kg	906 kg
Traffic load	13.319 kg	15.798 kg	2.479 kg
Perbedaan	CGK-DMK	CGK-AMQ	Selisih
Fuel used	8.241,14 kg	8.050,93 kg	190,25 kg
Perbedaan	CGK-DMK	CGK-AMQ	Selisih
Brake Release Weight	68.619 kg	71.941 kg	3.322 kg
Traffic load	11.737 kg	16.079 kg	4.342 kg
Fuel used	8.016,2 kg	8.136,8 kg	120,6 kg

Sehingga pada rute CGK-DMK untuk data *traffic load* sebesar 13.319 kg dengan ketinggian terbang 37.000 ft memerlukan 8.241,14 kg *fuel*, pada rute CGK-AMQ *traffic load* sebesar 15.798 kg dengan ketinggian terbang 36.000 ft memerlukan *fuel* sebesar 8.050,93 kg, *traffic load* memiliki selisih sebesar 2.479 kg dan *fuel* memiliki selisih sebesar 190,25 kg.

Dari segi operasional, rute domestik CGK-AMQ menguntungkan lebih banyak daripada rute CGK-DMK, dilihat dari data, jumlah *traffic load* lebih banyak dari pada CGK-DMK.

Pada fase *take off* dan *cruise* untuk power yang digunakan tergantung pada *Temperature* dan *Zero Weight* pesawat tanpa *Fuel* yang lalu di input pada FMC (*Flight management system*), setelah di input pada FMC nantinya akan otomatis keluar untuk nilai persentase, untuk *take off* memerlukan maximum power untuk engine sebesar rata-rata N1 rotation 92% - 98% sehingga membutuhkan fuel yang lebih banyak, untuk *cruise* membutuhkan engine power sebesar pada N1 rotation 78% - 83%.

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian kedua penerbangan ini mendapatkan data CGK-DMK diambil dari data *traffic load* sebesar 13.319 kg dengan jumlah penumpang 123, crew 6, bagasi 1.355 kg dan cargo 3.029 kg. sebesar 101.737 kg dengan jumlah penumpang 140, crew 6, bagasi 1.298 kg dan cargo 0 kg. Untuk rute CGK-AMQ perhitungan loadsheet dari data mendapatkan data *traffic load* 15.798 kg dengan jumlah penumpang 140, crew 7, bagasi 1.883 kg dan cargo 3.170 kg. *Loadsheet* ini terdiri dari; Jumlah penumpang, baggage, *fuel uplift*, cargo, *fuel alternative route*. Pada analisis perbandingan *fuel consumption* pada rute CGK-DMK dan CGK-AMQ dengan melakukan uji perhitungan pada *fuel take off*, *cruise* dan *landing* terdapat beberapa perbedaan. Pada data saat *take off* rute CGK-DMK memerlukan fuel sebesar 2.245,8 kg dan rute CGK-AMQ memerlukan fuel sebesar 2.193,6 kg perbedaannya hanya 52,2 kg, *Cruise* data CGK-DMK memerlukan fuel sebesar 5.345,34 kg dan untuk rute CGK-AMQ memerlukan fuel sebesar 5207.33 kg, pada saat *cruise* untuk perbedaan *fuel* sebesar 138,01 kg. *Landing* pada, kedua rute ini sama-sama memerlukan 350 kg. Untuk *take off* dan *cruise* memiliki data perbedaan yang jauh, dikarenakan oleh beberapa factor, diantaranya; untuk mencapai ketinggian yang ditentukan dengan *traffic load* yang berbeda dan jarak jelajah yang ditempuh.

Pada pengujian ini terdapat beberapa pengaruh yang dapat mempengaruhi *fuel consumption*, pada rute CGK-DMK untuk *traffic load* sebesar 13.319 kg memerlukan 8.289,4 kg *fuel*. Pada rute CGK-AMQ *traffic load* sebesar 15.798 kg dan memerlukan *fuel* sebesar 8.050,93 kg. *Traffic load* memiliki selisih sebesar 2.479 kg dengan selisih *fuel* sebesar 238,47 kg. Perbedaan *fuel* tersebut dipengaruhi oleh faktor perbedaan ketinggian dan jumlah *traffic load*, secara operasional untuk penerbangan rute CGK-AMQ lebih menguntungkan untuk perusahaan karena dilihat dari *demand* kedua data diatas, walaupun biaya tiket domestik lumayan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Ishak and E. Kusriani, "Analysis of Boeing Aircraft's Fuel Consumption B737-800 NG for Yogyakarta-Singapore-Jakarta Route," *J. Ind. Eng. Halal Ind.*, vol. 1, no. 1, pp. 47–61, 2020, doi: 10.14421/jiehis.1865.
- [2] FAA, "Chapter 10: Weight and Balance," *Pilot. Handb. Aeronaut. Knowl.*, pp. 1–12, 2010.
- [3] L. GEO'S, "Lapisan Atmosfir Bumi," 2014, [Online]. Available: <https://luciafebriarlita17.wordpress.com/2014/04/08/lapisan-atmosfer-bumi/comment-page-1/>
- [4] K. Perhubungan, "Daftar Bandar Udara." [Online]. Available: <https://hubud.dephub.go.id/hubud/website/bandara>
- [5] Prokerala, "Bandara Don Muang, Bangkok, Thailand [DMK / VTBD]." [Online]. Available: <https://www.prokerala.com/travel/airports/thailand/don-muang-airport.html>
- [6] Lion Air Group, "Loadsheets Boeing B737-900ER," Tangerang, 2024.
- [7] F. H. Kurniawan, "Determination of Weight and Balance on the Boeing 737-800 Ng and Airbus a320," *Vortex*, vol. 2, no. 2, p. 27, 2021, doi: 10.28989/vortex.v2i2.1005.
- [8] Boeing Company, "Boeing 737 Next Generation Highlight." [Online]. Available: <https://www.boeing.com/commercial/737ng/737-next-generation-design-highlights#characteristics>
- [9] Pertamina Company, "Product Aviation," PT Pertamina (Persero) 2024. [Online]. Available: <https://onesolution.pertamina.com/Product/Aviation?cat=product>
- [10] H. Vina Elvira, "Persaingan Bisnis Avtur di Indonesia Kurang Semarak, Ini Penjelasan Pengamat," 2023. [Online]. Available: <https://industri.kontan.co.id/news/persaingan-bisnis-avtur-di-indonesia-kurang-semarak-ini-penjelasan-pengamat>
- [11] FlightRadar24, *Flight Number ID7631 & ID6170*. 2024.
- [12] Boeing Company, *Flight Planning and Performance Manual*. Boeing Company, 2010.
- [13] Boeing Company, "Flight Crew Operation Manual PT. Garuda Indonesia," 2024.