

Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Terbang Pada Biaya Operasional Berdasarkan Konsumsi Bahan Bakar Dan Jam Terbang Pada Pesawat Boeing 737-800 Dengan Rute CGK-UPG

Atik Afifah^[1], Mufti Arifin^[2], Erna Shevilia Agustian^[3]

^{[1][2][3]} Prodi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi kedirgantaraan,
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jl. Halim Perdanakusuma,
Halim Perdanakusuma, Kec. Makassar, Kota Jakarta Timur,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 13610, Indonesia

Corresponding Author: atikafifah145@gmail.com

ABSTRAK - Transportasi udara merupakan transportasi yang dapat menjangkau tempat-tempat yang tidak dapat ditempuh dengan moda darat atau laut. Dengan memakai transportasi udara seperti pesawat, orang dapat mencapai suatu daerah lebih cepat tetapi biaya angkutan udara yang tinggi menjadi masalah bagi sebagian orang, bahwa pesawat dengan kecepatan lebih tinggi akan memerlukan biaya bahan bakar lebih besar sedangkan kecepatan rendah akan memerlukan biaya pemeliharaan, sewa pesawat, dan gaji kru yang lebih besar. Tujuan penelitian ini adalah menentukan konsumsi bahan bakar berdasarkan variasi kecepatan terbang, menghitung biaya operasional berdasarkan waktu terbang dan menentukan pengaruh kecepatan terbang terhadap biaya operasi. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis pengaruh variasi kecepatan terbang pada biaya operasional berdasarkan jam terbang dan konsumsi bahan bakar pada pesawat Boeing 737-800 dengan rute CGK-UPG. Hasil yang didapatkan berdasarkan variasi kecepatan yang paling besar dengan nilai 239 m/s maka C_L dan C_D lebih kecil dengan nilai sebesar 0,49799 dan 0,03005, *drag* dan *fuel flownya* lebih besar dengan nilai sebesar 37257,8 N dan 1231 kg/jam. *Drag* dan *fuel flow* mempengaruhi konsumsi bahan bakar dimana yang lebih besar akan paling boros tetapi waktunya lebih efisien dengan nilai sebesar 100 menit dan biaya operasional paling hemat pada kecepatan 239 m/s memerlukan *fuel* 4105,98 kg dengan total harga *fuel* Rp 51.122.823 dan waktu terbang 1,6 jam dengan total biaya operasional sebesar Rp. 154.284.823. Nilai tukar mata uang, harga bahan bakar, dan struktur biaya lainnya dapat mempengaruhi biaya total operasional.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi udara merupakan transportasi yang dapat menjangkau tempat-tempat yang tidak dapat ditempuh dengan moda darat atau laut, di samping mampu bergerak lebih cepat dan mempunyai lintasan yang lurus, serta praktis bebas hambatan. Dengan memakai transportasi udara seperti pesawat, orang dapat mencapai suatu daerah lebih cepat tetapi biaya angkutan udara yang tinggi menjadi masalah bagi sebagian orang, bahwa pesawat dengan kecepatan lebih tinggi akan memerlukan biaya bahan bakar lebih besar sedangkan kecepatan rendah akan memerlukan biaya pemeliharaan, sewa pesawat, dan gaji kru yang lebih besar. Maka perlu strategi untuk meminimumkan biaya operasi dan penghematan bahan bakar terhadap pesawat dengan waktu terbang karena perbedaan kecepatan terbang.

Komponen biaya yang dapat dikendalikan adalah *variable direct operating cost*. Hal ini karena merupakan biaya yang berkaitan langsung dengan operasi penerbangan untuk jenis pesawat tertentu dan dipengaruhi oleh jam terbang pesawat tersebut. Biaya bahan bakar, navigasi, Bandar udara, dan biaya perawatan pesawat serta gaji *crew* per jam terbang termasuk dalam *variable direct operating cost*. Oleh karena itu dilakukan analisis pengaruh variasi kecepatan terbang berdasarkan biaya operasional pada jam terbang dan konsumsi bahan bakar.

1.2 Tujuan Masalah

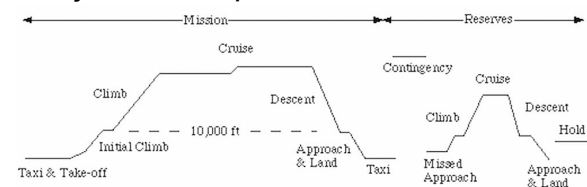
Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan konsumsi bahan bakar berdasarkan variasi kecepatan terbang.
2. Menghitung biaya operasional berdasarkan waktu terbang.
3. Menentukan pengaruh kecepatan terbang terhadap biaya operasional

II. LANDASAN TEORI

2.1 Flight Profile

Flight Profile adalah garis waktu grafis dari karakteristik operasional, konfigurasi, dan kecepatan pesawat terbang di sepanjang jalur penerbangan dalam fase penerbangan atau manuver tertentu. Untuk menghitung jangkauan (*cruising range*) sebuah pesawat, seluruh “misi” atau profil penerbangan harus dijelaskan. Profil misi terdiri dari dua bagian: misi utama dan misi cadangan. Masing-masing dibagi menjadi beberapa fase.



Gambar 2.1 Flight Profile

2.2 Drag

Saat pesawat terbang, interaksi aliran udara dengan badan pesawat menghasilkan *drag*. *Drag* adalah diciptakan oleh perbedaan tekanan antara bagian atas dan bawah pengangkat (sayap). Pada kondisi

kecepatan udara dan ketinggian udara dan ketinggian yang sama, kontrol *lift* dilakukan dengan mengkonfigurasi ulang sudut serang pesawat dan/atau mengubah bentuk permukaan perangkat *lift*. Secara umum, *lift* dari pesawat terbang yang bergerak dalam aliran bebas dapat dihitung sebagai berikut:

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L$$

Dimana C_L adalah koefisien *lift*. ρ , V , dan S adalah kerapatan udara (*air density*), kecepatan udara aktual (*airspeed*), dan daya angkat pada permukaan pesawat. Dalam prakteknya C_L dapat dimodelkan sebagai fungsi *angle of attack*, *Mach* dan defleksi *flap*.

Dalam model titik-massa, hubungan antara koefisien aerodinamis C_L dan C_D disederhanakan menjadi *Pole Drag*. Ini biasanya direpresentasikan oleh fungsi kuadrat dalam salah satu dari dua bentuk di bawah ini:

$$C_D = C_{D0} + \frac{C_L^2}{\pi A e}$$

Dimana A adalah *aspect ratio* sayap (luas dibagi rata-rata akord) dan e adalah *factor Oswald*, yang biasanya berkisar antara 0.70-0.90. Persamaan ini ditulis sebagai:

$$C_D = C_{D0} + k C_L^2$$

Dengan

$$k = \frac{1}{\pi A e}$$

Kedua parameter ini, C_{D0} dan k adalah koefisien *drag nol* dan koefisien *drag* yang diinduksi *lift*. Nilai dari kedua parameter ini dianggap konstan untuk konfigurasi aerodinamis tertentu.

Koefisien C_L dapat dihitung dengan persamaan: $C_L = \frac{m \cdot g}{\frac{1}{2} \rho V^2 S}$

Drag dapat dihitung dengan persamaan:

$$D = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_D$$

2.3 Konsumsi Bahan Bakar

Untuk menggerakkan pesawat di udara, sistem propulsi digunakan untuk menghasilkan *thrust*. Jumlah *thrust* yang dihasilkan mesin adalah penting. Namun jumlah bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan *thrust* itu terkadang lebih penting, karena pesawat harus mengangkat dan membawa *fuel* selama penerbangan. *Engineers* menggunakan faktor efisiensi, yang disebut *Thrust Specific Fuel Consumption* (TSFC), untuk mengkarakterisasi efisiensi bahan bakar mesin. TSFC adalah berapa banyak bahan bakar yang dibakar mesin setiap jam.

Secara matematis, TSFC adalah rasio jalur massa *fuel engine* $\dot{m}_f$ dengan jumlah *thrust* F yang dihasilkan oleh pembakaran *fuel*.

$$TSFC = \dot{m}_f + F$$

$\dot{m}_f$ = Laju aliran massa *fuel* (kg/s)

F = Gaya dorong yang dihasilkan (N)

Jika kita membagi pembilang dan penyebut dengan aliran udara *engine* $\dot{m}_0$, kita memperoleh bentuk lain dari persamaan dalam hal rasio *fuel* terhadap udara f , dan spesifikasi *thrust* F_s .

$$TSFC = F + F_s$$

F_s = Spesifikasi gaya dorong (N)

2.4 Biaya Operasional

Indeks biaya adalah rasio biaya terkait waktu pengoperasian pesawat tertentu dan biaya bahan bakar. Nilai

indeks biaya mencerminkan efek relatif dari biaya bahan bakar dalam perjalanan secara keseluruhan dibandingkan dengan waktu yang berhubungan langsung dengan biaya operasional.

Alasan mendasar dari konsep indeks biaya adalah untuk mencapai biaya perjalanan minimum, dengan cara *trade-off* antara biaya operasi per jam dan bahan bakar tambahan. Salah satu indeks biaya yang digunakan untuk memperhitungkan hubungan antara bahan bakar dengan biaya dan waktu terkait. Total biaya perjalanan adalah jumlah dari biaya tetap dan biaya variabel:

$$C = C_F \times \Delta F + C_T \times \Delta T + C_C$$

Dengan:

C_F = Biaya bahan bakar per kg

C_T = Biaya waktu yang berhubungan per menit penerbangan

C_C = Biaya tetap tidak terpengaruh waktu

ΔF = *Trip fuel*

ΔT = Waktu Penerbangan

Dalam rangka meminimalkan C atau total biaya perjalanan, karena itu perlu untuk meminimalkan variabel. Untuk sektor dan periode tertentu, harga bahan bakar dapat diasumsikan bernilai tetap.

$$C_F \times \Delta F + C_T \times \Delta T$$

Dengan mempertimbangkan fungsi biaya $\tau = \frac{C}{C_F} = \Delta F + \frac{C_T}{C_F} \times \Delta T$ dengan $\frac{C_T}{C_F} = CI$ (Didefinisikan sebagai indeks biaya).

Pada tahapan yang lebih jauh ΔS tertentu ini berarti:

$$\tau (1 \text{ nm}) = \frac{1}{SR} + CI \times \frac{1}{V}$$

Dengan SR adalah *specific range* pada tinggi dan berat tertentu.

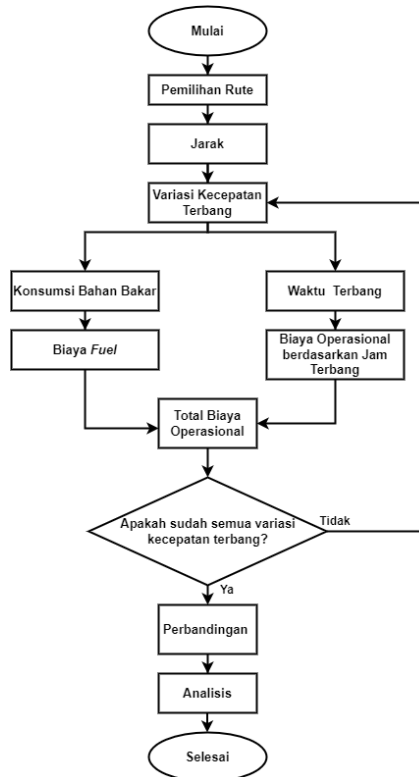
$$SR = \frac{\Delta S}{\Delta F} (\text{nm per kg})$$

Dengan V menjadi *ground speed* untuk menerbangi ΔS tahap *nautical miles* termasuk kecepatan angin $v = \alpha M + V_c$ (V_c sebagai rata-rata komponen *headwind* atau *tailwind*). Untuk sektor tertentu, biaya perjalanan minimum dicapai dengan menerapkan kecepatan operasional yang memiliki proporsi biaya bahan bakar dan biaya waktu yang tepat. Variasi *Mach Number* (MN) indeks biaya yang diberikan akan mengabaikan fluktuasi angin.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa langkah yang dilakukan untuk mendapatkan hasil analisis, seperti pada alur penelitian yang tersaji di bawah ini:



Gambar 3.1 Alur Penelitian

3.2 Spesifikasi Pesawat Boeing 737-800

Boeing 737-800 adalah pesawat generasi berikutnya yang paling populer dan sukses. Dikenal dengan keandalannya, efisiensi bahan bakar, dan kinerjanya yang ekonomis, 737-800 ini dipilih oleh maskapai penerbangan besar di seluruh dunia karena memberi mereka fleksibilitas untuk melayani berbagai pasar. Spesifikasi pada Pesawat Boeing 737-800 sebagai berikut:

No. dari Pesawat : 73

ICAO Code : B738

Kru Kokpit : 2 pilots (*captain and co-pilot*)

Kapasitas Penumpang: : 189 (Maksimum)

Panjang : 39.5 m

Wing Area : 124.6 m²

Tail Plane Area : 32.78 m²

Wingspan : 35.8 m

Height : 12.5

Berat Kosong: : 41,413 kg

Jarak Tempuh: : 5,765 km

MTOW : 79,010 kg

3.3 Data Bandara

Bandara adalah suatu wilayah daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu yang digunakan sebagai tempat pendaratan dan lepas landas pesawat udara, naik turun penumpang, bongkar muat barang, dan transportasi intramoda dan antarmoda, serta dilengkapi dengan fasilitas. Memiliki fasilitas keselamatan dan keamanan penerbangan, serta fasilitas dasar dan fasilitas pendukung lainnya.

3.3.1. Bandara Soekarno-Hatta

Bandara Soekarno-Hatta adalah Bandar udara utama yang melayani penerbangan untuk wilayah Jabodetabek dan sekitarnya.

Tabel 3.1 Spesifikasi Bandar Udara Soekarno-Hatta

SPESIFIKASI	KETERANGAN
Kode ICAO	WIII
Kode IATA	CGK
Kategori Bandara	Internasional
Kelas Bandara	Kelas I
Pengelola Bandara	PT. Angkasa Pura II
Runway	3600 m x 60 m (216000 m ²)
Taxiway	3690 m ²
Terminal	107200 m ²

3.3.2. Bandara Sultan Hasanuddin

Bandara Internasional Sultan Hasanuddin adalah sebuah Bandar udara internasional di Makassar, Sulawesi Selatan. Terletak 20 km dari pusat kota Makassar.

Tabel 3.2 Spesifikasi Bandar Udara Sultan Hasanuddin

SPEKIFIKASI	KETERANGAN
Kode ICAO	WAAA
Kode IATA	UPG
Kategori Bandara	Internasional
Kelas Bandara	Kelas IA
Pengelola Bandara	PT. Angkasa Pura I
Runway	3000 m x 45 m (135000 m ²)
Taxiway	161 x 23 (3703 m ²)
Terminal	53045 m ²
Kargo	1116 m ²

3.4 Data Fuel

Mengutip data *One Solution* Pertamina pada tahun 2022, harga patokan baru avtur untuk penerbangan domestik dan internasional ada banyak bandara di Indonesia mengalami penurunan pada bulan 15-31 Juli 2022.

Penyesuaian harga avtur disesuaikan secara berkala, dua minggu sekali, mengikuti harga minyak global hingga mata uang rupiah terhadap dolar. Pada periode terbaru 1-14 Agustus 2022, harga avtur di Bandara Soekarno Hatta (CGK) untuk penerbangan domestik sudah Rp 15.570 per liter, sementara untuk harga penerbangan internasional mencapai US\$ 94,5.

3.5 Skyvector

Skyvector adalah penyedia utama *aeronautical charts* sebagai pemeta online, produk, dan sebagai perencanaan penerbangan terkait. *Skyvector* didirikan pada tahun 2006,

skyvector menggabungkan kemampuan pemetaan penerbangan yang unik hamparan cuaca dan data, informasi bandara, daftar FBO (*A fixed-base operator*) dan lain-lain.

3.6 Flightradar24

Flightradar adalah layanan pelacakan penerbangan global yang memberikan informasi waktu nyata tentang ribuan pesawat di seluruh dunia. Layanan *flightradar24* tersebut tersedia secara *online* dan untuk perangkat iOS atau android.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemilihan Rute

Rute yang dipilih untuk simulasi penerbangan adalah dari Bandara Soekarno-Hatta ke bandara Sultan Hasanuddin dengan menggunakan *skyvector* dan melewati jalur CGK-HLP-SRG-UPG.

Jarak tempuh dan (tinggi terbang) *altitude* rute CGK-UPG menggunakan *Flightradar24* adalah 1434 km (773.9 NM) dengan ketinggian 37.000 ft.

4.2 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar

Perhitungan konsumsi bahan bakar berdasarkan tinggi terbang dilakukan dengan data referensi ISA (*International Standard Atmosphere*), yaitu data *altitude*, *density*, dan *speed of sound*. Pada tabel ISA yang digunakan untuk mendapatkan data udara pada tinggi terbang 37.000 ft, yaitu *density ratio* (σ) = 0.2844 dan *speed of sound* (a) = 573 knots.

Tabel 4.1 ISA (International Standard Atmosphere).

ALTITUDE (Feet)	TEMP. (°C)	PRESSURE			PRESSURE RATIO $\sigma = P/P_0$	DENSITY $\rho = \rho_0$	Speed of sound (kt)	ALTITUDE (meters)
		hPa	PSI	In Hg				
40 000	-56.5	188	2.72	5.54	0.1851	0.2462	573	12 192
39 000	-56.5	197	2.58	5.81	0.1942	0.2583	573	11 887
38 000	-56.5	206	2.99	6.10	0.2038	0.2710	573	11 582
37 000	-56.5	217	3.14	6.40	0.2138	0.2844	573	11 278
36 000	-56.3	227	3.30	6.71	0.2243	0.2981	573	10 973
35 000	-54.3	238	3.46	7.04	0.2353	0.3099	576	10 668
34 000	-52.4	250	3.63	7.38	0.2467	0.3220	579	10 363
33 000	-50.4	262	3.80	7.74	0.2586	0.3345	581	10 058
32 000	-48.4	274	3.98	8.11	0.2709	0.3473	584	9 754
31 000	-46.4	287	4.17	8.49	0.2837	0.3605	588	9 449
30 000	-44.4	301	4.36	8.89	0.2970	0.3741	589	9 144
29 000	-42.5	315	4.57	9.30	0.3107	0.3881	591	8 839
28 000	-40.5	329	4.78	9.73	0.3250	0.4025	594	8 534
27 000	-38.5	344	4.99	10.17	0.3398	0.4173	597	8 230
26 000	-36.5	360	5.22	10.63	0.3552	0.4325	599	7 925
25 000	-34.5	376	5.45	11.10	0.3711	0.4481	602	7 620
24 000	-32.5	393	5.70	11.60	0.3876	0.4642	604	7 315
23 000	-30.8	410	5.95	12.11	0.4046	0.4806	607	7 010
22 000	-28.6	428	6.21	12.64	0.4223	0.4976	609	6 706
21 000	-26.6	446	6.47	13.18	0.4406	0.5150	611	6 401
20 000	-24.6	466	6.75	13.75	0.4595	0.5328	614	6 096
19 000	-22.6	485	7.04	14.34	0.4791	0.5511	616	5 791
18 000	-20.7	506	7.34	14.94	0.4994	0.5699	619	5 486
17 000	-18.7	527	7.65	15.57	0.5203	0.5892	621	5 182
16 000	-16.7	549	7.97	16.22	0.5420	0.6090	624	4 877
15 000	-14.7	572	8.29	16.89	0.5643	0.6292	626	4 572
14 000	-12.7	595	8.63	17.58	0.5875	0.6500	628	4 267
13 000	-10.8	619	8.99	18.29	0.6113	0.6713	631	3 962
12 000	-8.8	644	9.35	19.03	0.6360	0.6932	633	3 658
11 000	-6.8	670	9.72	19.79	0.6614	0.7156	636	3 353
10 000	-4.8	697	10.10	20.58	0.6877	0.7385	638	3 048
9 000	-2.8	724	10.51	21.39	0.7148	0.7620	640	2 743
8 000	-0.8	753	10.92	22.22	0.7428	0.7860	643	2 438
7 000	+1.1	782	11.34	23.09	0.7716	0.8106	645	2 134
6 000	+3.1	812	11.78	23.98	0.8014	0.8359	647	1 829
5 000	+5.1	843	12.23	24.90	0.8320	0.8617	650	1 524
4 000	+7.1	875	12.69	25.84	0.8637	0.8881	652	1 219
3 000	+9.1	908	13.17	26.82	0.8962	0.9151	654	914
2 000	+11.0	942	13.67	27.82	0.9298	0.9428	656	610
1 000	+13.0	977	14.17	28.86	0.9644	0.9711	659	305
0	+15.0	1013	14.70	29.92	1.0000	1.0000	661	0

Agar dapat menentukan konsumsi bahan bakar maka diperlukan perhitungan fuel flow berdasarkan berat dan kecepatan terbang pesawat. Data fuel flow pada FCOM hanya pada tinggi terbang dan berat pesawat tertentu. Oleh karena itu diperlukan perhitungan perkiraan fuel flow dengan variasi kecepatan terbang berdasarkan gaya hambatan yang harus diatasi oleh gaya dorong pesawat.

Pada *Long Cruise Control* di data FCOM (*Flight Crew Operations Manual*) di diambil satu tinggi terbang (*altitude*) dari bandara CGK-UPG di *Flightradar24*, yaitu 37.000 ft., dan di ambil variasi berat 60000 kg, 65000 kg, dan 70000 kg. Pada kolom sesuai tinggi terbang dan berat, diketahui data kecepatan dalam *Mach number*.

Tabel 4.2 Long Range Cruise Control.

Performance Inflight All Engine	DO NOT USE FOR FLIGHT 737 Flight Crew Operations Manual	737-800/CFM56-7B26 FAA Category C/N Brakes
------------------------------------	---	--

Long Range Cruise Control

WEIGHT (1000 KG)		PRESSURE ALTITUDE (1000 FT)							
		25	27	29	31	33	35	37	39
85	%NI	86.2	87.5	88.6	90.0	92.6			
	MACH	.752	.771	.782	.792	.794			
	KLAS	316	311	303	294	282			
	FF/ENG	1625	1616	1597	1596	1623			
80	%NI	84.8	86.3	87.4	88.7	90.4	94.1		
	MACH	.732	.759	.774	.785	.794	.792		
	KLAS	307	306	300	291	282	269		
	FF/ENG	1526	1530	1516	1499	1507	1562		
75	%NI	83.2	84.9	86.2	87.4	88.7	90.8		
	MACH	.707	.741	.764	.778	.789	.795		
	KLAS	296	298	295	288	280	270		
	FF/ENG	1419	1437	1436	1414	1405	1419		
70	%NI	81.5	83.2	84.8	86.1	87.2	88.7	91.8	
	MACH	.682	.714	.747	.768	.781	.791	.795	
	KLAS	284	287	288	285	277	269	258	
	FF/ENG	1316	1331	1347	1338	1315	1313	1344	
65	%NI	79.7	81.3	83.0	84.6	85.9	87.1	89.1	93.4
	MACH	.658	.687	.721	.752	.771	.783	.793	.793
	KLAS	274	275	277	278	273	266	257	246
	FF/ENG	1216	1227	1243	1252	1239	1218	1231	1284
60	%NI	78.1	79.4	81.0	82.7	84.3	85.6	87.2	89.9
	MACH	.639	.660	.690	.725	.755	.773	.785	.794
	KLAS	265	263	265	267	262	254	246	
	FF/ENG	1130	1126	1138	1151	1156	1140	1135	1155

- Pada **Tabel 4.1 International Standard Atmosphere (ISA)**, ditentukan kerapatan udara pada tinggi 37.000 ft, di tabel ISA menyatakan density ratio adalah $\sigma = 0.2844$.
- Artinya kerapatan udara $\rho = \sigma \times \rho_0$ dengan nilai $\rho_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$. Berarti

$$\rho = \sigma \times \rho_0$$

$$\rho = 0.2844 \times 1,225$$

$$\rho = 0,34839 \text{ kg/m}^3$$
 Pada semua variasi berat nilai kerapatan udara adalah $0,34839 \text{ kg/m}^3$
- Dari **Tabel 4.1 International Standard Atmosphere (ISA)**, dilihat juga cepat rambat suara, $a = 573$ knots untuk semua variasi berat.
- Setelah mendapatkan kecepatan suara maka dengan berat 60000 kg dan *Mach number* nya = 0.785 berarti kecepatan terbang:

$$V = Mach \times a$$

$$V = 0.785 \times 573$$

$$V = 449,805 \text{ knots}$$
 Sedangkan untuk berat 65000 kg berarti $454,389 \text{ knots}$ dan berat

70000 kg berarti $V = 0,795 \times 573 = 455,535 \text{ knots}$.

5. Jika no. 7 kecepatannya adalah knots maka harus diganti menjadi m/s, sehingga dikonversi $449,805 \text{ knots}$ pada variasi berat 60000 kg menjadi $449,805 \times 1852/3600 = 231,4 \text{ m/s}$, 65000 kg = $233,758 \text{ m/s}$, dan 75000 kg = $234,347 \text{ m/s}$.

6. Diketahui data luas sayap (S) dari spesifikasi Pesawat Boeing 737-800 adalah $124,6 \text{ m}^2$.

7. Menghitung besar koefisien gaya angkat pada variasi berat 60000 kg dari persamaan rumus (2.4):

$$C_L = \frac{m \cdot g}{\frac{1}{2} \rho V^2 S}$$

$$C_L = \frac{60000 \times 9,8}{\frac{1}{2} 0,34839 \times 231,4^2 \times 124,6}$$

$$C_L = 0,50594$$

Sedangkan untuk variasi berat 65000 kg adalah 0,5371 dan untuk 70000 kg adalah 0,57551.

8. Sebelumnya C_{D0} dan k dapat dari tabel dibawah ini drag polar koefisien yaitu Aircraft B738, $C_{D0} = 0,021$ dan $k = 0,0365$.

Tabel 4.3 Drag Polar Coefficients

Aircraft	$C_{D0, \text{clean}}$	$C_{D0, \text{taxi}}$	$C_{D0, \text{to}}$	$C_{D0, \text{ic}}$	$C_{D0, \text{ap}}$	$C_{D0, \text{id}}$	k	e
A319	0.020	0.051	0.074	0.040	0.050	0.116	0.0334	0.9222
A320	0.023	0.055	0.078	0.043	0.053	0.120	0.0334	0.9220
A321	0.033	0.069	0.091	0.053	0.063	0.133	0.0344	0.9244
A332	0.024	0.049	0.074	0.044	0.054	0.118	0.0343	0.9230
A333	0.026	0.051	0.075	0.046	0.056	0.120	0.0344	0.9195
A359	0.027	0.051	0.075	0.047	0.057	0.120	0.0364	0.9210
A388	0.012	0.034	0.059	0.032	0.042	0.104	0.0456	0.9265
B734	0.021	0.060	0.081	0.041	0.051	0.122	0.0372	0.9335
B737	0.024	0.053	0.077	0.044	0.054	0.120	0.0366	0.9213
B738	0.021	0.053	0.076	0.041	0.051	0.119	0.0365	0.9231
B739	0.024	0.057	0.080	0.044	0.054	0.122	0.0365	0.9233
B744	0.025	0.052	0.076	0.045	0.055	0.119	0.0435	0.9271
B748	0.028	0.056	0.079	0.048	0.058	0.123	0.0408	0.9237
B772	0.033	0.059	0.083	0.053	0.063	0.127	0.0396	0.9265
B77W	0.033	0.062	0.085	0.053	0.063	0.129	0.0396	0.9265
B788	0.022	0.046	0.071	0.042	0.052	0.115	0.0361	0.9202
B789	0.024	0.050	0.074	0.044	0.054	0.118	0.0359	0.9241
E75L	0.022	0.053	0.076	0.042	0.052	0.119	0.0371	0.9223
E190	0.020	0.050	0.073	0.040	0.050	0.116	0.0387	0.9215
E195	0.032	0.062	0.085	0.052	0.062	0.128	0.0389	0.9183

9. Setelah mencari C_L kemudian mencari C_D dari persamaan rumus (2.3):

$$C_D = C_{D0} + k C_L^2$$

$$C_D = 0,021 + 0,0365 \times 0,50594^2$$

$$C_D = 0,03034$$

Sedangkan untuk variasi berat 65000 kg adalah 0,03153 dan untuk 75000 kg adalah 0,03309.

10. Setelah mendapatkan C_L dan C_D kemudian mencari drag dengan persamaan rumus dari (2.5):

$$D = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_D$$

$$D = \frac{1}{2} 0,34839 \times 231,4^2 \times 124,6$$

$$\times 0,03034$$

$$D = 35264,6 \text{ N}$$

Sedangkan untuk variasi berat 65000 kg adalah 37393,88 N dan untuk 75000 kg adalah 39441,98 N.

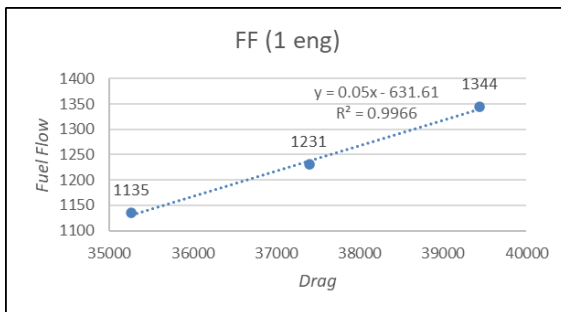
11. Dari data FCOM (Long Cruise Control), dilihat juga besarnya fuel flow dengan berat 60000 kg mendapatkan 1135 kg/jam, untuk variasi berat 65000 kg = 1231, dan untuk variasi berat 75000 kg = 1344.

Berdasarkan perhitungan langkah-langkah tersebut maka pada Tabel 4.4 diperoleh drag dan fuel flow untuk variasi berat dari tinggi terbang 37.000ft. Tabel 4.4 merupakan hasil fuel flow terhadap drag untuk variasi berat dari tinggi terbang 37.000 ft.

Setelah semuanya dihitung dengan 3 variasi berat kemudian dibuat grafik antara drag dan fuel flow dan ditentukan persamaan garis regresi linier untuk memperkirakan fuel flow pada berbagai nilai drag.

Tabel 4.4 Fuel Flow terhadap drag untuk berbagai variasi berat.

Deskripsi	Variasi Berat (kg)		
	37000 ft		
	60000	65000	70000
Mach	0.785	0.793	0.795
ρ (kg/m ³)	0.34839	0.34839	0.34839
a (knots)	573	573	573
v (knots)	449.805	454.389	455.535
v (m/s)	231.4	233.758	234.347
S (m ²)	124.6	124.6	124.6
C_{D0}	0.021	0.021	0.021
k	0.0365	0.0365	0.0365
C_L	0.50594	0.5371	0.57551
C_D	0.03034	0.03153	0.03309
D (N)	35264.6	37393.9	39442
FF (kg/jam)	1135	1231	1344



Gambar 4.1 Grafik Drag dan Fuel Flow

Pada grafik diatas menunjukan persamaan garis antara drag dan fuel flow dengan regresi linier adalah $y = 0,05x - 631,61$ dan $R^2 = 0,9966$.

Setelah mendapatkan persamaan garis antara drag dan fuel flow maka fuel flow dapat diperkirakan berdasarkan nilai drag yang diketahui. Langkah berikut adalah perhitungan fuel flow untuk berat dan kecepatan yang dipilih.

1. Jika dipilih berat di antara 60000 kg dan 65000 kg yaitu 63000 kg, maka gaya berat (*weight*) sebesar 617400 N pada **Tabel 4.5**.

2. Nilai S (luas sayap pesawat) dan ρ sama dengan data **Tabel 4.4**.
3. Dipilih 3 variasi kecepatan yang berbeda dengan nilai 231,4 m/s, 235m/s, 239 m/s sehingga menghasilkan C_L pada berat 63000 kg dari **Persamaan (2.4)**:

$$C_L = \frac{617400}{\frac{1}{2}\rho V^2 S}$$

$$C_L = \frac{617400}{\frac{1}{2} \times 0,34839 \times 231,4^2 \times 124,6}$$

$$C_L = 0,53123$$

Dengan kecepatan yang berbeda C_L yang lainnya mendapatkan senilai 0,51508 dan 0,49799

4. Kemudian mencari C_D dengan rumus **(2.2)**:

$$C_D = C_{D0} + k C_L^2$$

$$C_D = 0,021 + 0,0365 \times 0,531234$$

$$C_D = 0,0313$$

dan C_D yang lainnya mendapatkan dengan nilai sebesar 0,03068, dan 0,03005.

5. Kemudian mencari Drag dengan rumus **(2.5)**:

$$D = \frac{1}{2}\rho V^2 C_{D0}$$

$$D = \frac{1}{2} \times 0,34839 \times 231,4^2 \times 0,0313$$

$$D = 36377,5958$$

drag yang lainnya mendapatkan dengan nilai 36778,9254 N, dan 37257,8372 N. Dengan perhitungan ini hasil drag meningkat jika kecepatannya juga bertambah.

6. *Fuel flow* dihitung berdasarkan persamaan regresi $y = 0,05x - 631,61$ yang didapatkan dari hasil grafik **Gambar 4.3** yaitu:

$$FF = 0,05 \times D - 631,61$$

$$FF = 0,05 \times 36377,5958 - 631,61$$

$$FF = 1187,2697 \text{ kg/jam}$$

fuel flow yang lainnya mendapatkan dengan nilai sebesar 1207,3362 kg/jam dan 1231,2818 kg/jam.

7. Kemudian menghitung waktu (t) terbang berdasarkan jarak rute CGK-UPG yaitu 1434 km dan diubah ke meter yaitu 1434000 m.

$$t = \frac{S}{V}$$

$$t = \frac{1434000}{231,4}$$

$$t = 6197,0613 \text{ s}$$

waktu (t) yang lainnya mendapatkan dengan nilai sebesar 6102,12766 s dan 6000 s.

8. Waktu (t) diubah dalam satuan menit yaitu:

$$t = \frac{6197,06136}{60}$$

$$t = 103,2843561 \text{ menit}$$

t dalam satuan menit sudah didapatkan dengan nilai sebesar 103,2843561 menit, 101,7021277 menit, 100 menit.

Hasil perhitungan untuk ketiga variasi kecepatan seperti pada **Tabel 4.5**:

Pada **Tabel 4.5** menunjukan *fuel flow* berdasarkan variasi kecepatan yang berbeda dengan massa, *weight*

dan S yang sama dan kerapatan udara (ρ) yang sama. Pada penelitian ini variasi kecepatan (V) didapatkan C_L yang berbeda yaitu 0,531234, 0,515083, dan 0,497986, dari hasil C_L dan C_D yang besar mendapatkan hasil yang kecil. Dengan variasi kecepatan yang berbeda adalah 231,4 m/s, 235 m/s, dan 239 m/s, dan variasi kecepatan yang meningkat dengan nilai 239 m/s maka C_L dan C_D akan menurun dapat dilihat C_L nya sebesar 0,497986 dan C_D nya sebesar 0,030052, tetapi *drag* 37257,8 N dan *fuel flow* nya 1231,79 kg/jam bertambah, dan waktunya (t) 100 menit berkurang. Sehingga *drag* dan *fuel flow* mempengaruhi konsumsi bahan bakar dengan perhitungan pada **Tabel 4.5** diatas, dapat dilihat juga bahwa *drag* dan *fuel flownya* nya lebih besar dan akan lebih boros tetapi yang paling efisien adalah waktunya.

Tabel 4.5 *Fuel Flow* berdasarkan variasi kecepatan.

Deskripsi	Variasi Kecepatan (m/s)		
	231.4	235	239
m (kg)	63000	63000	63000
W (N)	617400	617400	617400
S (m ²)	124.6	124.6	124.6
ρ (kg/m ³)	0.34839	0.34839	0.34839
C_L	0.531234	0.515083	0.497986
C_D	0.031301	0.030684	0.030052
D (N)	36377.6	36778.93	37257.84
FF (kg/jam)	1187.27	1207.336	1231.282
t (s)	6197.061	6102.128	6000
t (min)	103.2844	101.7021	100

4.3 Perhitungan Biaya Operasional Pesawat

Dalam biaya pesawat ini, diterapkan metode analisis yang membandingkan beberapa variasi kecepatan pada pesawat B737-800

yang digunakan berdasarkan perhitungan karakteristik pesawat dan utilisasi pesawat dalam 300 jam (USD).

Tabel 4.6 Struktur biaya B 737-800 berdasarkan utilisasi pesawat.

Deskripsi	300 Hours cost/hour USD
DIRECT OPERATING COST	B 737-800
AIRCRAFT	816.67
CREW	173.33
MAINTENANCE	920.00
AIRCRAFT INSURANCE	935.00
FUEL	1850.68
ROUTE CHARGES	231.9
GROUND HANDLING	115.00
CREW TRAINING	15.00
CATERING	276
SUB TOTAL	5333.58
INDIRECT OPERATING COST DOC x 10%	533.36
TOTAL OPERATING COST	
IN USD	5,866.94
IN IDR	85,070,590.00
TOC/SEAT HOUR	31.89
MARGIN 10%	586.69
SELLING PRICE/HOUR	6,453.63

Pada **Tabel 4.6** menunjukan perhitungan utilisasi pesawat B737-800 dengan klasifikasi 300 jam berdasarkan *Total Operational Cost* (TOC). Perhitungan tersebut menunjukan bahwa asumsi biaya *crew*, *route charge*, *ground handling*, dan *crew training* adalah B737-800. Pemeliharaan untuk B737-800 memiliki biaya perawatan sebesar USD 920. *Total Operating Cost* (TOC) B737-800 terhadap harga jual penumpang termasuk murah dibandingkan dengan pesawat yang lainnya.

4.3.1. Perhitungan Biaya *Fuel*

Dalam memperhitungkan biaya *fuel* ada beberapa acuan yaitu:

- 1 liter = 0,8 kg
- Harga *fuel* di Bandara Soekarno-Hatta (CGK) adalah Rp. 15.570/liter pada bulan Agustus 2022. Jadi harga *fuel* per kg adalah Rp. 12.456/kg (US\$

0,83) dengan mengikuti (Kurs US\$ 1 = Rp.15.565)

Kemudian memperhitungkan seluruh *cost fuel* dan biaya operasional pesawat dengan cara berikut ini:

1. Perhitungan *fuel* pada **Tabel 4.7** dibawah ini didapatkan dengan

$$Fuel = \left(\frac{t}{60}\right) \times FF \times 2$$

$$Fuel = \left(\frac{103,2843561}{60}\right) \times 1187,269794 \times 2$$

$$Fuel = 4087,546538 \text{ kg}$$

Nilai *t* dan *FF* diatas didapatkan dari **Tabel 4.5** setelah mendapatkan *fuel* nya dengan nilai sebesar 4087,5465 kg, 4092,9555 kg, 4104,2728 kg

2. Setelah mencari *fuel*, kemudian Harga *fuel* per liternya adalah Rp. 15.570, lalu total costnya didapatkan dari:

$$\text{Total Harga Fuel} = Fuel \times \text{Harga Fuel}(/kg)$$

$$\text{Total Harga Fuel} = 4087,546538 \times \text{Rp. 12.456}$$

$$\text{Total Harga Fuel} = \text{Rp. 50.914.480}$$

Setelah mendapatkan total harga *fuel* dengan nilai sebesar Rp. 50.914.480, Rp. 50.981.855, dan Rp. 51.122.823.

3. Perhitungan *time* pada **Tabel 4.7** dibawah adalah:

$$t = \frac{103,28435}{60}$$

$$t = 1,7214059 \text{ jam}$$

Pada perhitungan *time* yang lainnya mendapatkan nilai sebesar 1,6950354 jam dan 1,6666666 jam.

4. Perhitungan *time cost* didasarkan pada *Direct Operating Cost* (DOC) per jam. *Direct Operating Cost*

(DOC) untuk pesawat B737-800 adalah 5,866 USD dan dalam rupiah adalah Rp. 85,070,590. Jika 1 USD = Rp. 15.565. Sehingga *total cost* adalah $3482,9 \times \text{Rp.}15.565 = \text{Rp.}54.212.895$.

Kemudian untuk perhitungan *time cost* berdasarkan **Tabel 4.6** adalah

$$\text{Time Cost} = \text{Total Cost} - \text{Fuel Cost}$$

$$\text{Time Cost} = 5333,58 - 1850,68$$

$$\text{Time Cost} = 3482,9 \text{ USD per jam terbang atau Rp } 54.212.895$$

Sehingga besarnya *time cost* untuk rute CGK-UPG dengan kecepatan 231 m/s adalah:

$$\text{Total Time Cost} = t \times \text{time cost}$$

$$\text{Total Time Cost} = 1,7214059 \times \text{Rp.}54212895$$

$$\text{Total Time Cost} = \text{Rp.}93.322.399$$

Setelah mendapatkan *time cost* dengan nilai sebesar Rp 93.322.399,2 Rp. 91.892.779,47, dan Rp. 90.354.825

5. Setelah itu perhitungan *total cost* didapatkan dengan:

$$\text{Total Cost} = \text{fuel cost} + \text{time cost}$$

$$\text{Total Cost} = \text{Rp.}50.914.480 + 9332239$$

$$\text{Total Cost} = \text{Rp.}144.236.879$$

Didapatkan *total cost* dengan nilai sebesar Rp. 144.236.879, Rp. 142.874.634, dan Rp. 141.477.648 untuk ketiga variasi kecepatan.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan biaya dengan variasi kecepatan.

Deskripsi	Variasi Kecepatan		
	231 m/s	235 m/s	239 m/s
Fuel (kg)	4087,546538 kg	4092,955596 kg	4104,272879 kg
Harga Fuel (kg)	Rp 12.456	Rp 12.456	Rp 12.456
Total Harga Fuel	Rp 50.914.480	Rp 50.981.855	Rp 51.122.823
Time (jam)	1.72	1.69	1.6
Time Cost	Rp93.322.399	Rp91.892.779	Rp90.354.825
Total Cost	Rp 144.236.879	Rp 142.874.634	Rp 141.477.648

Pada **Tabel 4.7** menunjukkan hasil perhitungan *fuel*, *fuel cost*, *time cost* dan *total cost* dengan variasi kecepatan. Pada kecepatan 239 m/s *fuel cost* paling besar dan *time cost* paling kecil. *Total cost* paling hemat adalah pada kecepatan 239 m/s sehingga biaya lebih dipengaruhi oleh waktu daripada fuel pada rute CGK-UPG dengan tinggi terbang 37.000 ft, berat pesawat 63.000 kg, dan harga *fuel* Rp 12.456 per kg.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan seluruh hasil analisis terhadap tahapan penelitian yang dilakukan pada analisis variasi kecepatan terbang berdasarkan pada biaya operasional berdasarkan jam terbang dan konsumsi *fuel* pesawat terbang maka didapatkan beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Perhitungan kebutuhan konsumsi bahan bakar dengan variasi kecepatan terbang pada pesawat B737-800 dengan rute CGK-UPG, pada kecepatan 239 m/s nilai $C_L = 0,49799$ dan $C_D = 0,03005$ lebih rendah dibandingkan pada kecepatan 231 m/s dan 235 m/s. *Drag* dan *fuel flow* lebih besar dengan nilai sebesar 37257,8 N dan 1231 kg/jam. Waktu terbang 100 menit, lebih singkat daripada kecepatan 231 m/s dan 235 m/s.
2. Berdasarkan tiga variasi kecepatan pada simulasi yang telah dilakukan kecepatan terbang yang lebih besar menghasilkan biaya total operasional lebih hemat karena biaya waktu terbang lebih berpengaruh. Nilai tukar mata uang, harga bahan bakar,

dan struktur biaya lainnya juga dapat mempengaruhi biaya total operasional.

3. Biaya operasional paling hemat pada kecepatan 239 m/s memerlukan *fuel* 4105,98 kg dengan biaya Rp 51.122.823 dan waktu terbang 1,6 jam dengan biaya waktu Rp 90.354.848,25 dan total biaya operasional sebesar Rp. 154.284.823.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan perbandingan variasi berat, variasi harga fuel, dan variasi struktur DOC lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Rodrigue, J.P., Claude, C., & Brian S., 2006, *Composition of the Global Fleet of Containers*, Geogr. Transp. Syst., Routledge, London and New York.
2. Backpacker Travel, *Airplane Noises Explained for the Nervous Traveler*, <https://backpackertravel.org/>, diakses tanggal 15 Agustus 2022.
3. Roberson, W., dan Johns, J., 2007, *Fuel Conservation Strategies: Takeoff and Climb*, Aero Q., no. 4, vol. 8, pp. 25–28.
4. Prices, V.F., Tankering, F., Hedging, F., dan The, M., 2007, *Calculation, AERO Fuel Conservation Strategies*, Boeing, no. Ci, p. 23.
5. Sun, J., Hoekstra, J.M., dan Ellerbroek, J., 2018, *Aircraft drag polar estimation based on a stochastic hierarchical model*, SESAR Innov.
6. Bode, C., dan Str, D., 2017, *Specific Fuel consumption, Society of Automotive Engineers*, <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/sfc.html>, diakses tanggal 16 November 2022.
7. Roberson, B., 2007, *Fuel Conservation Strategies: Cost Index Explained*, Boeing Aero Mag., no. Ci, pp. 26–28.
8. Prihananto, D., 2007, *Pemilihan Tipe Pesawat Terbang Untuk Rute Yogyakarta-Jakarta Berdasarkan Perkiraan Biaya Operasional*, SNT, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto, Yogyakarta.
9. Airbus, 1998, *Getting to grips with the cost index - Issue II*, no. li, p. 108.
10. Boeing, 2016, *Boeing: Next-Generation 737*, <https://www.boeing.com/commercial/737ng/>, diakses tanggal 15 Agustus 2022.
11. Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, *Bandar Udara*, 2022 <https://hubud.dephub.go.id/hubud/web/site/Bandara.php>, diakses tanggal 19 September 2022.
12. Indonesia Airport, *Bandara Jakarta*, 2021. <https://indonesiaairport.com/airports/jakarta1/index.htm>, diakses tanggal 19 Agustus 2022.
13. Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, *Data Bandar Udara*, <http://hubud.dephub.go.id/hubud/web/site/BandaraDetail.php?id=222>, diakses tanggal 15 Agustus 2022.
14. Indonesia Airport, *Bandara Makassar*, 2021. <https://indonesiaairport.com/airports/makassar/index.htm>, diakses tanggal 19 Agustus 2022.
15. Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, 2022, *Data Bandar Udara*. <http://hubud.dephub.go.id/hubud/web/site/BandaraDetail.php?id=222>

- [bsite/BandaraDetail.php?id=226](https://www.cnbcindonesia.com/news/20220802153737-4-360527/harga-avtur-turun-kabar-baik-buat-tiket-pesawat-nggak-ya), diakses tanggal 15 Agustus 2022.
16. Yanwardhana, E., 2022, *Harga Avtur Turun, Kabar Baik Buat Tiket Pesawat Nggak Ya*, <https://www.cnbcindonesia.com/news/20220802153737-4-360527/harga-avtur-turun-kabar-baik-buat-tiket-pesawat-nggak-ya>, diakses tanggal 29 September 2022.
 17. Airbus, 2000, *Getting to Grips with Aircraft Performance*, Airbus Industrie, pp. 11–16.
 18. The Boeing Company, 2008, 737-600/-700/-800/-900. *Flight Crew Operations Manual. Document number D6-27370-TBC. Revision 21*.
 19. Gailagista, A., Rahma, Z., Suparman, A., dan Irenita, N., 2018, *Is It Worth Replacing B 737-800 NG with B 737 Max 8*, pp. 97–104.