

Analisis Pengurangan Emisi CO₂ Pada Perkembangan Desain Pesawat Udara

Mufti Arifin^{*}, Fara Vania Utami

Prodi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan,
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma
Komplek Bandara Halim Perdanakusuma, Jakarta 13610, Indonesia
Corresponding Author : muftiarifin@universitassuryadarma.ac.id

Abstrak– Kontribusi industri transportasi udara sebesar 2% dari emisi CO₂ dunia memerlukan usaha penurunan emisi dari pengembangan desain pesawat udara. Penurunan emisi dapat dilakukan dengan menurunkan konsumsi bahan bakar pada desain yang lebih baru dari pengembangan desain pesawat terbang. Perbandingan data spesifikasi dari B737 family dan A320 dilakukan pada penelitian ini untuk menentukan kontribusi teknologi material ringan dan teknologi engine pada penurunan emisi. Perkembangan generasi desain yang lebih baru dari pesawat pada kelas yang sama menghasilkan peningkatan berat kosong (Operating Empty Weight, OEW), MTOW (Maximum Take Off Weight), dan persentase OEW/MTOW dibandingkan pesawat generasi sebelumnya. Perhitungan perkiraan konsumsi bahan bakar dari pesawat B737-300 dan B737-700 menunjukkan penurunan emisi dipengaruhi oleh perkembangan teknologi engine yang lebih hemat bahan bakar daripada perkembangan teknologi material ringan pada struktur pesawat terbang. Efektifitas penurunan emisi dipengaruhi oleh jarak terbang pesawat.

Kata kunci : Emisi, desain pesawat udara, B737, konsumsi bahan bakar

Abstract –Air transport industry has 2% contribution in CO₂ emission need emission reduction effort from aircraft design improvement. Emission reduction could be done by decrease fuel consumption for next aircraft design. Aircraft specification data among B737 and A320 family was compared to determine contribution of light aircraft material technology and engine technology for emission reduction. Aircraft with newer design have higher Operating Empty Weight, Maximum Take Off Weight, and percentage of OEW/MTOW than older design. Fuel consumption estimation between B737-300 and B737-700 shown emission reduction more affected by Engine technology improvement that reduce fuel consumption rather than light material technology for airframe. Reduction of emission also affected by flight distance.

Keywords : Emission, Aircraft design, B737, Fuel consumption.

I. PENDAHULUAN

Mitigasi perubahan iklim akibat aktivitas manusia adalah tantangan utama dari sebagian besar industri dan merupakan isu internasional, termasuk juga pada industri transportasi udara. Industri transportasi udara memiliki kontribusi sekitar 2% emisi karbondioksida (CO₂) dunia dan bisa bertambah mengingat volume lalu lintas udara yang terus meningkat. IATA bersama manufaktur pesawat, bandara, dan penyedia jasa navigasi udara menetapkan pengurangan tingkat emisi dengan meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar. Salah satu strategi untuk mencapai tujuan tersebut adalah pengembangan teknologi airframe (struktur pesawat) dan engine^[1]. Contoh pengurangan emisi dari teknologi airframe adalah penggunaan material komposit yang semakin besar persentasenya. Pesawat yang diproduksi pada tahun 1990 menggunakan komposit 10-12% dari berat keseluruhan struktur pesawat, meningkat menjadi 20-25% pada tahun 2005, dan diperkirakan 40-50% pada tahun 2010.^[2]

Teknologi engine menurunkan laju konsumsi bahan bakar (specific fuel consumption) sehingga lebih hemat bahan bakar yang akan mengurangi emisi, selain pengembangan ruang bakar yang mengurangi emisi gas buang NOx dan HC.

Beberapa manufaktur pesawat terbang mendesain pesawat baru yang merupakan pengembangan pesawat yang sudah ada dengan kapasitas dan jangkauan (*range*) yang mirip atau lebih besar. Pengembangan desain lebih banyak dilakukan pada pesawat narrow body seperti B737 dan A320 *family*. Kapasitas penumpang, berat kosong, dan *range* memiliki hubungan yang lebih kuat terhadap berat take off maksimum (MTOW, *maximum take off weight*) pada pesawat *narrow body* daripada pesawat *wide body*.^[3]

Penelitian ini melakukan perbandingan antara dua tipe pesawat *narrow body* berbeda generasi pada kelas sejenis dari manufaktur yang sama untuk melihat seberapa besar pengembangan desain yang dilakukan mempengaruhi emisi gas buang berdasarkan aspek teknologi airframe dan engine. Aspek lain dari pengurangan emisi yang terkait dengan pengembangan desain juga diteliti.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan membandingkan data spesifikasi umum berbagai tipe pesawat sehingga diketahui beberapa perbandingan yang mendukung analisis teknologi airframe dan engine.

2.1 Perbandingan Berat

Perbandingan berat dalam bentuk persentase dilakukan untuk tiap tipe pesawat yang dibahas. Persentase akan dibandingkan antara dua pesawat sekelas dari manufaktur yang sama tetapi beda generasi. Perbandingan dilakukan pada berat struktur dan berat engine pesawat.

Perbandingan berat kosong (OEW, *operating empty weight*) terhadap MTOW akan menunjukkan kekuatan struktur pesawat. Data berat payload menunjukkan kelas dari pesawat yang dianalisis.

2.2 Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar antara dua tipe pesawat sekelas akan dibandingkan pada jarak dan payload yang sama sebagai sampel. Tipe yang dipilih adalah pesawat yang memiliki spesifikasi kapasitas payload yang mirip. Jarak divariasikan berdasarkan rute spesifikasi kedua pesawat. Perhitungan konsumsi bahan bakar menggunakan manual operasional pesawat (FCOM, *Flight Crew Operation Manual*).

2.3 Perhitungan Emisi

Jumlah bahan bakar yang dikonsumsi (*fuel burn*) dapat digunakan untuk menghitung perkiraan emisi gas buang yang terjadi. Pada penelitian ini

emisi hanya dihitung pada fase terbang jelajah dengan persamaan :

Emisi = *Fuel burn* x Indeks Emisi (2.1) pada fase terbang jelajah, indeks emisi adalah 3150 kg emisi CO₂ setiap 1 ton *fuel burn*^[4]

2.4 Data Spesifikasi Pesawat

Spesifikasi tipe pesawat dengan pengembangan desain terdapat pada **Tabel 2.1** dan **Tabel 2.2**.

Tabel 2.1 Data umum pesawat ^[5,6,7]

TIPE	FIRST FLIGHT	DESAIN AWAL	KURSI	RANGE (nm)	TIPE ENGINE
B737-200	1967		124	2600	JT8D-17
B737-500	1989	B737-200	122	2375	CFM56-3C1
B737-600	1998	B737-500	130	2935	CFM56-7B20
B737-300	1984		149	2255	CFM56-3B1
B737-700	1997	B737-300	148	3010	CFM56-7B24
B737-400	1988		189	2060	CFM56-3C1
B737-800	1997	B737-400	189	3060	CFM56-7B24
B737 MAX-8	2016	B737-800	189	3515	CFM56 LEAP-1B
A320	1987		180	3300	CFM56-5A
A320 neo	2016	A320	180	3500	CFM56 LEAP-1A
A330-300	1994		300	6350	RR TRENT 700
A350-900	2013	A330-300	315	8100	RR TRENT XWB

Pengembangan desain pesawat tipe B737-200 (B732) menjadi B737-500 (B735) dan dikembangkan lagi menjadi B737-600 (B736). Pesawat tipe B737-300 (B733) digantikan oleh B737-700 (B737). Pesawat tipe B737-400 (B734) menjadi B737-800 (B738) dan dilanjutkan dengan B737 Max-8. Generasi 737 original (B732) digantikan oleh generasi B737 classic (B735) berjarak 20 tahun. Generasi classic (B733, B734, B735) digantikan oleh B737 Next Generation (B736, B737, B738) berjarak sekitar 10 tahun dan kurang dari 10 tahun untuk pengembangan berikutnya (B737Max).

Pada pesawat Airbus, A320 diperbaharui menjadi A320 neo (new engine option) dan A330-300 (A333) dikembangkan menjadi A350-900 (A359). Pengembangan desain pada kelas yang sama pada umumnya memiliki kapasitas penumpang (jumlah kursi pada konfigurasi *all economy*) yang tidak jauh berbeda tetapi menambah jangkauan terbang yang cukup signifikan. Tipe engine selalu berbeda pada pengembangan desain pesawat.

Tabel 2.2 Data berat (kg) ^[5,6,7]

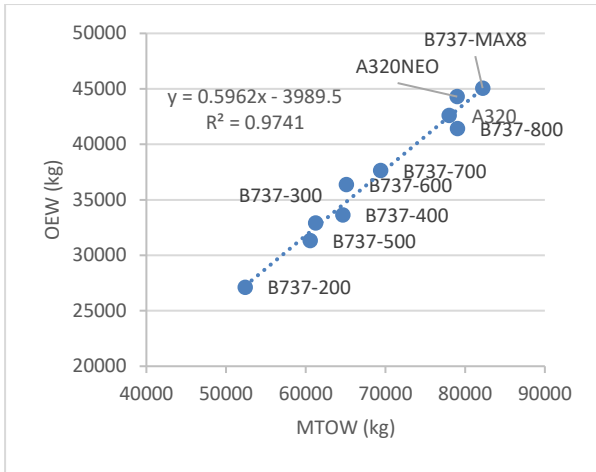
TIPE	MTOW	OEW	Payload	MZFW	Fuel	Berat Engine
B732	52390	27125	15967	43092	14527	2150
B735	60555	31312	15182	46493	17636	1966
B736	65091	36378	15105	51483	20894	2386
B733	61236	32904	15040	48308	18602	1966
B737	69400	37648	17010	54658	20894	2386
B734	64637	33643	19427	53070	19131	1966
B738	79016	41413	21319	62732	20894	2386
B737 MAX8	82190	45065	20885	65952	20731	2990
A320	78000	42600	19900	62500	23282	2331
A320 neo	79000	44300	20000	64300	23282	2990
A333	218000	129400	45600	172000	109185	6160
A359	242000	142400	53300	177000	108330	7277

Data MZFW (Maximum Zero Fuel Weight) menyatakan berat maksimum dari struktur pesawat dan payload. Data Payload pada table 2.2 menyatakan payload maksimum yang dapat dibawa. Kolom fuel menyatakan jumlah kapasitas fuel dalam kg yang dibatasi oleh volume tangki bahan bakar dalam m³. Berat engine adalah berat kering untuk satu buah engine.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

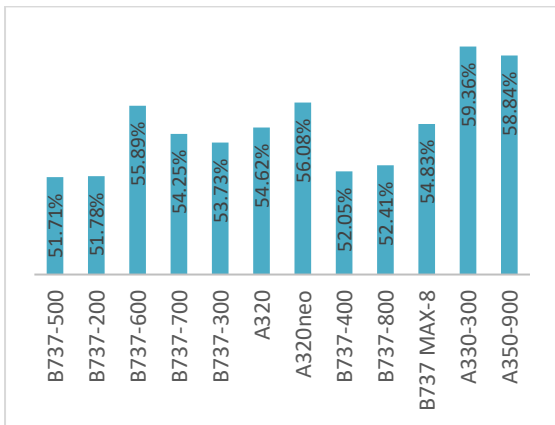
3.1 Perbandingan Berat

Data OEW dan MTOW pada **Tabel 2.2** dapat dinyatakan seperti pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Data MTOW dan OEW *Narrow body*.

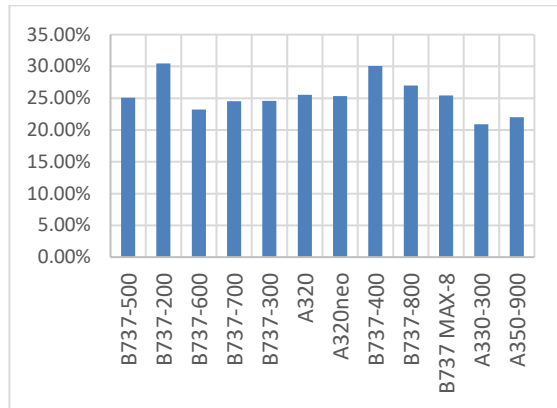
Pada **Gambar 3.1** terlihat pengembangan desain selalu menambah berat kosong (OEW) dan MTOW. Perbandingan OEW terhadap MTOW dari berbagai tipe pesawat mendekati garis linier. Jika perbandingan OEW terhadap MTOW, Payload terhadap MTOW, dan Fuel terhadap MTOW dinyatakan dalam persentase, maka akan dihasilkan perbandingan seperti pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Persentase OEW/MTOW

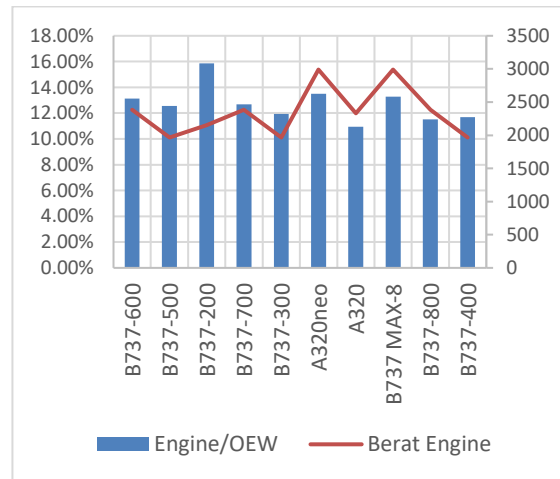
Terdapat perubahan persentase berdasarkan generasi pesawat. Perbandingan antara dua pesawat yang merupakan pengembangan desain memperlihatkan kecenderungan MTOW dan OEW semakin besar pada tipe pesawat yang lebih baru daripada pendahulunya. Generasi lebih baru pada umumnya memiliki persentase OEW lebih besar. Hal ini berarti pengembangan pesawat baru memiliki kecenderungan

struktur lebih berat meskipun menggunakan material yang lebih ringan.



Gambar 3.3 Persentase Payload/MTOW

Pada **Gambar 3.3** terlihat persentase payload terhadap MTOW pada umumnya turun pada pesawat lebih baru daripada pendahulunya. Hal ini dapat berarti peningkatan MTOW dan OEW pesawat generasi baru lebih diutamakan untuk kebutuhan penambahan range (terkait fuel) daripada penambahan kapasitas (terkait payload).



Gambar 3.4 Perbandingan berat engine

Pada perbandingan berat engine seperti pada **Gambar 3.4**, terlihat generasi pesawat yang lebih baru menggunakan engine yang lebih berat. Persentase berat engine terhadap OEW juga meningkat pada pesawat generasi lebih baru.

Peningkatan berat struktur pesawat, peningkatan persentase OEW terhadap MTOW, peningkatan berat engine dan

persentasenya menunjukkan bahwa meskipun dengan material yang lebih ringan, pengembangan desain pesawat baru menghasilkan struktur dan persentase yang lebih berat daripada pesawat pendahulunya.

3.2 Perbandingan konsumsi bahan bakar

Perbandingan konsumsi bahan bakar dilakukan pada tipe pesawat B737-300 dan B737-700. Konsumsi bahan bakar dapat diperkirakan menggunakan FCOM (*Flight Crew Operation Manual*) sesuai tipe pesawat. Manual ini digunakan untuk memperkirakan jumlah bahan bakar yang digunakan berdasarkan tinggi terbang, jarak yang ditempuh, dan berat pesawat. Contoh FCOM terdapat pada **Gambar 3.5** dan **Gambar 3.6**.

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 LB)	TIME (HR:MIN)	FUEL (1000 LB)	TIME (HR:MIN)	FUEL (1000 LB)	TIME (HR:MIN)	FUEL (1000 LB)	TIME (HR:MIN)	FUEL (1000 LB)	TIME (HR:MIN)
200	3.4	0:38	3.3	0:38	3.3	0:38	3.3	0:38	3.3	0:38
400	5.7	1:06	5.6	1:06	5.5	1:06	5.5	1:06	5.4	1:06
600	8.1	1:35	7.9	1:34	7.8	1:33	7.6	1:34	7.6	1:34
800	10.5	2:03	10.2	2:02	10.0	2:01	9.8	2:02	9.7	2:02
1000	12.9	2:31	12.6	2:29	12.3	2:29	12.1	2:30	12.0	2:30
1200	15.4	2:59	15.0	2:57	14.7	2:57	14.4	2:58	14.3	2:59
1400	17.9	3:26	17.4	3:24	17.0	3:25	16.7	3:26	16.5	3:27
1600	20.5	3:54	19.9	3:52	19.4	3:52	19.0	3:54	18.9	3:55
1800	23.0	4:21	22.4	4:20	21.8	4:20	21.4	4:22	21.3	4:23
2000	25.6	4:49	24.9	4:47	24.2	4:48	23.8	4:50	23.8	4:51
2200	28.2	5:16	27.4	5:15	26.8	5:16	26.3	5:18	26.4	5:19
2400	30.9	5:44	30.0	5:42	29.3	5:43	28.8	5:46	29.0	5:48
2600	33.6	6:11	32.6	6:10	31.9	6:11	31.4	6:14		
2800	36.3	6:38	35.3	6:37	34.5	6:39	34.1	6:42		
3000	39.1	7:06	38.0	7:05	37.2	7:07	36.8	7:10		
3200	41.9	7:33	40.8	7:33	39.9	7:35	39.6	7:38		
3400	44.8	8:00	43.5	8:00	42.7	8:02	42.4	8:06		

Fuel Required Adjustments (1000 LB)					
REFERENCE FUEL REQUIRED (1000 LB)	LANDING WEIGHT (1000 LB)				
	80	90	100	110	120
5	-0.5	-0.3	0.0	0.3	0.7
10	-1.0	-0.5	0.0	0.7	1.5
15	-1.5	-0.8	0.0	1.1	2.5
20	-2.1	-1.0	0.0	1.6	3.5
25	-2.6	-1.3	0.0	2.1	4.7
30	-3.1	-1.6	0.0	2.7	6.1
35	-3.7	-1.9	0.0	3.3	7.5
40	-4.2	-2.2	0.0	4.0	9.1
45	-4.8	-2.5	0.0	4.7	10.8

Based on 280/.74 climb, Long Range Cruise speed and .74/250 descent.

Gambar 3.5. Contoh FCOM B737-300^[9].

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 LB)	TIME (HR:MIN)	FUEL (1000 LB)	TIME (HR:MIN)	FUEL (1000 LB)	TIME (HR:MIN)	FUEL (1000 LB)	TIME (HR:MIN)	FUEL (1000 LB)	TIME (HR:MIN)
200	3.3	0:38	3.3	0:37	3.3	0:37	3.3	0:37	3.3	0:37
400	5.5	1:09	5.5	1:07	5.4	1:06	5.3	1:05	5.3	1:04
600	7.8	1:39	7.7	1:37	7.5	1:35	7.4	1:33	7.3	1:32
800	10.1	2:10	9.9	2:07	9.7	2:04	9.5	2:01	9.3	2:00
1000	12.4	2:40	12.1	2:36	11.8	2:32	11.6	2:29	11.4	2:27
1200	14.7	3:09	14.4	3:05	14.1	3:00	13.7	2:57	13.5	2:54
1400	17.1	3:39	16.7	3:33	16.3	3:28	15.9	3:24	15.6	3:22
1600	19.5	4:08	19.0	4:02	18.5	3:56	18.1	3:52	17.7	3:49
1800	21.9	4:38	21.3	4:31	20.8	4:24	20.2	4:20	19.9	4:16
2000	24.3	5:07	23.6	4:59	23.0	4:52	22.4	4:47	22.0	4:43
2200	26.8	5:36	26.1	5:27	25.4	5:19	24.7	5:14	24.2	5:10
2400	29.3	6:04	28.5	5:55	27.7	5:47	27.0	5:42	26.5	5:37
2600	31.8	6:32	30.9	6:23	30.1	6:14	29.3	6:09	28.8	6:04
2800	34.3	7:01	33.3	6:50	32.4	6:42	31.6	6:36	31.1	6:31
3000	36.8	7:29	35.8	7:18	34.8	7:09	33.8	7:03	33.3	6:58
3200	39.4	7:57	38.3	7:45	37.2	7:36	36.3	7:30	35.8	7:24
3400	42.1	8:24	40.9	8:12	39.7	8:03	38.7	7:57	38.3	7:51
3600	44.7	8:52	43.4	8:40	42.2	8:30	41.1	8:23	40.7	8:17
3800	47.3	9:19	46.0	9:07	44.7	8:57	43.6	8:50	43.2	8:44
4000	49.9	9:47	48.5	9:34	47.2	9:24	46.0	9:17	45.7	9:11
4200	52.7	10:13	51.2	10:01	49.8	9:50	48.7	9:43	48.1	9:37
4400	55.5	10:40	53.9	10:27	52.4	10:17	51.3	10:10	50.6	10:04
4600	58.3	11:07	56.6	10:54	55.1	10:43	54.0	10:36	53.1	10:30
4800	61.0	11:34	59.3	11:21	57.7	11:10	56.6	11:03	55.6	10:57
5000	63.8	12:01	62.0	11:48	60.4	11:37	59.3	11:29	58.0	11:24

Fuel Required Adjustments (1000 LB)						
REFERENCE FUEL REQUIRED (1000 LB)	LANDING WEIGHT (1000 LB)					
	80	90	100	110	120	
10	-1.2	-0.8	-0.4	0.0	0.8	1.2
20	-2.3	-1.6	-0.8	0.0	1.3	2.8
30	-3.6	-2.5	-1.3	0.0	2.1	4.6
40	-4.8	-3.3	-1.7	0.0	3.1	6.8
50	-6.1	-4.2	-2.1	0.0	4.3	9.2
60	-7.4	-5.1	-2.6	0.0	5.6	12.0

Based on 280/.78 climb, Long Range Cruise and .78/280/250 descent.

Gambar 3.6. Contoh FCOM B737-700^[10].

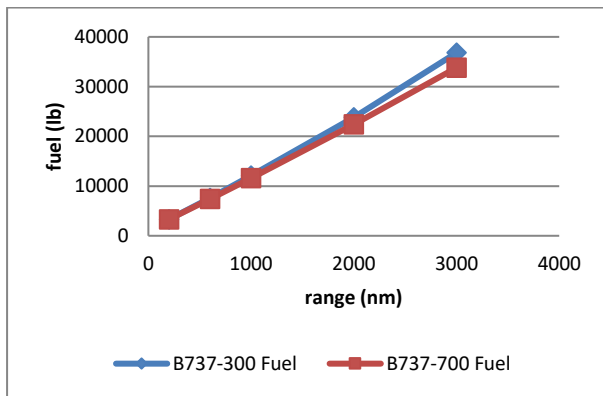
Konsumsi bahan bakar pada kedua pesawat ditentukan dengan tinggi terbang dan jarak terbang yang sama dan pada berat landing yang mirip. Jarak terbang divariasikan pada 200, 600, 1000, 2000, dan 3000 nm. Tinggi terbang dipilih 35000 feet (kecuali pada jarak 200 nm dan 600 nm). Berat Adjust landing dipilih pada berat yang tidak memerlukan perhitungan koreksi berat. Berat landing B737-300 dipilih 100.000 lb dan berat landing B737-700 dipilih 110.000 lb. Berat landing adalah penjumlahan berat payload dan berat OEW.

Tabel 3.1 Perhitungan konsumsi *fuel*

	Jarak (nm)	200	600	1000	2000	3000
	B733	Fuel (lb)	3300	7600	12100	23800
fuel/LW		3.30%	7.60%	12.10%	23.80%	36.80%
fuel/OEW		4.56%	10.50%	16.72%	32.89%	50.86%
B737	Fuel (lb)	3300	7400	11600	22400	33800
	fuel/LW	3.00%	6.73%	10.55%	20.36%	30.73%
	fuel/OEW	3.98%	8.92%	13.98%	26.99%	40.72%

Hasil penentuan fuel burn terdapat pada **Tabel 3.1**. Grafik fuel burn berdasarkan tabel 3.1 seperti pada gambar 3.7. Grafik memperlihatkan konsumsi bahan bakar B737-700 lebih

rendah daripada B737-300 meskipun beratnya lebih besar.



Gambar 3.7 Konsumsi fuel

Pada jarak 200 nm konsumsi bahan bakar kedua pesawat masih sama dan perbedaan konsumsi meningkat dengan bertambahnya jarak terbang. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan konsumsi bahan bakar dengan menggunakan tipe pesawat baru lebih signifikan pada jarak yang lebih jauh.

3.3 Perhitungan Emisi

Emisi CO₂ pada terbang jelajah ditentukan dengan persamaan 2.1 akan menghasilkan data seperti pada tabel 3.2. Emisi CO₂ sebesar 23,60 kg/nm pada rute pendek dan kurang dari 18 kg/nm pada rute yang lebih jauh.

Tabel 3.2 Estimasi emisi CO₂

	Jarak (nm)	200	600	1000	2000	3000
B733	Fuel (lb)	3300	7600	12100	23800	36800
	Emisi CO ₂ (kg)	4719	10869	17304	34036	52628
	Emisi CO ₂ (kg/nm)	23.60	18.11	17.30	17.02	17.54
B737	Fuel (lb)	3300	7400	11600	22400	33800
	Emisi CO ₂ (kg)	4719	10583	16589	32034	48337
	Emisi CO ₂ (kg/nm)	23.60	17.64	16.59	16.02	16.11

Emisi CO₂ per jarak menurun dengan bertambahnya jarak tetapi naik pada jarak 3000 nm. Hal ini menunjukkan pesawat memiliki jarak yang efisien menurut konsumsi bahan bakar dan emisi yang dihasilkan.

Pada rute domestik Indonesia, penerbangan CGK-UPG menghasilkan emisi CO₂ terbesar meskipun frekuensi penerbangan ini bukan yang terpadat. Besarnya Emisi CO₂ karena jarak yang lebih jauh dibandingkan empat rute sibuk lainnya (CGK-SUB, CGK-KNO, CGK-DPS, CGK-JOG)^[11].

Perbandingan emisi pada **Tabel 3.2** menunjukkan penurunan emisi pada pesawat B737-700 dibandingkan pesawat B737-300. Hal ini menegaskan bahwa penurunan emisi lebih dipengaruhi oleh teknologi engine yang lebih hemat bahan bakar daripada teknologi struktur yang lebih ringan.

3.4 Analisis

Perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan meskipun pengembangan desain pesawat menghasilkan berat kosong pesawat yang bertambah, berat engine bertambah, dan berat maksimum take off bertambah, konsumsi bahan bakar dan emisi CO₂ berkurang. Penambahan berat kosong memiliki tujuan untuk menambah kapasitas dan jangkauan terbang, atau meningkatkan kemampuan membawa payload dan jumlah fuel. Pada pesawat B737-800 yang dioperasikan di Indonesia, sebagian besar jarak yang diterbangi hanya 33% dari desain range maksimum dan membawa 80-85% dari desain payload maksimum. Rute terjauh hanya 67% dari range maksimum^[12]. Kondisi ini mempengaruhi efisiensi penurunan emisi berdasarkan desain tipe pesawat. Penambahan berat akibat penambahan kapasitas tangki bahan bakar dan penambahan kapasitas payload tidak digunakan dengan maksimal. Penurunan Emisi CO₂ per penumpang atau per nm jarak menjadi kurang signifikan.

Usaha untuk menurunkan emisi juga harus memperhitungkan Life Cycle Assesment (LCA). Penurunan emisi dari pesawat tipe baru harus lebih besar daripada penambahan emisi akibat proses desain, tes, dan produksi pesawat tipe

baru tersebut^[13]. Salah satu yang diperhitungkan pada LCA adalah umur pakai dari pesawat. Pengembangan desain pesawat baru yang terlalu cepat sehingga operator berganti tipe pesawat terlalu cepat dapat mengakibatkan usia pakai tipe pesawat lama lebih rendah atau kurang dari perencanaan usia pakai pesawat menurut desain awal. Penurunan emisi seharusnya tidak menghasilkan limbah pesawat tidak terpakai yang terlalu cepat.

Pengembangan desain dengan hanya mengganti engine dengan tipe yang lebih hemat bahan bakar tanpa banyak merubah desain struktur dilakukan pada beberapa pengembangan tipe pesawat. A320neo dan B737 max merupakan contoh pengembangan desain A320 dan B737NG dengan mengganti tipe engine.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari pembahasan yang telah dilakukan adalah:

1. Pengembangan desain pesawat baru pada umumnya menghasilkan OEW, MTOW, dan persentase OEW/MTOW lebih besar daripada pesawat desain sebelumnya.
2. Perkembangan teknologi propulsi memiliki kontribusi yang lebih besar pada penurunan emisi daripada perkembangan teknologi struktur ringan.
3. Pengembangan desain pesawat baru harus mempertimbangkan efektifitas penurunan emisi berdasarkan kebutuhan payload dan range, serta masa pakai pesawat udara.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ____, 2013. *IATA Technology RoadMap*. 4th edition. German Aerospace Center and Georgia Institute of Technology.
- [2] ____, 2005. Reducing Aviation Emissions, The Manufacturer's Perspective. ICAO. www.icao.int, diakses 1 Januari 2019.
- [3] Umaro, Shafrizal. 2016. Analisa Perbandingan MTOW, OEW, dan

MZFW untuk Kebutuhan Desain Konseptual Berat Pesawat Transport Komersial. *Tugas Akhir*. Fakultas Teknologi Kedirgantaraan. Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma. Jakarta.

- [4] IPCC.1990. *IPCC First Assessment Report. Volume III : WG III Formulation of Response Option Strategies*.
- [5] ____, Boeing. 2005. 737 Airplane Characteristic for Airport Planning. Boeing Commercial Airplanes.
- [6] ____, Boeing. 2018. 737 MAX Airplane Characteristic for Airport Planning. Boeing Commercial Airplanes.
- [7] ____, Airbus. 2016. A320 Aircraft Characteristic Airport and Maintenance Planning. Airbus SAS. Blagnac.
- [8] ____, Boeing. 2005. 737-300 Flight Crew Operation Manual. The Boeing Company.
- [9] ____, Boeing. 2005. 737-300 Flight Crew Operation Manual. The Boeing Company.
- [10] ____, Boeing. 2014. 737-600/-700/-800/-900/-900ER Flight Crew Operation Manual. The Boeing Company.
- [11] Hermawan, Rizky. 2017. Perhitungan Emisi Pada Lima Rute Domestik Terpadat di Indonesia Berdasarkan Tipe Pesawat. *Tugas Akhir*. Fakultas Teknologi Kedirgantaraan. Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma. Jakarta.
- [12] Nofiandi, Ilma. 2018. Perbandingan Payload Range Pesawat Boeing 737-800 Antara Desain dan Operasional Menurut Rute Domestik. *Tugas Akhir*. Fakultas Teknologi Kedirgantaraan. Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma. Jakarta.
- [13] Verstraete, Jeroen. 2012. Creating a Life-Cycle Assesment of an Aircraft. Department of Auatomotive and Aeronautical Engineering. Hamburg University of Applied Sciences. Hamburg.

