



TUGAS AKHIR - RC-14-1501

ANALISIS PERTUMBUHAN PENGGUNAAN PESAWAT TERHADAP BEBAN EMISI KARBON BANDAR UDARA INTERNASIONAL JUANDA

MOCHAMAD SONY FAHRIZAL
NRP 3112100093

Dosen Pembimbing
Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D.
Dr. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



TUGAS AKHIR - RC-14-1501

ANALISIS PERTUMBUHAN PENGGUNAAN PESAWAT TERHADAP BEBAN EMISI KARBON BANDAR UDARA INTERNASIONAL JUANDA

MOCHAMAD SONY FAHRIZAL
NRP 3112100093

Dosen Pembimbing

1. Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D.
2. Dr. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT - RC-14-1501

ANALYSIS OF AIRCRAFT GROWTH IMPACT ON CARBON EMISSION LOAD TOWARDS JUANDA INTERNATIONAL AIRPORT

MOCHAMAD SONY FAHRIZAL
NRP 3112100093

Dosen Pembimbing

1. Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D.
2. Dr. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

**ANALISIS PERTUMBUHAN PENGGUNAAN PESAWAT
TERHADAP BEBAN EMISI KARBON
BANDAR UDARA INTERNASIONAL JUANDA**

TUGAS AKHIR

Dijukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Transportasi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
MOCHAMAD SONY FAHRIZAL
NRP. 3112100093

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1.  Ervina Alhyudanari, ME., Ph.D(Pembimbing I)

2.  Dr. Arie Dipareza Syafei, ST, MEPM(Pembimbing II)

**Surabaya
Juli, 2016**

**ANALISIS PERTUMBUHAN PENGGUNAAN PESAWAT
TERHADAP BEBAN EMISI KARBON
BANDAR UDARA INTERNASIONAL JUANDA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Transportasi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MOCHAMAD SONY FAHRIZAL
NRP. 3112100093

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D.....(Pembimbing I)
2. Dr. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM(Pembimbing II)

**Surabaya
Juli, 2016**

ANALISIS PERTUMBUHAN PENGGUNAAN PESAWAT TERHADAP BEBAN EMISI KARBON BANDAR UDARA INTERNASIONAL JUANDA

Nama Mahasiswa : Mochamad Sony Fahrizal
NRP : 3112100093
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Ervina Ahyudanari, M.E., Ph.D.
2. Dr. Arie Dipareza Syafei, S.T, MEPM

ABSTRAK

Transportasi memegang peranan penting dalam kehidupan sehari-hari. Manusia melakukan proses transportasi setiap hari, baik dengan jarak pendek, maupun jarak jauh. Kebutuhan akan moda transportasi yang cepat dan efektif semakin meningkat. Salah satu moda transportasi yang memiliki kedua nilai tersebut adalah pesawat terbang. Hal ini, menyebabkan semakin meningkatnya permintaan masyarakat akan jasa penerbangan. Salah satu instansi yang menyediakan fasilitas dan jasa layanan penerbangan adalah Bandar Udara Internasional Juanda, yang berlokasi di Kota Sidoarjo. Bertempat di daerah kota metropolitan menyebabkan aktivitas penerbangan Bandara Juanda relatif tinggi. Tidak hanya melayani rute penerbangan domestik, tetapi Bandara Juanda juga melayani rute penerbangan internasional.

Di sisi lain, transportasi udara merupakan salah satu penyumbang emisi gas dari bidang transportasi. Aktivitas penerbangan menghasilkan beragam zat yang dapat mencemari udara sekitar bandara dan membahayakan lingkungan. Salah satu zat yang terkandung dalam gas emisi pesawat terbang adalah unsur karbon (C) dalam Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO²) dan senyawa Hidrokarbon (HC). Ketiga zat tersebut dapat membahayakan kesehatan dan merusak lingkungan. Bertentangan dengan Peraturan Presiden Republik Indonesia No.61 Tahun 2011 yang menghimbau untuk melakukan

reduksi emisi gas rumah kaca, belum ada langkah nyata pemerintah atau pihak terkait untuk melakukan upaya kontrol emisi gas di sektor penerbangan. Guna memperoleh solusi untuk mengurangi emisi karbon bandara, perlu dilakukan analisis beban emisi karbon Bandara Juanda akibat pergerakan pesawat.

Pada tugas akhir ini dilakukan analisis dampak pergerakan pesawat terhadap beban emisi karbon Bandar Udara Internasional Juanda. Menggunakan metode exponential smoothing dan ekonometri, diperoleh proyeksi pergerakan pesawat hingga Tahun 2026. Kemudian dilakukan analisis kandungan senyawa CO, HC- dan CO² untuk setiap jenis pesawat yang ditinjau, sehingga diperoleh beban emisi pesawat per unit, yang selanjutnya dihubungkan dengan volume penerbangan dan diperoleh beban emisi total Bandara Juanda tahunan hingga Tahun 2026. Beban emisi maksimum terjadi pada Tahun 2025 dengan konsentrasi CO sebesar 1505,611 Lbs, HC- sebesar 5,867 Lbs dan CO² sebesar $2,35 \times 10^9$ Lbs. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa emisi terbesar akibat pergerakan pesawat adalah senyawa CO² yang dapat memicu efek rumah kaca dan pemanasan global, sementara CO dan HC-, yang dapat membahayakan kesehatan dan lingkungan, juga memiliki konsentrasi dalam emisi pesawat. Selain itu, ketiga senyawa tersebut memiliki pola persebaran yang serupa. Diharapkan hasil analisis tersebut dapat dijadikan acuan dalam pengembangan Bandara Juanda yang memperhatikan lingkungan, serta dapat memberikan solusi penanggulangan beban emisi karbon Bandar Udara Internasional Juanda akibat pergerakan pesawat.

Kata Kunci: Transportasi, Pesawat, Bandara, Emisi, Karbon.

ANALYSIS OF AIRCRAFT GROWTH IMPACT ON CARBON EMISSION LOAD TOWARDS JUANDA INTERNATIONAL AIRPORT

Student Name : Mochamad Sony Fahrizal
NRP : 3112100093
Department : Civil Engineering FTSP-ITS
Lecturer Supervisors : 1. Ir. Ervina Ahyudanari, M.E., Ph.D.
2. Dr. Arie Dipareza Syafei, S.T, MEPM

ABSTRACT

Transportation holds significant role in our daily life. People conduct moving activities everyday, whether in short or distant range. The need of transportation modes which provide fast and effective services are increasing. One of the transportation modes which provide both aspects is airplane. This causes the increase on the demand of air transport services. One of the air transport service providers is Juanda International Airport in Sidoarjo. Located around big cities in East Java, makes Juanda Airport have high frequency of flight activities. Not only serving for domestic flights, but also international flights.

On the other hand, air transportation is one of the contributors of gas emission in transportation sector. Air transport activity produces several compounds which pollute the airport airspace and endanger its surroundings. One of the molecules in aircraft emission is Carbon in Carbon monoxide (CO), Carbon dioxide (CO₂) and Hydrocarbon (HC-). Those three gaseous substances might cause bad effects on health and environment. In contrary with Indonesian Government regulation No. 61 2011 which urges all sectors to reduce the production of Green House Gases, there has been no concrete action by Indonesian Government or other related figures to contain this issue about airport emission. In order to solve this issue, analysis of airport emission load as the effect of air transport activities should be made, including in Juanda Airport.

This paper contains analysis of air transport activities and growth effects upon carbon emission load of Juanda International Airport. Using exponential smoothing and econometric methods, the air transport activities are projected until 2026. Then, the concentration analysis is conducted to get emission load for CO, HC- and CO₂ for each aircraft type. The result is combined with air transport activities forecasting result to produce Juanda Airport annual emission load until 2026. The maximum emission load happens on 2025 with CO concentration of 1505,611 Lbs, HC- concentration of 5,867 Lbs and CO concentration of $2,35 \times 10^9$ Lbs. The result shows that the greatest emission load is caused by CO₂ which can trigger greenhouse effect on earth and climate change. On the other hand, CO and HC- which may harm the environment and health are proven to be other emission contents. Furthermore, those three compounds have the similar distribution style each other. This analysis results are expected to help the development of Juanda Airport which concerns about environmental issues and referred in determining solutions to overcome emission problem caused by air transport activities.

Key words : *Transportation, Aircraft, Airport, Emission, Carbon.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita haturkan kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pengasih. Oleh anugerah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Pertumbuhan Penggunaan Pesawat terhadap Beban Emisi Karbon Bandar Udara Internasional Juanda” dengan baik dan tepat pada waktunya.

Adapun Tugas akhir ini dibuat dengan tujuan untuk memenuhi syarat kelulusan Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya. Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab yang berisi satu bab pendahuluan, satu bab tinjauan pustaka, satu bab metodologi, satu bab data dan analisis, serta satu bab penutup. Semua informasi yang disajikan di dalam Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam bidang transportasi dan lingkungan, khususnya transportasi udara. Tugas Akhir ini bersifat terbuka, sehingga mampu menerima penyempurnaan-penyempurnaan demi kebaikan bersama.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan yang ada, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu, bapak, dan adik atas doa dan dukungan yang senantiasa dicurahkan kepada penulis.
2. Ibu Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D., selaku dosen pembimbing 1 dan dosen wali, yang tidak hanya memberikan arahan dalam hal akademik, tapi juga memberikan teladan dan dukungan baik secara fisik maupun psikologis.
3. Bapak Dr. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM, selaku dosen pembimbing 2 yang sangat membantu penulis dalam menyempurnakan tugas akhir ini dan memberikan pengetahuan baru kepada penulis.
4. Jawahirul Mahbubi, Arizky Rachmad Sudewo, S.T. dan keluarga besar *Sampoerna Foundation* dan *Sampoerna*

Academy yang telah membantu penulis dalam memahami proses peramalan dan senantiasa memberikan dukungan.

5. Teman-teman S-55 yang selalu memberikan pengalaman baru untuk penulis. Semoga kita semua bisa memberikan kontribusi yang luar biasa terhadap negeri ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari kekurangan, baik yang berupa isi, teknik penulisan, maupun hal lain. Dari kenyataan tersebut, penulis berharap adanya saran maupun kritik positif sebagai bahan evaluasi dan penyempurnaan sebagai bahan pembelajaran di masa mendatang.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	ii
Abstrak	iii
Abstract	v
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi.....	ix
Daftar Tabel.....	xi
Daftar Gambar.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Lokasi Studi.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pola Pergerakan Pesawat.....	7
2.2 Karakteristik Pesawat	9
2.3 Peramalan dalam Industri Penerbangan.....	12
2.4 Model Ekonometri.....	15
2.5 Teori Emisi	17
2.6 Kandungan Karbon pada Gas Buang Pesawat.....	19
2.7 Lapisan Udara (Atmosfer).....	21
2.8 Temperatur Kelembaban dan Tekanan Udara.....	25
2.9 Angin dan Kecepatan Pesawat.....	27
2.10 <i>Thrust</i>	29
2.11 <i>Exponential Smoothing</i>	31
BAB III METODOLOGI.....	33
3.1 Identifikasi Masalah.....	33
3.2 Studi Literatur.....	33
3.3 Pengumpulan Data.....	34
3.4 Analisis Data dan Perhitungan.....	35
3.5 Kesimpulan dan Saran	35

3.6	Bagan Alir Penyusunan Tugas Akhir	35
3.7	Jadwal Kegiatan Penyusunan Tugas Akhir	37
	BAB IV DATA DAN ANALISIS.....	39
4.1	Analisis Beban Emisi Pesawat Per Unit	39
4.2	Peramalan Penerbangan Metode Ekonometri	60
4.3	Permodelan Emisi Karbon Total Bandara Juanda	66
	BAB V PENUTUP	73
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran	73
	DAFTAR PUSTAKA	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Mesin Pesawat <i>Turbojet</i>	10
Tabel 2.2	Karakteristik Kinerja Mesin Pesawat.....	11
Tabel 2.3	Konsumsi Bahan Bakar Rerata Pesawat.....	11
Tabel 2.4	Variabel Permintaan dan Aplikasinya	15
Tabel 2.5	Kandungan Gas Buang Pesawat Bandara Satolas 1987 – 1994 (Ton)	19
Tabel 2.6	Estimasi Kandungan Polutan Akibat Aktivitas Mesin Pesawat Terbang.....	21
Tabel 2.7	Tabel Atmosfer Standard.....	27
Tabel 3.1	Jadwal Penyusunan Tugas Akhir.....	37
Tabel 4.1	Rekapitulasi Pergerakan Pesawat Bandara Juanda per Tahun.....	40
Tabel 4.2	Spesifikasi Mesin Pesawat yang Beroperasi di Terminal 1 Bandara Juanda	43
Tabel 4.3	Jarak Tempuh Pesawat yang Beroperasi di Terminal 1 Juanda	44
Tabel 4.4	<i>Block Fuel Estimate</i>	49
Tabel 4.5	Analisis <i>Block Fuel Estimate</i>	50
Tabel 4.6	Analisis <i>Total Actual Takeoff Weight</i>	50
Tabel 4.7	Analisis <i>Total Thrust</i>	53
Tabel 4.8	<i>Specific Fuel Consumption</i>	53
Tabel 4.9	Konsumsi Bahan Bakar Riil	54
Tabel 4.10	Faktor Emisi (Kg/LTO)	55
Tabel 4.11	Faktor Emisi (Lbs/LTO)	55
Tabel 4.12	Rasio Bahan Bakar.....	56
Tabel 4.13	Faktor Emisi (Lbs).....	56
Tabel 4.14	Beban Polutan (Lb/H).....	57
Tabel 4.15	Durasi Terbang (Hour).....	58
Tabel 4.16	Beban Emisi Unit (Lbs).....	58
Tabel 4.17	Hasil Regresi Ekonometri GDP dan Penduduk terhadap Volume Penerbangan	61
Tabel 4.18	Hasil Regresi Ekonometri Penduduk terhadap Volume Penerbangan.....	62

Tabel 4.19	Pengaruh Faktor Penduduk terhadap Regresi Penerbangan.....	62
Tabel 4.20	Peramalan Pertumbuhan Penduduk Menggunakan <i>Exponential Smoothing</i>	64
Tabel 4.21	Peramalan Pergerakan Pesawat Bandara Juanda hingga 2026 Metode Ekonometri.....	65
Tabel 4.22	Rerata Beban Karbon Seluruh Pesawat	66
Tabel 4.23	Emisi Tahunan Bandara Juanda untuk CO, HC- dan CO2.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lokasi Bandar Udara Internasional Juanda.....	5
Gambar 2.1	Radius Putar Pesawat	8
Gambar 2.2	Fase Gerak Pesawat Tipe A320 di Ruang Udara 8	
Gambar 2.3	Pengguna Transportasi Udara Dunia.....	13
Gambar 2.4	Keberangkatan Pesawat.....	13
Gambar 2.5	Skema Pengambilan Sampel Emisi Mesin Jet ...	20
Gambar 2.6	Lapisan-Lapisan Atmosfer	24
Gambar 2.7	Koreksi Terhadap <i>Crosswind</i>	28
Gambar 3.1	Bagan Alir Penyusunan Tugas Akhir.....	36
Gambar 4.1	Grafik <i>Payload</i> untuk Pesawat A320	45
Gambar 4.2	Grafik <i>Payload</i> untuk Pesawat ATR-72.....	46
Gambar 4.3	Grafik <i>Payload</i> untuk Pesawat B737-300	46
Gambar 4.4	Grafik <i>Payload</i> untuk Pesawat B737-400	47
Gambar 4.5	Grafik <i>Payload</i> untuk Pesawat B737-500	47
Gambar 4.6	Grafik <i>Payload</i> untuk Pesawat B737-800	48
Gambar 4.7	Grafik <i>Payload</i> untuk Pesawat B737-900	48
Gambar 4.8	Beban Emisi Karbon Pesawat Per Unit.....	59
Gambar 4.9	Beban Emisi CO dan HC- Pesawat Per Unit.....	60
Gambar 4.10	Emisi CO ₂ Juanda Tahunan	69
Gambar 4.11	Emisi CO Juanda Tahunan	70
Gambar 4.12	Emisi HC- Juanda Tahunan.....	71

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi merupakan kegiatan berpindah tempat, dari satu titik ke titik lain menggunakan media tertentu. Dalam kegiatan sehari-hari, manusia melakukan beragam kegiatan transportasi, baik dalam jarak dekat maupun jauh. Dalam melakukan kegiatan transportasi, manusia menggunakan berbagai jenis media transportasi, antara lain: kaki, hewan, kendaraan tidak bermotor, hingga kendaraan bermotor, seperti: mobil, kereta, kapal dan pesawat.

Dewasa ini, kebutuhan akan media transportasi yang cepat dan efektif semakin meningkat, salah satunya adalah kebutuhan manusia akan media transportasi udara, pesawat terbang. Permintaan layanan penerbangan semakin meningkat dari tahun ke tahun, hal ini disebabkan karena waktu perjalanan dengan pesawat terbang yang singkat dan tidak mengalami gangguan lalu lintas, seperti kemacetan. Oleh karena itu, pertumbuhan dan perkembangan fasilitas penerbangan punjuga semakin meningkat.

Bandar Udara (Bandara) Internasional Juanda merupakan salah satu penyedia fasilitas dan jasa layanan penerbangan yang berlokasi di Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia. Sebagai bandara utama yang berlokasi di dekat kota metropolitan, Surabaya, permintaan jasa layanan penerbangan relatif tinggi. Tidak hanya melayani rute penerbangan domestik, Bandara Juanda juga melayani penerbangan Internasional. Bahkan menurut data, rute penerbangan Bandara Juanda (Surabaya-Jakarta) merupakan salah satu dari 5 rute penerbangan tersibuk di dunia. Hal tersebut diprediksi akan semakin meningkat melihat perkembangan tren penggunaan jasa penerbangan.

Di sisi lain, tidak dapat dipungkiri bahwa, aktivitas penerbangan merupakan salah satu penyumbang pencemaran udara dalam bidang transportasi. Gas yang dihasilkan oleh

aktivitas penerbangan mengandung berbagai zat yang dapat membahayakan lingkungan sekitar bandara, salah satunya adalah karbon (C). Karbon merupakan salah satu zat yang dapat mencemari lingkungan, mulai dari: perusakan lapisan ozon, pemicu perubahan iklim, perusakan ekosistem, hingga pemicu gangguan kesehatan. Unsur karbon hasil aktivitas penerbangan sebagian besar bersumber dari aktivitas pembakaran pada mesin pesawat terbang. Senyawa hasil pembakaran bahan bakar pesawat terbang yang mengandung karbon, antara lain: Karbon monoksida (CO), Karbon dioksida (CO₂) dan Hidrokarbon (HC).

Sesuai dengan Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 61 Tahun 2011, yang bertujuan untuk menurunkan kadar gas-gas rumah kaca, salah satunya karbon, sebesar 26% - 41% di semua bidang, maka perlu dilakukan kontrol emisi gas pada setiap ranah. Pada bidang transportasi, telah banyak dilakukan upaya penurunan emisi gas untuk moda transportasi darat. Akan tetapi, belum ada langkah pemerintah ataupun instansi terkait, untuk melakukan kontrol emisi gas pada moda transportasi udara. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu analisis terkait beban emisi gas (karbon) yang dihasilkan dari pergerakan pesawat, sebagai moda utama transportasi udara di bandara. Diharapkan, hasil analisis tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam mengetahui beban emisi karbon bandara dan menentukan langkah penurunan emisi gas (karbon) di bandara.

1.2 Rumusan Masalah

Guna melakukan analisis pengaruh pergerakan pesawat terhadap beban emisi yang ditanggung oleh Bandara Juanda, maka perlu dirumuskan beberapa permasalahan, antara lain:

1. Bagaimana pola pergerakan pesawat yang telah ada di Bandar Udara Internasional Juanda?
2. Bagaimana pola pertumbuhan dan perkembangan terkait pengguna dan penyedia jasa penerbangan yang ada di Juanda?

3. Bagaimana mengetahui kondisi emisi gas karbon akibat pergerakan pesawat di Bandar Udara Internasional Juanda?

1.3 Tujuan

Beberapa hal yang ingin dicapai melalui penyusunan tugas analisis pergerakan pesawat terhadap beban emisi karbon Bandar Udara Internasional Juanda, antara lain:

1. Mengetahui pola pergerakan pesawat yang telah ada di Bandar Udara Internasional Juanda
2. Mengetahui pola pertumbuhan dan perkembangan terkait pengguna dan penyedia jasa penerbangan yang ada di Juanda
3. Mengetahui kondisi beban emisi gas karbon akibat pergerakan pesawat di Bandar Udara Internasional Juanda

1.4 Manfaat

Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari hasil dan proses analisis pergerakan pesawat terhadap beban emisi karbon Bandara Juanda, antara lain:

- Diharapkan hasil analisis dapat menunjukkan beban emisi karbon Bandar Udara Internasional Juanda.
- Diharapkan hasil analisis beban emisi karbon Bandar Udara Internasional Juanda dapat menjadi acuan pengembangan Bandara yang memperhatikan lingkungan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah merupakan hal-hal yang menjadi batasan dalam pengerjaan tugas akhir ini dan tidak termasuk dalam proses analisis. Penyusunan batasan masalah dimaksudkan, agar analisis yang dilakukan tidak terlalu melebar dari topik yang telah ditentukan dan variabel-variabel yang terlibat dalam analisis dapat diidentifikasi dengan mudah. Berikut merupakan batasan

masalah tugas akhir analisis pergerakan pesawat terhadap beban emisi karbon Bandar Udara Internasional Juanda:

1. Jenis gas yang dianalisis adalah gas yang mengandung unsur Karbon (C) saja
2. Analisis pertumbuhan pengguna dan penyedia jasa penerbangan hanya menggunakan metode regresi linear ekonometri
3. Variabel yang digunakan dalam peramalan atau permodelan pada Tugas Akhir ini, telah ditentukan penulis melalui konsultasi dengan pihak ahli dan dosen pembimbing dengan mempertimbangkan kondisi lapangan
4. Emisi yang dianalisis adalah hasil aktivitas mesin atau pembakaran bahan bakar pesawat, bukan akibat peralatan darat atau utilitas pesawat
5. Analisis beban emisi karbon dilakukan dengan metode permodelan emisi karbon akibat pergerakan pesawat saat *takeoff* di *runway*.
6. Tidak dilakukan pengumpulan data primer (survei lapangan)
7. Tidak dilakukan perencanaan terhadap tata ruang bandara
8. Tidak dilakukan perubahan pola pergerakan pesawat yang telah ada
9. Tidak dilakukan analisis mendalam terkait pengaruh beban emisi sebagai faktor lingkungan terhadap tarif bandara dan pesawat
10. Jenis pesawat yang ditinjau adalah pesawat penumpang, bukan kargo dan militer.

1.6 Lokasi Studi

Lokasi studi analisis pertumbuhan penggunaan pesawat terhadap beban emisi karbon Bandar Udara Internasional Juanda adalah Bandar Udara Internasional Juanda, Jalan Ir. Haji Juanda, Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia, seperti terlihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Lokasi Bandar Udara Internasional Juanda

Sumber: Google Earth, 2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

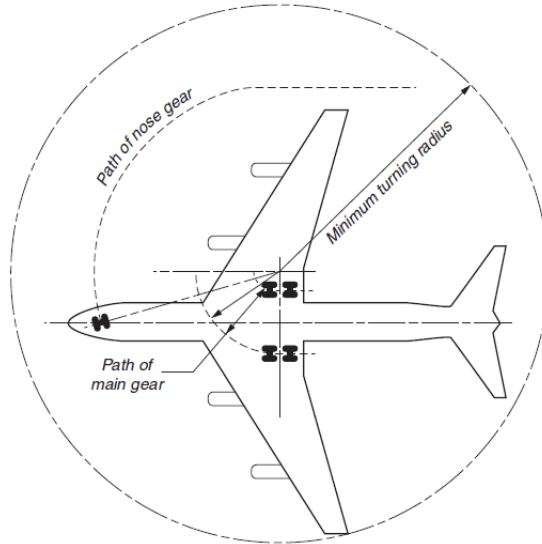
TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini disertakan teori-teori pendukung yang akan digunakan dalam analisis Tugas Akhir Analisis Pertumbuhan Penggunaan Pesawat terhadap Beban Emisi Karbon Bandar Udara Internasional Juanda. Teori pendukung yang dimaksud antara lain: pola pergerakan pesawat, karakteristik pesawat, peramalan dalam industri penerbangan, model ekonometri, teori emisi, kandungan karbon pada gas buang pesawat, dispersi gas, lapisan udara (atmosfer), temperatur, kelembaban dan tekanan udara, angin dan kecepatan pesawat.

2.1 Pola Pergerakan Pesawat

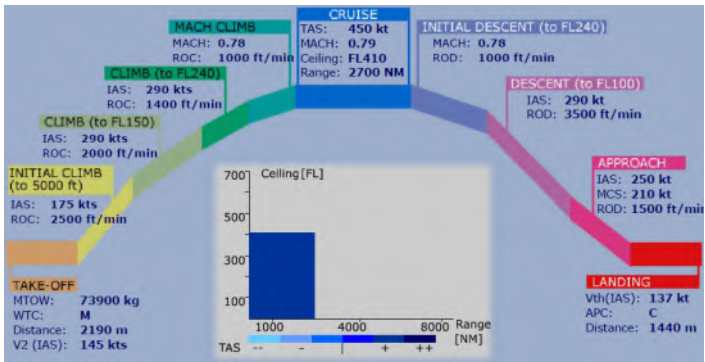
Pola pergerakan yang dimiliki oleh masing-masing jenis pesawat berbeda-beda, tergantung dari ukuran dan fitur-fitur yang dimiliki oleh tiap pesawat. Pada pengerjaan tugas ini, pola pergerakan pesawat yang dianalisis adalah pesawat yang beroperasi di Bandar Udara Juanda dalam periode rencana.

Guna mempermudah analisis pergerakan pesawat, maka dilakukan pemusatan analisis pada pergerakan pesawat saat bergerak di *runway* dan ruang udara. Pada wilayah gerak ruang udara, perlu dilakukan pembagian lagi, menjadi: *Lift-off*, *Climb-out*, *Cruise*, *Descent* dan *Approach*. Pembagian tersebut dilakukan berdasarkan fase-fase yang dialami pesawat. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh beban emisi karbon yang dipikul oleh masing-masing wilayah akibat pergerakan pesawat dengan konfigurasi gerak yang berbeda, baik ketika memutar, melaju ataupun mengudara. Gambar 2.1 dan 2.2 memperlihatkan gambaran simulasi gerak memutar pesawat dan fase gerak pesawat di udara.



Gambar 2.1 Radius Putar Pesawat

Sumber: Horonjeff, 2010



Gambar 2.2 Fase Gerak Pesawat Tipe A320 di Ruang Udara

Sumber: Aircraft Performance Database V2.0

2.2 Karakteristik Pesawat

Karakteristik pesawat yang dimaksud adalah pengklasifikasian jenis pesawat berdasarkan jenis mesin yang digunakan. Hal ini perlu dipertimbangkan karena jenis mesin yang digunakan oleh masing-masing pesawat berbeda-beda dan berpengaruh pada konsumsi bahan bakar, kecepatan, efisiensi, lama waktu terbang, bahkan jarak tempuh penerbangan.

Secara umum, mesin pesawat terbang dibagi menjadi dua kelompok, yakni *turbojet engine* dan *turbofan engine*. Mesin pesawat *turbojet* terdiri dari: kompresor, ruang pembakaran (*combustion chamber*) dan turbin yang terletak pada bagian belakang mesin. Sedangkan pada mesin pesawat *turbofan* memiliki bagian yang sama, namun dilengkapi dengan bilah kipas yang biasanya terletak dibagian depan kompresor. Penambahan kipas ini bertujuan untuk memperbesar *bypass ratio*, perbandingan antara udara yang diteruskan dari pesawat dan yang diserap oleh inti mesin untuk proses pembakaran (*combustion*). Nilai *bypass ratio* berkaitan erat dengan konsumsi bahan bakar pesawat, yang berpengaruh pada tingkat emisivitas mesin pesawat. Semakin tinggi nilai *bypass ratio*, dalam artian semakin banyak udara yang diteruskan daripada dibakar, maka semakin sedikit bahan bakar yang diperlukan, demikian pula sebaliknya, apabila nilai *bypass ratio* semakin kecil, maka pesawat tersebut membutuhkan bahan bakar lebih banyak. (Horonjeff, 2010)

Spesifikasi penggolongan pesawat berdasarkan mesin yang dipakai oleh masing-masing jenis pesawat, *bypass ratio*, kinerja mesin pesawat dan konsumsi bahan bakar pesawat dapat dilihat pada Tabel 2.1, 2.2 dan 2.3 berikut ini:

Tabel 2.1 Klasifikasi Mesin Pesawat *Turbojet*

Engine Family	Manufacturer	Max. Thrust (lb) Aircraft
PW610F	Pratt and Whitney	900 Eclipse 500
PW615F	Pratt and Whitney	1,350 Cessna Mustang
PW617F	Pratt and Whitney	1,700 Embraer Phenom 100
JT8D	Pratt and Whitney	21,000 DC-9, MD-80, SUPER 27
PW6000	Pratt and Whitney	24,000 A318
V2500	Pratt and Whitney	32,000 A-319, A-320, A-321, MD-90
PW2000	Pratt and Whitney	43,000 B-757, C-17, IL-96
JT9D	Pratt and Whitney	56,000 B-747, B-767, A-300, A-310, DC-10
PW4000-94	Pratt and Whitney	62,000 B-747-400, B767-200/300, MD-11, A-300, A-310
PW4000-100	Pratt and Whitney	69,000 A-300-200/300
GP7000	Pratt and Whitney	70,000 A-380
PW4000-112	Pratt and Whitney	98,000 B-777-200/300
RB211-535	Rolls-Royce	43,000 B-757-200/300, Tu-204
Trent 500	Rolls-Royce	56,000 A-340-500/600
RB211-524	Rolls-Royce	61,000 L-1011, B-747-200/400/400/SP/F, B-767-300
Trent 700	Rolls-Royce	71,000 A-330
Engine Family	Manufacturer	Max. Thrust (lb) Aircraft
Trent 900	Rolls-Royce	76,000 A-380
Trent 800	Rolls-Royce	95,000 B-777-200/300
CT7	General Electric	2,100 Bell-214ST, Saab 340a
CF34	General Electric	20,000 CRJ-100-200/700/900, ARJ21, EMBRAER 170,175,190,195
CF6	General Electric	72,000 A-300, A-310, A-330
Genx	General Electric	75,000 8787, B-747-800
GE90	General Electric	115,000 B-777-200/ER/LR/300ER
CFM56-5B	GE/International Aerospace	33,000 A-318, A-319, A-320, A-321
CFM56-3	GE/International Aerospace	24,000 A-737-300/400/500
CFM56-2	GE/International Aerospace	24,000 B-707, KC-135
CFM56-7B	GE/International Aerospace	27,000 B-737-600/700/800/900, BBJ
CFM56-5A	GE/International Aerospace	27,000 A-319, A-320
CFM56-5C	GE/International Aerospace	34,000 A-340-200/300
V2500	International Aero	33,000 A-319, A-320, A-321, ACJ, MD-90

Sumber: Horonjeff, 2010

Tabel 2.2 Karakteristik Kinerja Mesin Pesawat

Aircraft	Engine	Bypass Ratio	Specific Fuel Consumption*
A340	CFM56-5C2	6.4	0.32
B-757	PW2037	6.0	0.33
A-330-300	CF6-80E1A2	5.1	0.33
A320	CFM56-5A1	6.0	0.33
B737-400/500	CFM56-3Ca	6.0	0.33
A-310	PW4152	4.9	0.348
B-767-200	CF6-80A2	4.7	0.35
B-747-400	PW4056	4.9	0.359
B-737-600	CFM56-7B20	5.5	0.36
A-321-200	V2533-A5	4.6	0.37
BA-146-300	LF507	5.6	0.406
MD-80	JT8D-219	1.8	0.519

Sumber: Horonjeff, 2010

**Specific Fuel Consumption* adalah jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menciptakan 1 *pound (lb)* dorongan pesawat (*thrust*).

Tabel 2.3 Konsumsi Bahan Bakar Rerata Pesawat

Aircraft	Engine	Fuel Consumption, lb/h	Fuel Consumption per Engine lb/h
EMB-145	AE3007A	2,253	1,127
A320-200	CFM56-5A3	4,054	2,027
A-319-100	CFM56-5A4	6,966	3,483
B-737-500	FM56-3B1R	7,879	3,940
B-737-200	JT8B-15A	8,829	4,415
B-757-200	RB211-535E4B	11,109	5,555
B-767-300	CF6-802C2B2F	11,893	5,947
A340-300	CFM-56-5C4	16,093	4,023
B-747-200	RB211-524D4	28,638	7,160

Sumber: Horonjeff, 2010

Selain itu, penjelasan dan detail tentang karakteristik pesawat juga disertakan dalam lampiran tugas ini.

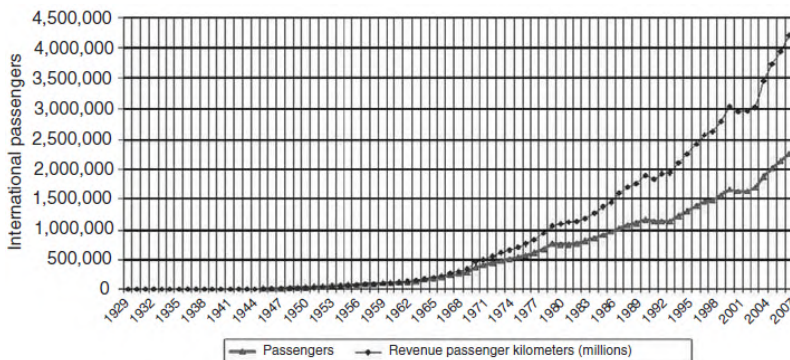
2.3 Peramalan dalam Industri Penerbangan

Memproyeksikan kegiatan perjalanan udara untuk sebuah bandara, kota atau daerah merupakan langkah penting dalam perencanaan bandara. Hasil perkiraan cenderung bersifat subjektif, bergantung berbagai faktor, seperti: sudut pandang, pengalaman, metode dan latar belakang.

Peramalan (pada bidang penerbangan) merupakan usaha untuk menyimulasikan suatu kondisi di masa depan sesuai dengan data historis, pola perkembangan dan skenario permintaan layanan penerbangan di masa depan. Secara internasional, *International Civil Aviation Organization* (ICAO) telah mengumpulkan laju pertumbuhan statistik terkait penggunaan transportasi udara, sejak transportasi udara komersial dioperasikan. Peramalan tersebut didasarkan atas tiga variabel utama, yakni:

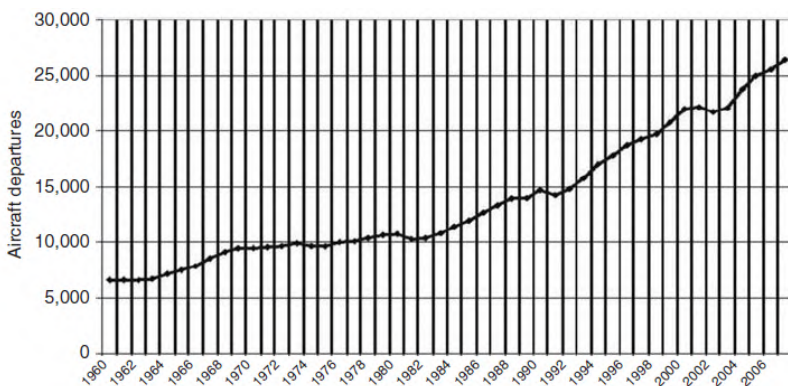
1. Penumpang
2. Pergerakan Pesawat
3. Penumpang-Jarak, atau lebih tepatnya “pendapatan” penumpang, dalam “pendapatan” penumpang-kilometer.

Data statistik menunjukkan, bahwa pengguna transportasi udara selalu meningkat setiap tahun, fenomena ini diikuti dengan semakin tinggi jumlah penerbangan yang dilakukan, seperti terlihat pada Gambar 2.3 dan 2.4.



Gambar 2.3 Pengguna Transportasi Udara Dunia

Sumber: Ashford, 2011



Gambar 2.4 Keberangkatan Pesawat

Sumber: Ashford, 2011

Permintaan terhadap layanan penerbangan sangat dipengaruhi oleh berbagai variabel. Variabel yang digunakan dalam peramalan tidak boleh bersifat ambigu, dapat diukur dan dapat dimodelkan, baik secara matematis mau pun statistik. Permintaan akan transportasi udara sangat erat hubungannya

dengan populasi suatu daerah, motivasi atau tingkat kemauan masing-masing individu untuk melakukan perjalanan udara, kondisi sosioekonomi dan ketersediaan fasilitas penunjang. Terdapat berbagai variabel yang dapat dijadikan sebagai masukan dalam proses peramalan, antara lain: biaya penerbangan, pelayanan penerbangan, pendapatan per kapita, dan lain sebagainya. Dalam meramalkan permintaan penerbangan, perlu diperhatikan beberapa hal, antara lain:

1. Ketersediaan kapasitas; bandara dan ruang udara
2. Kondisi ekonomi; lokal, nasional dan internasional
3. Kondisi sosioekonomi dan demografi
4. Faktor ekonomi yang berhubungan langsung dengan operasi penerbangan bandara.
5. Persaingan antar armada udara
6. Batasan politik dan lingkungan
7. Perkembangan teknologi dalam bidang aeronautika, telekomunikasi, navigasi udara dan sektor lain yang bersangkutan.
8. Keselamatan, keamanan dan kenyamanan penerbangan.

Perencana bandara harus dapat menjangkau aspek-aspek berikut:

- a. Pernyataan tujuan proyek atau peramalan
- b. Keterkaitan dampak peramalan yang dilakukan terhadap bandara
- c. Deskripsi keadaan lingkungan penerbangan dan kondisi unik bandara
- d. Metodologi peramalan, termasuk metode pendekatan, asumsi, mekanika model dan alasan penggunaan metode tersebut.
- e. Asumsi terkait faktor yang berpengaruh pada permintaan dan justifikasinya
- f. Data historis dan bingkai data variabel terkait, termasuk kualitas dan sumber data

g. Keakuratan hasil peramalan terkait rentang ketidakpastian dan batasan.

Tabel 2.4 memberikan detail hubungan pengaruh tiap variabel dengan objek peramalan terkait kegiatan penerbangan.

Tabel 2.4 Variabel Permintaan dan Aplikasinya

Type of influence	Variable	Application
Size and spending ability of market	Population or number of households	Passenger forecasts
	Gross domestic or national product for a country or region	All types of forecasts
	Personal disposable income	Nonbusiness passenger
	Exports	Outbound international freight
Ethnic (or linguistic) ties between areas	Imports	Inbound international freight
	Proportion of population of one area born in other area	Passenger forecasts for route or group of routes
Price of air service	Published tariffs	Route forecasts
	Revenue yield	All types of forecasts
Quality of air service	Departure frequency	Scheduled forecasts
	Number of stops or connections on a route	Scheduled route forecasts
	Travel time	Route forecasts
Access to air transport services	Number of destinations served	Regional forecasts
	Proportion of market within a certain distance or travel time from airport	Airport or route forecasts
	Tariff of a competing air service	Route forecasts
Price and quality of competing service	Departure frequency on competing air service	Route forecasts
	Fare on competing surface transport service	Route forecasts
	Travel time on competing surface transport	Route forecasts

Sumber: Ashford, 2011

Pada peramalan dengan skala daerah atau lokal, beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam meramalkan pertumbuhan jumlah penumpang, antara lain: faktor sosioekonomi dan pergerakan kondisi ekonomi daerah tersebut. (Ashford, 2011)

2.4 Model Ekonometri

Guna meramalkan laju pertumbuhan aktivitas penerbangan, baik dari segi pengguna jasa atau pun penyedia jasa penerbangan, maka digunakan pendekatan ekonometrik. Ekonometrika secara singkat memiliki definisi pengukuran ekonomi (Gujarati, 1983). Dalam pengertian lain, ekonometri

merupakan satu alat analisis yang memiliki tipe model aljabar, atau secara khusus disebut model *stochastic*, yang mengandung satu atau lebih variabel bebas (*random*). (Adhitya, 2007)

Peramalan permintaan dengan metode ekonometri melibatkan berbagai variabel kausal, mulai dari ekonomi, sosial dan operasional. Berdasarkan data historis, perlu dipertimbangkan hubungan kuantitatif antara perjalanan udara dengan variabel-variabel yang mempengaruhinya. Model ekonometri telah digunakan selama bertahun-tahun untuk meramalkan laju pertumbuhan permintaan layanan penerbangan. Selain itu, apabila terjadi perubahan pada variabel dalam peramalan ekonometri selama rentang waktu yang diprediksikan, selama dilakukan kontrol terhadap perubahan tersebut, akan mudah dilakukan penyesuaian perubahan variabel dengan mengubah model ekonometri. (Ashford, 2011)

Guna menunjang proses peramalan menggunakan metode ekonometri dalam penyelesaian tugas akhir ini, maka digunakan program bantu SPSS. Berikut adalah langkah-langkah peramalan dengan menggunakan metode ekonometri:

1. Memilih dan menentukan variabel kausal (yang mungkin berpengaruh pada proses peramalan)
2. Mengumpulkan data dan memastikan keakuratannya
3. Memperjelas dan mengkuantitaskan hubungan fungsional antara variabel kausal dan permintaan layanan udara
4. Melakukan analisis statistik (analisis korelasi, analisis faktor, regresi linear dan nonlinear)
5. Mengamati dan mengevaluasi perkembangan kondisi sesungguhnya dengan hasil permodelan

Pendekatan ekonometri dipilih karena mengandung berbagai variabel yang membantu proses analisis mencapai hasil yang mendekati keadaan nyata. Adapun persamaan yang digunakan adalah persamaan *multiple-linear regression*:

$$Y_{\text{est}} = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + \dots + a_n X_n \quad (2-1)$$

dimana :

Y_{est} = Variabel tetap (Variabel yang dimodelkan)

a_0, a_1, \dots, a_n = Koefisien regresi

X_1, X_2, \dots, X_n = Variabel lain yang mempengaruhi variabel tetap

Adapun beberapa variabel yang akan dipertimbangkan dalam analisis ini, antara lain: tingkat pertumbuhan penduduk (demografi) Kota Surabaya, pendapatan perkapita penduduk berkaitan dengan kemauan dan kemampuan beli masyarakat, tren pertumbuhan sektor penerbangan dan perkembangan tujuan penerbangan (*OD - Origin Destination*) dan kebijakan pemerintah. Guna memperoleh data-data tersebut, akan dilakukan survei sosioekonomi dan kemauan masyarakat menggunakan jasa transportasi udara, serta pengumpulan data dari instansi terkait.

2.5 Teori Emisi

Pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energy dan atau komponen lain ke udara dan berubahnya tekanan udara oleh kegiatan manusia atau proses alam sehingga kualitas udara turun sampai padatingkat tertentu yang menyebabkan udara menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya.

Selain itu, dalam studi tentang pencemaran udara juga dikenal istilah udara ambien. Udara ambien adalah udara bebas dipermukaan bumi pada lapisan troposfir (yang berada didalam wilayah yurisdiksi Republik Indonesia) yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya. (Assomadi, 2010)

Emisi adalah zat, energy dan komponen lain yang dihasilkan dalam suatu kegiatan yang masuk atau dimasukkan

kedalam udara ambien yang mempunyai atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar. (Assomadi, 2010)

Efek dari bandara atau pesawat terbang terhadap kualitas udara sangat kompleks, dampak tersebut tidak hanya ditanggung oleh daerah yang bersentuhan langsung dengan wilayah bandara, akan tetapi juga ditanggung oleh daerah lain, baik dalam skala regional maupun global. Sebagai contoh, emisi yang dihasilkan pesawat, selain menyebar ke daerah sekitar bandara, akan terbawa dan terdispersi di atmosfer saat pesawat mengudara. Hal ini dapat memicu berbagai hal yang dapat membahayakan lingkungan dan kehidupan manusia. (Ashford, 2011)

Dalam menghitung emisi yang diakibatkan oleh suatu benda atau aktivitas, maka perlu diketahui factor emisi masing-masing unsur yang bersangkutan, dalam hal ini Studi lain juga menyebutkan, bahwa kandungan CO (Karbon monoksida), CO₂ (Karbon dioksida) dan HC- (CH₄ - Metana). IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), merupakan suatu badan kerjasama antar pemerintah Negara-negara di dunia dalam mengkaji segala hal yang memberikan dampak dan menjadi sebab fenomena perubahan iklim. IPCC memiliki kumpulan data mengenai factor emisi untuk berbagai jenis gas atau unsur akibat berbagai macam aktivitas manusia, mulai dari industri, domestik, hingga penerbangan. Selain itu, pengguna data juga dapat menyesuaikan daerah atau lokasi serta jenis zat kimia yang dijadikan sebagai bahan bakar atau sumber energi suatu aktivitas.

2.6 Kandungan Karbon pada Gas Buang Pesawat

Secara umum, bahan bakar yang digunakan oleh pesawat terbang yang beroperasi di bandara adalah sama, yakni *avtur*. Oleh karena itu, kandungan gas buang yang dihasilkan akibat aktivitas mesin pesawat pun sama.

Emisi yang dihasilkan oleh mesin pesawat terbang mengandung kurang lebih 70% karbon dioksida (CO_2), kurang dari 30% uap air (H_2O) dan kurang dari 1% senyawa nitrogen (NO_x), karbon monoksida (CO), oksida sulfur (SO_x) dan lainnya. Kandungan kecil zat yang berbahaya yang mudah menguap (VOCs – *Volatile Organic Compounds*) dikategorikan sebagai zat pencemar udara berbahaya (HAPs – *Hazardous Air Pollutants*). Sekitar 10% dari semua emisi pesawat terbang, kecuali hidrokarbon dan karbon monoksida, dihasilkan selama proses *taxiing*, *landing* dan *taking-off*; curahan emisi pesawat terbang lainnya terjadi saat pesawat mendarat. (Ashford, 2011)

Berikut merupakan contoh kandungan gas buang hasil aktivitas pembakaran (*combustion*) yang dilakukan mesin pesawat terbang yang tercantum pada Tabel 2.5:

Tabel 2.5 Kandungan Gas Buang Pesawat Bandara Satolas 1987-1994 (Ton)

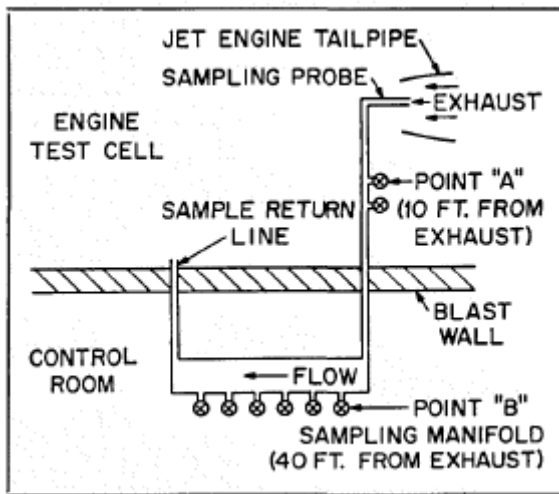
	HC	CO	NO_x	SO_2	CO_2	N_2O
Maximum emissions estimate						
1987	63	187	163	9	41100	4
1990	70	222	254	12	54963	5
1994	55	195	290	12	59458	5
Minimum emissions estimate						
1987	22	84	99	5	27410	2
1990	20	107	179	9	49294	4
1994	19	110	201	9	52932	5
Mean emissions estimate ^a						
1987	43	136	131	7	34255	3
1990	45	164	217	10	52128	5
1994	37	152	245	10	56195	5

Sumber: A. Perl et al, 2001

Dalam analisis ini, yang menjadi fokus adalah emisi yang disebabkan oleh zat karbon pada gas buang pesawat, yaitu:

Hidrokarbon (HC), Karbon Monoksida (CO) dan Karbon Dioksida (CO₂).

Studi lain juga menyebutkan, bahwa kandungan CO, CO₂ dan HC- (CH₄), yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar pesawat dalam jumlah tertentu akan berbeda konsentrasinya tergantung jenis mesin yang digunakan. Dalam percobaan yang dilakukan oleh Eloy R. Lanzo, et al, dilakukan uji emisi terhadap tiga jenis mesin pesawat yang berbeda, yakni: *Turboprop* yang diwakili oleh T-56, *conventional jet* yang diwakili oleh J-57 dan *fan-jet* yang diwakili oleh TF-33. Skema pengukuran dilakukan dengan menempatkan alat uji di beberapa titik pada mesin pesawat dan berjarak 10 – 40 feet dari exhaust pesawat, seperti pada Gambar 2.5, tentang skema pengambilan sampel emisi pada mesin jet pesawat.



Gambar 2.5 Skema Pengambilan Sampel Emisi Mesin Jet

Sumber: Lozano et al, 2012

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan tersebut, didapatkan besar beban beberapa zat emisi hasil dari pembakaran

bahan bakar pesawat, ketika mesin dioperasikan. Tabel 2.6 memuat hasil uji emisi dalam studi tersebut.

Tabel 2.6 Estimasi Kandungan Polutan Akibat Aktivitas Mesin Pesawat Terbang

Pollutant	Take-off		
	T-56	J-57	TF-33
Carbon dioxide (lb/hr)	6800	20000	27900
Carbon monoxide (lb/hr)	3.6	17.5	3.0
Oxides of nitrogen, as NO ₂ (lb/hr)	7.5	53.8	28.4
Nitric oxide (lb/hr)	6.4	44.2	26.3
Total hydrocarbons, as C atoms (lb/hr)	0.3	1.2	2.4
Olefins as C atoms (lb/hr)			
Aromatics, as C atoms (lb/hr)			
Total aldehydes, as HCHO (lb/hr)	0.5	0.5	0.04
Formaldehyde (lb/hr)	0.2	0.4	
Particulates (lb/hr)			16.2
Odor dilution threshold	100	600	75

Sumber: Lozano et al, 2012

2.7 Lapisan Udara (Atmosfer)

Atmosfer merupakan selimut udara yang menyelubungi bumi. Sebagian besar tersusun atas: Nitrogen, Oksigen, uap air dan partikel-partikel kecil lainnya. Lapisan atmosfer berfungsi guna mencegah panas berlebih (*Overheating*), menahan asteroid, menyerap sinar UV dan menampung zat-zat yang dibutuhkan makhluk hidup. (Assomadi, 2010)

Atmosfer Bumi terbagi menjadi empat lapisan, yaitu: Troposfer, Stratosfer, Mesosfer dan Termosfer. Terdapat berbagai fenomena alam di masing-masing lapisan atmosfer. Masing-masing lapisan atmosfer memiliki karakteristik dan ketinggian masing-masing, seperti dijelaskan berikut ini:

1. Troposfer

Troposfer mula dari ketinggian 0 – 10/16 Km. Kondisi panas pada bumi menyebabkan permukaan bumi memiliki suhu yang relatif hangat. Hal ini menyebabkan udara hangat dari permukaan bumi terangkat ke atas, tetapi pada saat bersamaan, udara akan mengalami pendinginan saat mengembang (pendinginan adiabatik). Hal ini menyebabkan struktur troposfer memiliki udara yang hangat di permukaan dan menjadi dingin jika semakin tinggi. Pada lapisan ini, seuruh kondisi cuaca terjadi, termasuk aktivitas pesawat terbang.

2. Stratosfer

Stratosfer memiliki ketinggian berkisar antara 11 – 50 Km. Pada lapisan ini, temperature akan meningkat sesuai dengan ketinggian. Pada bagian dasar stratosfer, temperature dapat mencapai -60°C dan pada puncaknya mencapai 0°C . Fenomena tersebut terjadi karena pada lapisan ini terdapat lapisan ozon (O_3) pada bagian atas lapisan ini, lapisan ozon mampu menjebak sinar UV dari matahari dan menahan panas bumi agar tidak lepas ke angkasa, hal ini lah yang menyebabkan bagian atas stratosfer memiliki suhu yang lebih tinggi daripada bagian bawah.

3. Mesosfer

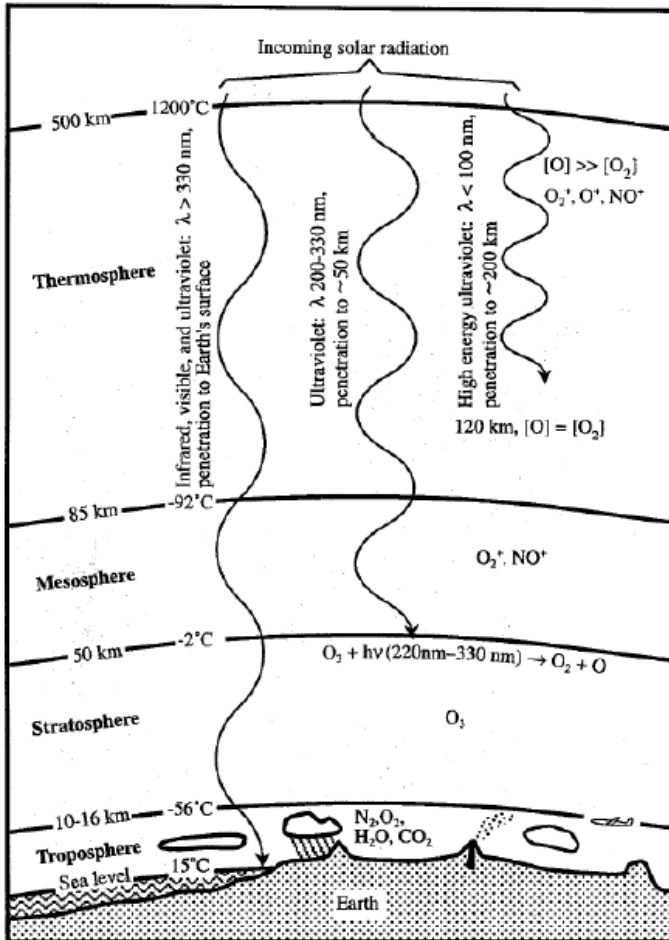
Lapisan Mesosfer memiliki ketinggian berkisar antara 50 – 85 Km. Kondisi suhu pada lapisan ini akan semakin menurun jika semakin tinggi. Hal ini disebabkan kandungan ozon pada lapisan mesosfer semakin sedikit, jika semakin tinggi. Oleh karena itu, kemampuan menyerap sinar ultraviolet dan menahan panas semakin rendah, sehingga temperature smakin menurun siring dengan pertambahan ketinggian.

Suhu terdingin pada mesosfer dapat mencapai -81°C - -100°C pada bagian atas mesosfer, yang disebut Mesopause.

4. Termosfer (Ionosfer)

Lapisan Termosfer (Ionosfer) memiliki ketinggian diatas 85 Km. Pada lapisan ini suhu terluar dapat mencapai hingga 1200°C .

Lapisan-lapisan atmosfer tersebut mempengaruhi perilaku gas buang dari pesawat saat berada pada ketinggian yang bersesuaian dengan masing-masing lapisan tersebut. Gambar 2.6 memberikan gambaran lapisan-lapisan atmosfer beserta kandungan dan ketebalannya, serta fenomena-fenomena yang terjadi pada setiap lapisan.



Gambar 2.6 Lapisan-Lapisan Atmosfer

Sumber: Assomadi, 2010

2.8 Temperatur, Kelembaban dan Tekanan Udara

Dewasa ini, telah berkembang berbagai jenis pesawat terbang dengan berbagai kemampuan untuk menempuh berbagai jarak, ketinggian dan kecepatan tertentu. Kebutuhan *runway* berkaitan dengan keselamatan dan keamanan operasional pesawat, gangguan suara serta konsumsi energy juga menjadi faktor penting dalam transformasi industri penerbangan. Beragam variasi tersebut tidak hanya karena pesawat itu sendiri, melainkan faktor lingkungan tempat operasional juga memegang peran penting dalam dunia penerbangan.

Pesawat pada umumnya didesain untuk mampu beroperasi pada ketinggian dari muka air laut hingga 15.240 m, maka sangatlah penting untuk memahami kondisi lingkungan dan keadaan atmosfer pada rentang ketinggian tersebut. Operasional pesawat dipengaruhi oleh kelembaban (kandungan air dalam udara). Semakin rapat kandungan air dalam udara, membuat pesawat semakin sulit beroperasi, karena udara yang dibutuhkan untuk mengangkat pesawat semakin tipis. Kerapatan/kelembaban udara (*air density*) merupakan fungsi dari tekanan udara (*air pressure*) dan suhu (*air temperature*). Apabila tekanan udara berkurang, maka molekul udara di atmosfer berkurang juga, menyebabkan kerapatan udara menjadi kecil. Sebaliknya, apabila suhu meningkat maka kecepatan gerak antar partikel udara meningkat, sehingga menyebabkan kendurnya ikatan antar molekul udara dan berkurangnya kerapatan udara.

Unit pengukuran kerapatan udara dinyatakan dalam ins raksa (inHg) = mmHg atau bar.

Berikut merupakan hal yang perlu diperhatikan terkait kerapatan udara, suhu dan tekanan udara:

1. Suhu pada permukaan air laut mencapai 59°F atau sama dengan 15°C. (Suhu standard permukaan laut)

2. Tekanan udara pada permukaan laut mencapai 29,92126 inHg atau 1015 mb. (Tekanan Standard permukaan laut)
3. Perubahan temperature sesuai ketinggian dengan suhu $-69,7^{\circ}\text{F}$ memiliki gradient sebesar $3,566^{\circ}\text{F}$ (2°C) per 1000 ft.

Guna menganalisis pengaruh suhu dan tekanan udara, dapat digunakan perumusan:

$$\frac{P_0}{P} = \frac{T_0^{2,561}}{T} \quad (2.11)$$

dimana:

P_0 = Tekanan udara standard permukaan laut (29,92126 inHg)

P = Tekanan udara standarad pada ketinggian tertentu

T_0 = Suhu udara standard permukaan laut (59°F)

T = Suhu udara standard pada ketinggian tertentu

Tabel 2.7 memuat data suhu, tekanan udara dan kecepatan rambat suara sesuai dengan ketinggian sumber suara (pesawat).

Tabel 2.7 Tabel Atmosfer Standard

Altitude, ft	Temperature, °F	Pressure, inHg	Speed of Sound, kn
0	59.0	29.92	661.2
1,000	55.4	28.86	658.9
2,000	51.9	27.82	656.6
3,000	48.3	26.82	654.3
4,000	44.7	25.84	652.0
5,000	41.2	24.90	649.7
6,000	37.6	23.98	647.7
7,000	34.0	23.09	645.1
8,000	30.5	22.23	642.7
9,000	26.9	21.39	640.4
10,000	23.3	20.58	638.0
20,000	-12.2	16.89	626.2
30,000	-47.8	13.76	614.1
40,000	-69.7	8.90	589.2
50,000	-69.7	7.06	576.3
60,000	-69.7	6.41	573.3

Sumber: Horonjeff, 2010

2.9 Angin dan Kecepatan Pesawat

Faktor terkait angin yang dapat mempengaruhi pergerakan pesawat dan persebaran gas buang pesawat adalah besaran dan arah angin. Pada operasi penerbangan dikenal dua buah kecepatan angin, yakni kecepatan bumi (*groundspeed*) dan kecepatan udara (*airspeed*). Kecepatan bumi adalah kecepatan gerak pesawat relatif terhadap bumi/tanah. Kecepatan udara adalah kecepatan pesawat bergerak sesuai dengan besar angin yang melalui saying pesawat. Pada studi terkait angin dan

penerbangan, dikenal istilah *tailwind* (angin searah ekor pesawat/angin dorong), *headwind* (angin menuju kepala pesawat/berlawanan arah pesawat) dan *crosswind* (angin silang/tidak searah kepala atau ekor pesawat). Berdasarkan gerak pesawat, selama beroperasi, apabila pesawat terbang membentuk sudut tertentu (*crab angle*), maka harus dilakukan koreksi perhitungan kecepatan pesawat dan angin (Gambar 2.7) dengan perumusan sebagai berikut:

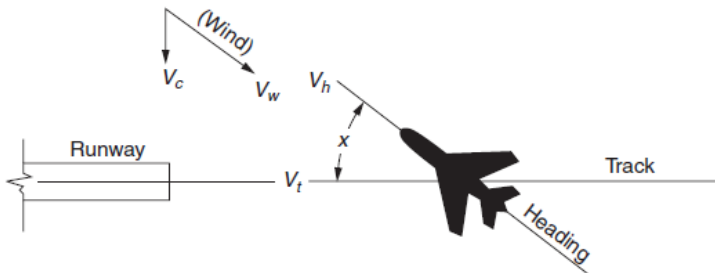
$$\sin x = \frac{V_c}{V_h} \quad (2.12)$$

dimana:

V_c = *Crosswind* (Mil/Jam) / (Knot)

V_h = *Airspeed* (Mil/Jam) / (Knot)

x = *Crab Angle* (°)



Gambar 2.7 Koreksi Terhadap *Crosswind*

Sumber: Horonjeff, 2010

2.10 Thrust

Thrust merupakan gaya yang dihasilkan oleh mesin pesawat guna memberikan tenaga dorongan untuk pesawat. Pada pesawat dengan mesin jet, beban gas akibat perubahan tekanan dan momentum dari arus gas yang bereaksi pada struktur mesin dan bagian berputarnya adalah gaya dorong yang dimiliki. Ada beberapa jenis thrust, antara lain:

1. *Gross / static thrust*: gaya dorong total yang dihasilkan ketika mesin dalam kondisi statis (tidak bergerak) dan sebagai hasil pergerakan massa udara melewati mesin, serta kecepatan jet pada bilah putar.
2. *Momentum drag*: Tarikan yang dihasilkan akibat momentum udara yang melewati mesin bersifat relatif kecepatan pesawat, kemudian dikenal dengan sebutan *momentum drag*.
3. *Net thrust*: Hasil dari massa udara yang melewati sebuah mesin saat mengudara dan perubahan kecepatan yang terjadi.

Pada pesawat dengan mesin jet, rumus perhitungan *thrust* adalah sebagai berikut:

$$\text{Jet Engine Thrust} = \text{the mass flow of air} \times (\text{jet pipe speed} - \text{intake speed})$$

(2.13)

Selain itu, untuk menghitung *thrust* pesawat dengan jenis mesin *turbofan* atau *turboprop* juga dapat digunakan metode perhitungan lain. Akan tetapi, terdapat beberapa parameter yang harus diketahui terlebih dahulu, antara lain: Berat pesawat (W), kecepatan dasar/darat (V_{stall}), kecepatan lepas landas (V_{to}), luas daerah (S), efektifitas mesin (η_p), koefisien *lift* maksimum (C_{lmax}) dan nilai *thrust* statis (T_0). Adapun langkah-langkah untuk menghitung thrust pesawat adalah sebagai berikut:

1. Menghitung berat pesawat (W)
Perhitungan berat pesawat dapat dilakukan dengan terlebih dahulu mengetahui berat dasar pesawat melalui spesifikasi pesawat, kemudian mengaitkannya dengan jarak penerbangan, durasi terbang, hingga jumlah bahan bakar. Selain itu, untuk pesawat yang menempuh rute perjalanan pendek, dapat digunakan grafik *payload* sebagai acuan menentukan berat pesawat yang beroperasi, mengingat tidak setiap saat semua pesawat akan terbang dalam kondisi bermuatan penuh. Adapun contoh grafik *payload* disertakan dalam lampiran.
2. Menghitung *take off Speed* (V_{to})

$$V_{stall} = \sqrt{\frac{W}{\frac{1}{2} * \rho * S * C_{lmax}}}$$
(2.14)

$$V_{to} = 1,2 * V_{stall}$$
(2.15)

3. Menghitung *Thrust*

$$\text{At Takeoff} = P_s * \dot{\eta}_p = T * V$$
(2.16)

$$T = \frac{P_s * \dot{\eta}_p}{V_{to}}$$
(2.17)

$$\text{Total Thrust at Takoff} = \text{number of engine} * T$$
(2.18)

2.11 *Exponential Smoothing*

Exponential Smoothing merupakan suatu metode peramalan yang secara berkelanjutan merubah hasil peramalan sesuai dengan kondisi terbaru yang dialami oleh suatu objek. Metode ini cocok digunakan untuk memproyeksikan data dengan pola yang sulit diprediksi. Tujuan penggunaan metode ini adalah untuk memprakirakan kondisi saat ini, yang kemudian digunakan sebagai bahan untuk memprakirakan nilai objek tersebut di masa yang akan datang.

Metode ini didasarkan pada analisis rerata nilai – nilai objek pada kondisi lampau dalam kondisi menurun secara eksponensial. Analisis yang dilakukan menggunakan faktor yang dikenal dengan α untuk kejadian yang paling baru terjadi, $\alpha(1-\alpha)$ untuk kejadian selanjutnya dan $\alpha(1-\alpha)^2$ untuk kejadian berikutnya.

Sehingga, dalam bentuk yang disederhanakan, hasil peramalan yang baru (untuk waktu $t+1$) dianggap sebagai rerata berfaktor (α) untuk kejadian yang baru terjadi (pada waktu t) dan pada waktu lampau diberikan faktor $(1-\alpha)$, dengan asumsi $0 < \alpha < 1$. Sehingga,

$$\text{Hasil Prakiraan } (Y) = [\alpha * Y_t] + [(1 - \alpha) * Y_t - 1] \quad (2.19)$$

Dalam tingkatan yang lebih lanjut, dikenal Metode Holt's. Metode ini merupakan pengembangan lebih lanjut dari metode *exponential smoothing*, karena selain melibatkan hasil peramalan akibat data, metode ini juga melibatkan pengaruh pola pertumbuhan data tersebut. Berikut adalah perumusan yang digunakan dalam Metode Holt's.

1. Prakiraan nilai sekarang (*current level estimate*)

$$L_t = [\alpha * Y_t] + [(1 - \alpha) * (L_t - 1 + T_t - 1)] \quad (2.20)$$

2. Prakiraan pola (*trend estimate*)

$$Tt = \beta(Lt - Lt - 1) + (1 - \beta)Tt - 1 \quad (2.21)$$

3. Prakiraan pada periode p

$$Y = Lt + Tt * p \quad (2.22)$$

Dimana:

Lt : Nilai baru yang disederhanakan

Tt : Prakiraan pola

Yt : Hasil prakiraan atau data eksisting waktu t

α : Konstanta *smoothing* untuk data ($0 < \alpha < 1$)

β : Konstanta *smoothing* untuk tren/pola ($0 < \beta < 1$)

p : periode prakiraan

Y : hasil akhir prakiraan/peramalan.

BAB III METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam analisis pergerakan pesawat terhadap beban emisi karbon Bandar Udara Internasional Juanda ini merujuk pada beberapa literatur. Diharapkan metode yang digunakan dalam analisis ini merupakan metode atau pendekatan yang paling mendekati kenyataan, sehingga dapat diperoleh hasil yang akurat. Metode analisis yang digunakan terdiri dari beberapa tahap, meliputi : Identifikasi masalah, studi literatur, pengumpulan data, analisis data, hingga didapatkan hasil dari analisis tersebut, berupa kesimpulan dan saran tentang beban emisi dan pergerakan pesawat.

3.1 Identifikasi Masalah

Pada tahap ini, penulis akan terlebih dahulu mengidentifikasi pokok permasalahan, kepentingan, sebab dan akibat serta keterkaitan antar faktor yang menjadi fokus bahasan dalam tugas akhir ini. Penulis menggunakan metode konsultasi dengan beberapa pakar dan praktisi bandara dan lingkungan, serta mempelajari isu – isu terkait masalah yang ditinjau, dalam hal ini berkaitan dengan isu lingkungan dan pencemaran udara.

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan referensi metode dan tahapan-tahapan analisis yang sesuai dengan permasalahan pada lokasi studi. Referensi tersebut berupa metode peramalan, permodelan serta langkah-langkah yang pernah digunakan untuk menganalisis permasalahan serupa. Studi literatur ini dapat dilakukan dengan mencari bahan dari berbagai buku, jurnal ilmiah dan sumber referensi lain yang sesuai dan dapat mendukung studi.

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data-data pendukung yang dibutuhkan untuk menganalisis permasalahan. Data-data pendukung yang dibutuhkan antara lain:

- **Pergerakan Pesawat**
Data pergerakan pesawat yang dimaksud adalah volume penerbangan yang terjadi di Bandara Juanda dalam periode tertentu, baik domestic mau pun internasional termasuk jarak terbang pesawat.
- **Spesifikasi Pesawat**
Data spesifikasi pesawat meliputi: jenis pesawat yang digunakan, jenis mesin pesawat, data berat pesawat dan konsumsi bahan bakar pesawat.
- **Data Emisi**
Data emisi meliputi kandungan gas diperoleh dari studi literature, berupa hasil penelitian uji sampel emisi pada jenis mesin pesawat yang bersesuaian. Selain itu juga meliputi data faktor emisi masing-masing zat uji.
- **Data Meteorologis**
Data meteorologis yang dimaksud adalah data meteorologis lokal, yang meliputi : data kelembaban, tekanan udara, suhu, arah dan besaran angin. Data tersebut diperlukan untuk menentukan variabel yang dapat mempengaruhi perilaku gas emisi saat keluar dari mesin.
- **Data Sosioekonomi**
Data sosioekonomi digunakan dalam peramalan ekonometrika, meliputi data demografi (jumlah penduduk) dan pendapatan domestik regional bruto (PDRB/GDP) Kota Surabaya dalam periode yang bersesuaian.

3.4 Analisis Data dan Perhitungan

Data-data pendukung studi yang telah diperoleh kemudian dianalisis. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

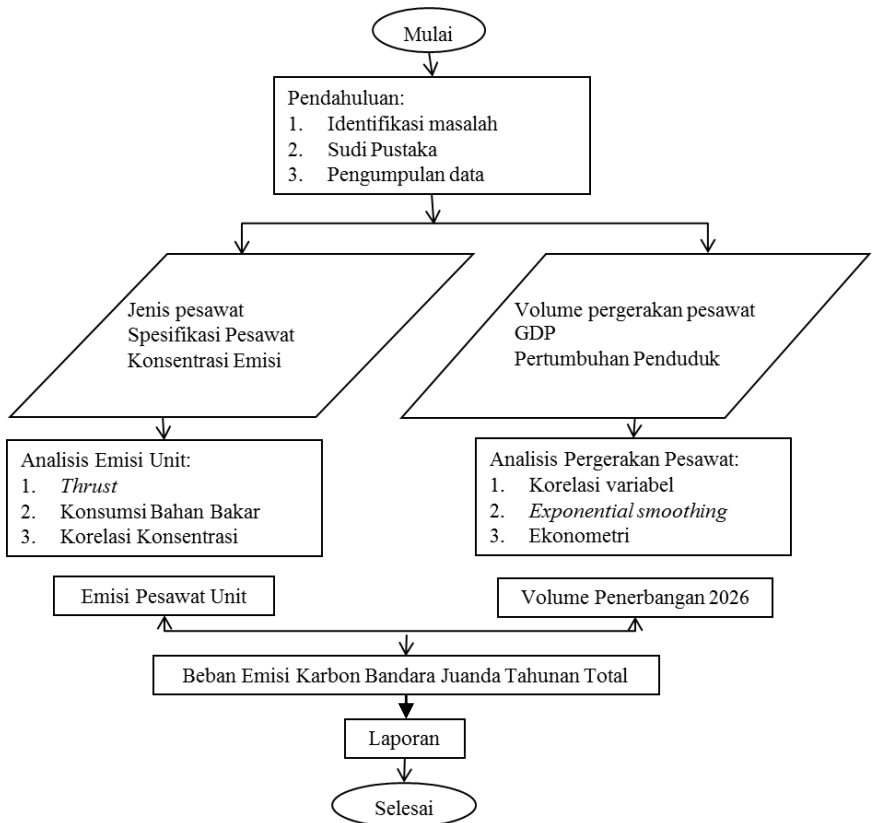
- Menganalisis data penerbangan dan pergerakan pesawat
Meliputi jenis pesawat yang beroperasi di Juanda, jarak penerbangan dan intensitas.
- Menganalisis teknis kontribusi masing-masing jenis pesawat per unit terhadap emisi karbon dengan mengaitkan beban emisi, spesifikasi pesawat dan konsumsi bahan bakar serta *thrust*.
- Menghitung laju pertumbuhan aktivitas penerbangan
Guna meramalkan pertumbuhan dan perkembangan aktivitas penerbangan, maka digunakan pendekatan dan permodelan ekonometrik, merujuk pada subbab 2.4
- Menganalisis beban emisi karbon Bandara Juanda
Dilakukan perhitungan emisivitas sesuai dengan hasil permalan aktivitas penerbangan dan kandungan karbon *existing* dengan menggunakan metode perhitungan yang merujuk pada subbab 2.7.

3.5 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan yang dihasilkan berupa hasil perhitungan dan analisis beban emisi karbon Bandara Juanda akibat pergerakan pesawat. Adapun saran yang diberikan adalah usulan yang berkaitan dengan hasil analisis.

3.6 Bagan Alir Penyusunan Tugas Akhir

Berikut merupakan langkah-langkah yang perlu dilakukan guna menyelesaikan tugas analisis pergerakan pesawat terhadap beban emisi Bandara Juanda yang dijelaskan melalui bagan alir Gambar 3.1 dan Gambar detail pengerjaan 3.2:



Gambar 3.1 Bagan Alir Penyusunan Tugas Akhir

3.7 Jadwal Kegiatan Penyusunan Tugas Akhir

Berikut merupakan jadwal pengerjaan tugas akhir analisis pergerakan pesawat terhadap analisis beban emisi Bandara Juanda yang dijelaskan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penyusunan tugas akhir

No.	Jenis Kegiatan	Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4				Bulan 5			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Survei Pendahuluan	■	■	■																	
2	Pengumpulan Data			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
3	Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
4	Analisis dan pengolahan data				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
5	Penyusunan Laporan Tugas Akhir							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

DATA DAN ANALISIS

Secara garis besar, guna menyelesaikan proses analisis Tugas Akhir Analisis Pergerakan Pesawat Terhadap Beban Emisi Karbon Bandar Udara Internasional Juanda, perlu dilakukan tiga tahapan, antara lain: analisis kontribusi masing-masing jenis pesawat terhadap emisi karbon Bandara Juanda, peramalan pergerakan penerbangan menggunakan metode ekonometri dan permodelan emisi karbon total Bandara Juanda akibat pergerakan dan pertumbuhan penerbangan.

4.1 Analisis Beban Emisi Pesawat Per Unit

Guna mengetahui kontribusi masing-masing jenis pesawat terhadap emisi karbon Bandara Juanda, terlebih dahulu perlu diketahui jenis pesawat yang beroperasi di Juanda beserta spesifikasinya. Karena emisi erat kaitannya dengan bahan bakar, baik dari segi jenis atau pun kuantitas, maka spesifikasi mesin sangat diperlukan guna mengetahui kinerja pembakaran bahan bakar pesawat yang menghasilkan emisi karbon tersebut.

Selanjutnya, dibutuhkan data jarak penerbangan maksimal, minimal dan rerata yang ditempuh oleh masing-masing jenis pesawat. Data jarak penerbangan dibutuhkan karena tidak semua pesawat yang beroperasi di Juanda selalu mengudara dalam keadaan terisi penuh (*fully loaded*), sehingga diperlukan data jarak penerbangan untuk memprakirakan jumlah bahan bakar yang digunakan oleh masing-masing pesawat. Selain itu, jarak penerbangan ini nantinya akan digunakan untuk menentukan berat operasional pesawat melalui *payload graph*.

Kemudian, dapat dilakukan analisis *thrust* pesawat. Analisis *thrust* diperlukan guna mengetahui besar bahan bakar yang digunakan saat pesawat mengudara di Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP) – *Imaginary Surface*, yang merupakan ruang udara Bandara Juanda.

Tabel 4.1 memuat daftar pesawat yang beroperasi di Bandara Juanda.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Pergerakan Pesawat Bandara Juanda per Tahun

Tipe Pesawat	Kedatangan Pesawat per Tahun								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
F27	125	55	43	0	0	0	0	0	0
F28	1475	260	81	0	0	0	0	0	0
F-50	1	5	1	0	2	0	104	28	0
F100	766	105	56	396	0	123	246	6	0
A313	16	14	11	0	0	0	0	0	0
A319	54	0	968	0	5766	193	41	0	0
A319-100	68	615	0	0	0	0	0	0	0
A320	129	0	2012	3723	0	2452	2332	4919	8986
A322	154	1535	272	0	0	0	0	0	0
A330	3	0	27	475	504	488	559	533	551
A332	95	103	90	277	0	0	48	62	58
A333	142	164	149	475	0	140	261	173	210
A343	13	0	0	0	0	16	0	0	0
ATR-42	221	166	4	2376	0	507	3350	4361	3811

Tabel 4.1 (Lanjutan)

Tipe Pesawat	Kedatangan Pesawat per Tahun								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
B722	234	1	0	0	0	0	0	0	0
B727	7	4	0	0	0	0	0	0	0
B732	13481	12271	9994	3733	4864	2903	2258	2176	526
B733	5941	7380	6944	9646	0	5669	4699	3681	1510
B734	7362	7531	8327	7476	0	4275	3512	1762	1192
B735	203	127	814	259	0	74	342	1072	2243
B737	252	5	325	0	22095	373	1702	3283	1070
B738	9	421	140	4871	0	2875	4154	5030	6005
B739	0	0	229	7683	0	4383	6109	8209	9521
B742	2	6	1	0	0	0	0	0	0
B743	135	178	192	0	0	0	0	0	0
B747	70	0	4	951	190	10	54	90	63
B74A	17	2	0	0	0	0	0	0	0
B763	3	3	5	0	0	0	0	0	0
B767	6	0	14	0	19	0	0	0	0

Tabel 4.1 (Lanjutan)

Tipe Pesawat	Kedatangan Pesawat per Tahun								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
B772	222	4	3	0	0	0	0	0	0
B773	80	32	41	0	0	0	15	24	45
B777	8	0	1	0	40	49	0	9	35
BAE46	2	3	0	0	13	0	0	0	0
CRJ	0	0	0	0	0	0	0	82	1345
DC9	3	0	1	0	0	0	0	0	0
FK100	36	0	3	0	332	0	0	0	0
MA-60	0	0	4	0	2	0	184	436	229
MD80	18	14	559	475	0	227	270	10	0
MD82	7582	7,325	6226	277	5068	758	237	266	330
MD83	301	209	517	0	0	0	0	0	0
MD90	209	808	413	238	0	622	123	0	0
MD92	46	4	0	0	0	0	0	0	0

Sumber : PT. Angkasa Pura 1

Analisis pergerakan pesawat hanya akan dilakukan berdasarkan pergerakan pesawat di Terminal 1 Bandara Juanda mulai Tahun 2009, karena pada Tahun 2008 terjadi krisis dan menyebabkan data masukan tidak stabil, selain itu, pergerakan pesawat di Terminal 2 Bandara Juanda baru dioperasikan pada Tahun 2014, dan tidak memenuhi kualifikasi dan persyaratan regresi apabila melibatkan pergerakan pesawat untuk Terminal 2 Juanda, Surabaya. Berdasarkan data tersebut, diketahui bahwa jenis pesawat yang beroperasi di terminal 1 Bandara Juanda adalah: A320, B-733, B-734, B-735, B-738, B-739 dan ATR-72. Oleh karena itu, analisis beban emisi karbon per unit akan dimodelkan pada pesawat-pesawat tersebut.

Setelah mengetahui jenis pesawat yang beroperasi, dapat diketahui jenis mesin yang digunakan oleh masing-masing pesawat. Hal ini terangkum dalam tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.2 Spesifikasi mesin pesawat yang beroperasi di Terminal 1 Bandara Juanda

<i>AIRCRAFT</i>	<i>ENGINE</i>
A-320	CFM56
ATR-72	PW127 F/M
B-733	CFM56-3
B-734	CFM56-3
B-735	CFM56-3
B-738	CFM56-7
B-739	CFM56-7
B-747	CF6-80C2B1F

Setelah mengetahui spesifikasi mesin yang digunakan oleh masing - masing pesawat, proses selanjutnya adalah menentukan jarak terbang yang ditempuh oleh masing-masing

pesawat, karena masing-masing pesawat memiliki banyak rute penerbangan dengan jarak yang beragam, maka digunakan tiga pilihan jarak, yakni jarak tempuh minimum, maksimum dan rerata. Guna mempermudah proses analisis maka jarak dilakukan penyesuaian satuan jarak dari kilometer (Km) menjadi *Nautical Miles* (NM) dengan faktor pengali sebesar 0,54. Hasil rekapitulasi jarak penerbangan dipaparkan dalam tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.3 Jarak tempuh pesawat yang beroperasi di Terminal 1 Juanda

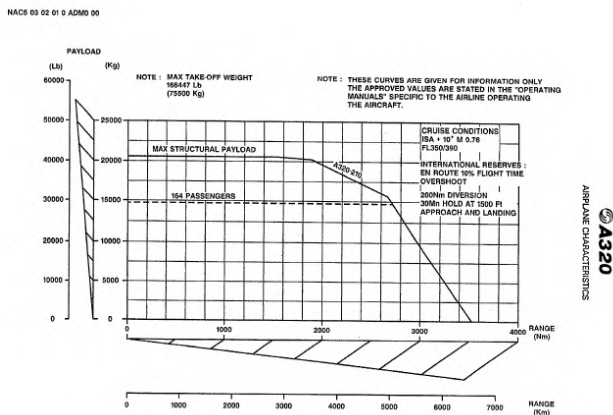
<i>AIRCRAFT</i>	<i>distance (NM)</i>		
	<i>min.</i>	<i>mean</i>	<i>max.</i>
A-320	163,65	492,02	1470,20
ATR-72	104,22	152,54	293,27
B-733	145,82	373,67	441,68
B-734	312,12	312,12	312,12
B-735	142,31	272,08	441,68
B-738	145,26	413,45	940,51
B-739	142,31	433,97	1064,42
B-747	373,25	558,47	743,69

Jarak yang digunakan sebagai material analisis payload

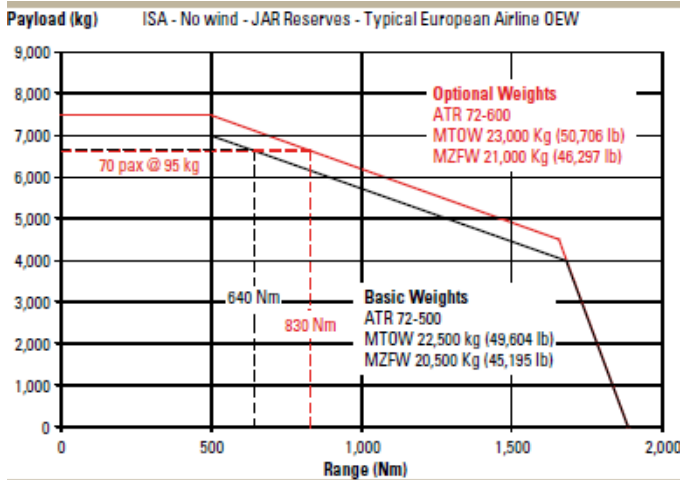
Jarak maksimal penerbangan dipilih karena merupakan jarak paling kritis yang menyebabkan jumlah bahan bakar yang diangkut pesawat lebih besar daripada penerbangan dengan jarak yang relatif pendek.

Setelah mengetahui jarak tempuh penerbangan masing-masing pesawat, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis *payload* pesawat dan bahan bakar pesawat. Dalam analisis *payload*, yang termasuk dalam hasil pembacaan grafik *payload* adalah berat pesawat tanpa bahan bakar (*Zero Fuel Weight*). Grafik *payload* memiliki flight range (jarak tempuh penerbangan) pada sumbu x dan berat pesawat (*payload*) pada sumbu y, dengan

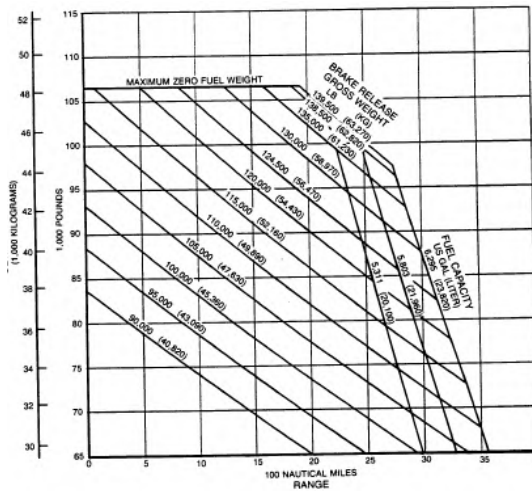
menarik garis vertikal pada jarak terbang (sumbu x) hingga memotong grafik, maka akan didapatkan berat pesawat pada sumbu y yang bersesuaian. Gambar 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 dan 4.7 menjelaskan penggunaan *payload graph* yang dihubungkan dengan *flight range* (jarak tempuh penerbangan), sehingga diperoleh *payload* (berat pesawat sebagai *Zero Fuel Weight*)



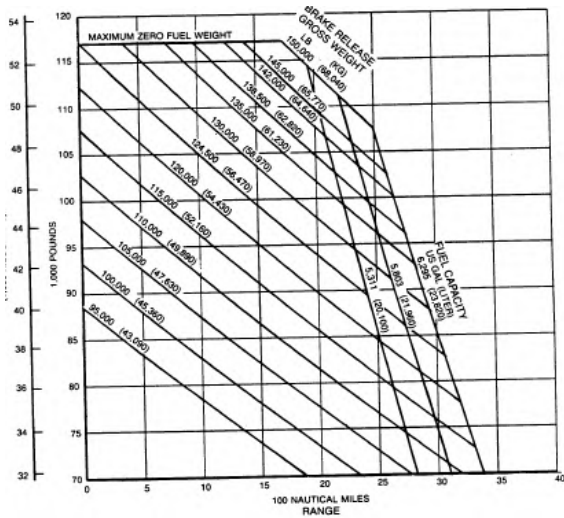
Gambar 4.1. Grafik *payload* untuk pesawat A-320



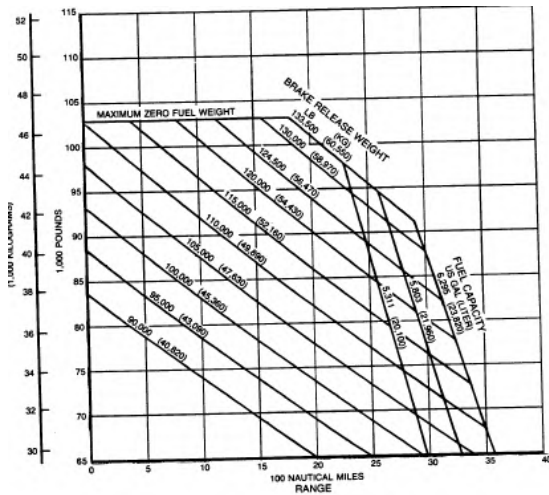
Gambar 4.2. Grafik *payload* untuk pesawat ATR-72



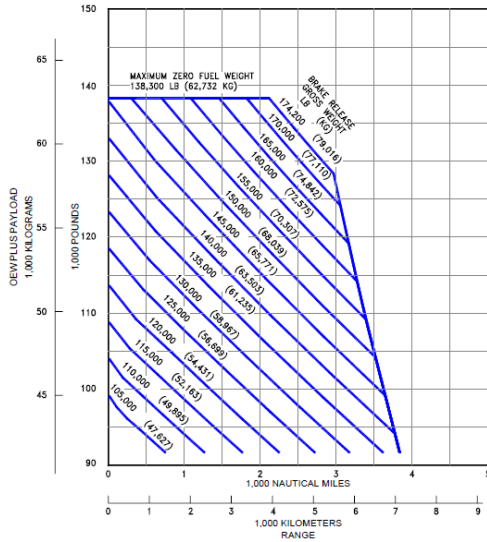
Gambar 4.3. Grafik *payload* untuk pesawat B-737-300



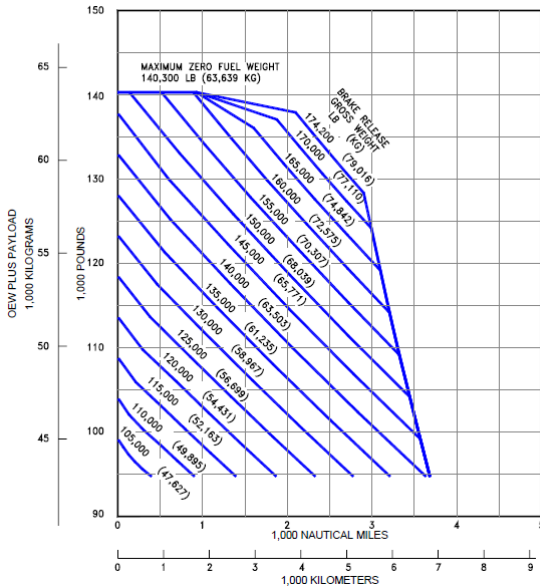
Gambar 4.4. Grafik *payload* untuk pesawat B-737-400



Gambar 4.5. Grafik *payload* untuk pesawat B-737-500



Gambar 4.6. Grafik *payload* untuk pesawat B-737-800



Gambar 4.7. Grafik *payload* untuk pesawat B-737-900

Setelah melakukan analisis payload, maka diperoleh nilai *Zero Fuel Weight*, guna mengetahui detail kebutuhan bahan bakar untuk menempuh masing-masing jarak penerbangan dengan masing-masing berat ZFW, dapat digunakan tabel *Block Fuel Estimate* (BFE) pada tabel 4.4. Selain itu, data lain yang diperlukan dalam menghitung berat aktual pesawat saat *takeoff* adalah data berat maksimum pesawat *takeoff* standard (MTOW – *Maximum Takeoff Weight*) serta kapasitas penuh bahan bakar pesawat (*full-tank capacity*) untuk menghitung tambahan bakar bakar sebagai syarat keamanan penerbangan oleh NASA sebesar 10% dari kapasitas penuh tangki.

Tabel 4.4 *Block Fuel Estimate*

ZFW (Lb)	Range (NM)				
	500	1000	1500	2000	2500
90000	13100	17600	22300	27100	32000
95000	13400	18100	23000	27900	33000
100000	13800	18600	23600	28800	34000
105000	14200	19200	24300	29600	35100
110000	14600	19800	25100	30500	36300
115000	15000	20300	25800	31500	37400
120000	15400	20900	26600	32500	38700
125000	15800	21500	27400	33600	39900
130000	16200	22500	28300	34600	41100
136000	16700	22800	29100	35800	42400

Sumber : Pyatt, 2009

Akan tetapi, perlu dilakukan interpolasi apabila nilai yang diinginkan tidak tercantum dalam tabel di atas.

Hasil perhitungan ZFW, MTOW, BFE, *reserve fuel* dan berat aktual pesawat saat *takeoff* ditampilkan dalam tabel 4.5 dan 4.6 berikut:

Tabel 4.5 Analisis *Block Fuel Estimate*

<i>AIRCRAFT</i>	MTOW (Lbs)	<i>payload (Lbs)</i>	
		ZFW	<i>Block Fuel Est.(Lbs)</i>
A-320	166447	48510	17519,87
ATR-72	49604	15435	1892,00
B-733	139500	105840	14267,20
B-734	150000	116865	15149,20
B-735	133500	102974	14037,88
B-738	174200	138324	22074,19
B-739	187700	140324	23611,70
B-747	875000	555000	19672,99

Tabel 4.6 Analisis Total Actual Takeoff Weight

<i>AIRCRAFT</i>	<i>Full Tank Capacity (Lbs)</i>	<i>Reserve Fuel (Lbs) 10%</i>	<i>Total Actual Takeoff Weight (Lbs)</i>
A-320	41554	4155,40	21675,27
ATR-72	11023	1102,30	2994,30
B-733	42180	4218,00	18485,20
B-734	42180	4218,00	19367,20
B-735	42180	4218,00	18255,88
B-738	46063	4606,30	26680,49
B-739	46063	4606,30	28218,00
B-747	382336	38233,60	57906,59

Proses selanjutnya adalah analisis *thrust* yang dibutuhkan pesawat untuk keluar dari KKOP Bandara Juanda, adapun data yang diperlukan untuk melakukan analisis ini, antara lain:

1. Berat pesawat saat *takeoff* yang didapatkan dari analisis payload dan bahan bakar pesawat, berupa *Total Actual Takeoff Weight*.
2. Luas KKOP Bandara Juanda yang terdampak pesawat saat *takeoff*, yakni 1000 ft² sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan FAA.
3. Berat jenis atmosfer konstan, yakni 0,002377 slug/ft³ (*Sumber:www.dept.aove.vt.edu/~lutze/AOE3104/takeoff&landing.pdf*)
4. Koefisien Lift-off (Clmax) yang dimiliki masing-masing pesawat sesuai dengan jenis dan mesin yang digunakan.
5. Kecepatan pesawat, baik saat di darat (Vstall) ataupun saat *takeoff* (Vto).
6. Tingkat efisiensi mesin digunakan 0,75.
7. Thrust statis yang dimiliki masing-masing mesin pesawat sesuai spesifikasi masing-masing.

Contoh perhitungan:

Pesawat A320, Mesin CFM56 (Twin Engine, $n = 2$), $S = 1000 \text{ ft}^2$, $\rho = 0,002377 \text{ slug/ft}^3$, $W = 70185,27 \text{ Lbs}$, $Cl_{max} = 3$, $T_o = 82566 \text{ Lbs}$.

$$V_{stall} = \sqrt{\frac{W}{\frac{1}{2} * \rho * S * Cl_{max}}}$$

$$V_{stall} = \sqrt{\frac{70185,27}{\frac{1}{2} * 0,002377 * 1000 * 3}} = 140,30 \text{ ft/sec}$$

$$V_{to} = 1,2 * V_{stall} = 1,2 * 140,30 = 168,36 \text{ ft/sec}$$

$$T = \frac{Ps * \dot{\eta} p}{V_{to}}$$

$$T = \frac{82566 * 0,75}{168,36} = 367,8 \text{ Lbs}$$

$$T_{total} = 2 \times 367,8 \text{ Lbs} = 735,6 \text{ Lbs}$$

Menggunakan metode perhitungan yang sama, dapat diperoleh nilai thrust dari masing-masing jenis pesawat yang beroperasi di Bandara Juanda. Sehingga, diperoleh hasil yang dirangkum dalam tabel 4.7. Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis konsumsi bahan bakar yang digunakan oleh pesawat untuk menghasilkan jumlah *thrust* yang telah dihitung. Analisis ini dilakukan dengan mengalikan *total thrust* dengan faktor *Specific Fuel Consumption* yang dimiliki oleh masing-masing pesawat. Adapun data *Specific Fuel Consumption* dijelaskan dalam Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.7 Analisis Total Thrust

AIRCRAFT	S (ft2)	ρ	C_{lmax}	V_{stall} (ft/sec)	V_{To} (ft/sec)	effisiesi mesin	T_o (Lbs)	T (Lbs)	Total Thrust (Lbs)
A-320	1000	0,002377	3,00	140,30	168,36	0,75	24200	107,80	215,61
ATR-72	1000	0,002377	2,00	88,05	105,66	0,75	19500	138,41	276,82
B-733	1000	0,002377	3,28	178,58	214,30	0,75	22100	77,34	154,69
B-734	1000	0,002377	3,24	188,09	225,71	0,75	22100	73,44	146,87
B-735	1000	0,002377	3,32	175,28	210,34	0,75	20100	71,67	143,34
B-738	1000	0,002377	3,40	202,07	242,49	0,75	24200	74,85	149,70
B-739	1000	0,002377	3,50	201,29	241,55	0,75	24200	75,14	150,28
B-747	1000	0,002377	1,92	518,26	621,91	0,75	57900	69,83	279,30

Tabel 4.8 Specific Fuel Consumption

AIRCRAFT	A-320	ATR-72	B-733	B-734	B-735	B-738	B-739	B-747
SFC	0,33	0,30	0,33	0,33	0,33	0,36	0,36	0,36

Sumber : Horonjeff, 2010

Sehingga, diperoleh konsumsi bahan bakar riil sebagai berikut sebagaimana ditunjukkan Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Konsumsi Bahan Bakar Riil

<i>AIRCRAFT</i>	<i>Total Thrust (Lbs)</i>	<i>SFC</i>	<i>FUEL Consumed (Lbs)</i>
A-320	215,61	0,33	71,15
ATR-72	276,82	0,30	83,05
B-733	154,69	0,33	51,05
B-734	146,87	0,33	48,47
B-735	143,34	0,33	47,30
B-738	149,70	0,36	53,89
B-739	150,28	0,36	54,10
B-747	279,30	0,36	100,55

Setelah melakukan perhitungan *thrust* dan konsumsi bahan bakar riil, langkah selanjutnya adalah menghitung beban emisi masing-masing jenis pesawat per unit. Hal ini dilakukan dengan mengalikan total thrust yang telah didapatkan dari perhitungan dengan *Specific Fuel Consumption* (SFC) masing-masing pesawat, sehingga dapat diketahui berapa banyak bahan bakar yang terpakai saat pesawat terbang keluar dari wilayah udara Bandara Juanda.

Setelah mendapatkan kuantitas bahan bakar yang terpakai, langkah selanjutnya adalah mengalikan jumlah bahan bakar terpakai dengan kandungan emisi dari zat-zat yang ditinjau, yakni CO, CO₂ dan HC.

Langkah terakhir guna memperoleh nilai kontribusi masing-masing pesawat per unit terhadap emisi karbon adalah mengalikan faktor emisi untuk masing-masing jenis zat yang ditinjau seperti pada tabel 4.10 dan 4.11 Berikut adalah daftar Faktor Emisi (FE) sesuai yang di syaratkan oleh IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) dalam EFDB (*Emission Factor Database*) untuk bahan bakar *Jet Gasoline*.

Tabel 4.10 Faktor Emisi (Kg/LTO)

(Kg/LTO)			
Pesawat	CO	CH ₄	CO ₂
A320	6,19	0,06	2440
B737 3/4/5	13,03	0,08	2480
B737 8/9	7,07	0,07	2780
B747-400	45,00	1,20	10710
ATR 72	2,33	0,03	620

Sumber : IPCC-EFDB, 2006

Berdasarkan data yang didapatkan, perlu dilakukan konversi satuan dari Kg/LTO (Kilogram per *Landing-Takeoff*) menjadi pounds per *Landing-Takeoff* (Lbs/LTO) dengan mengalikan angka tersebut dengan faktor pengali sebesar 2,2.

Tabel 4.11 Faktor Emisi (Lbs/LTO)

(Lbs/LTO)			
Pesawat	CO	CH ₄	CO ₂
A320	13,62	0,13	5368
B737 3/4/5	28,67	0,18	5456
B737 8/9	15,55	0,15	6116
B747-400	99,00	2,64	23562
ATR 72	5,13	0,07	1364

LTO (*Landing-Takeoff*) merupakan satu siklus penerbangan masing-masing pesawat. Oleh karena itu, perlu dilakukan koreksi terhadap faktor emisi masing-masing pesawat sesuai dengan rasio konsumsi bahan bakar yang digunakan oleh masing-masing pesawat. Sehingga perlu dilakukan perbandingan bahan bakar yang dikonsumsi pesawat untuk keluar dari KKOP

bandara Juanda dengan bahan bakar yang dipakai pesawat untuk menyelesaikan satu siklus seperti Tabel 4.12

Tabel 4.12 Rasio Bahan Bakar

<i>AIRCRAFT</i>	<i>Block Fuel Est. (Lbs)</i>	<i>FUEL Consumed (Lbs)</i>	<i>Fuel Ratio</i>
A-320	17519,87	71,15	0,004
ATR-72	1892,00	83,05	0,044
B-733	14267,20	51,05	0,004
B-734	15149,20	48,47	0,003
B-735	14037,88	47,30	0,003
B-738	22074,19	53,89	0,002
B-739	23611,70	54,10	0,002
B-747	19672,99	100,55	0,005

Setelah diperoleh rasio bahan bakar, maka dapat dilakukan perhitungan faktor emisi untuk masing-masing pesawat dan senyawa yang ditinjau dengan mengalikan faktor emisi masing-masing pesawat dengan rasio bahan bakar tersebut. Hasil perhitungan tersebut dijelaskan pada Tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.13 Faktor Emisi (Lbs)

<i>AIRCRAFT</i>	<i>Fuel Ratio</i>	<i>Emission Factor (Lbs)</i>		
		CO	CH ₄	CO ₂
A-320	0,004	0,055	0,001	21,80
ATR-72	0,044	0,225	0,003	59,87
B-733	0,004	0,103	0,001	19,52
B-734	0,003	0,056	0,001	21,88
B-735	0,003	0,354	0,009	84,30
B-738	0,002	0,038	0,000	14,93
B-739	0,002	0,242	0,006	57,52
B-747	0,005	0,506	0,013	120,42

Berdasarkan hasil analisis *thrust* yang menghasilkan konsumsi bahan bakar riil dan faktor emisi masing-masing pesawat, maka dapat dilakukan perhitungan beban emisi oleh masing-masing jenis pesawat dengan mengalikan total konsumsi bahan bakar riil dengan faktor emisi dan beban polutan. beban polutan dalam pembakaran bahan bakar *jet gasoline* dalam Lbs dapat dilihat pada tabel 2.6. Sehingga diperoleh beban sebagai berikut untuk nilai HC, CO dan CO₂ bagi masing-masing jenis pesawat.

Tabel 4.14 Beban Polutan (Lb/H)

AIRCRAFT	ENGINE	TYPE	Beban (Lbs/H)		
			CO	HC-	CO ₂
A-320	CFM56	<i>Twin Engine Turbofan</i>	3,0	2,4	27900
ATR-72	PW127 F/M	<i>Twin Engine Turboprop</i>	3,6	0,3	6800
B-733	CFM56-3	<i>Twin Engine Turbofan</i>	3,0	2,4	27900
B-734	CFM56-3	<i>Twin Engine Turbofan</i>	3,0	2,4	27900
B-735	CFM56-3	<i>Twin Engine Turbofan</i>	3,0	2,4	27900
B-738	CFM56-7	<i>Twin Engine Turbofan</i>	3,0	2,4	27900

B-739	CFM56-7	<i>Twin Engine Turbofan</i>	3,0	2,4	27900
B747-400	CF6-80C2B1	<i>4 Engine Turbofan</i>	3,0	2,4	27900

Setelah mengetahui beban masing-masing polutan dalam Lb/Jam, maka perlu diketahui lama waktu terbang pesawat dengan konsumsi bahan bakar riil masing-masing pesawat, seperti dijelaskan dalam Tabel 4.15 berikut.

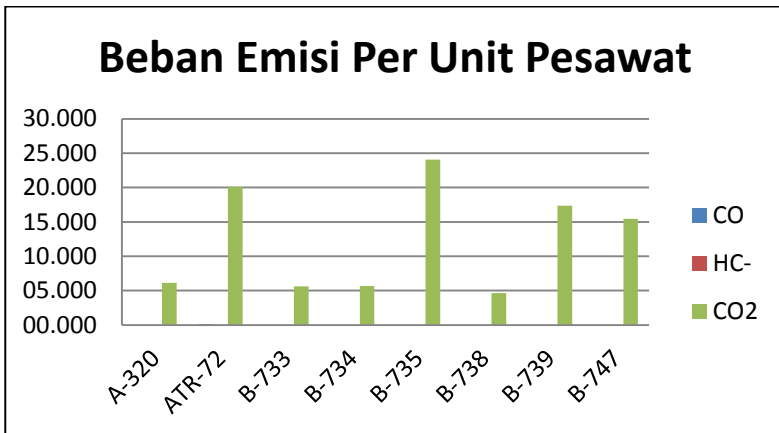
Tabel 4.15 Durasi Terbang (*Hour*)

<i>AIRCRAFT</i>	<i>FUEL Consumed (Lbs)</i>	<i>FUEL Con. Rate (Lbs/Hour)</i>	<i>Flight Dur. (Hour)</i>
A-320	71,15	7040	0,010
ATR-72	83,05	1680	0,049
B-733	51,05	4950	0,010
B-734	48,47	5229	0,009
B-735	47,30	4620	0,010
B-738	53,89	4811	0,011
B-739	54,10	5005	0,011
B-747	100,55	21890	0,005

Langkah selanjutnya, dapat dilakukan analisis terhadap beban polutan untuk masing-masing pesawat sesuai durasi terbang masing-masing pesawat dengan mengalikan beban masing-masing senyawa dengan durasi terbang pesawat dan faktor emisi , seperti dalam tabel 4.16.

Tabel 4.16 Beban Emisi Unit (Lbs)

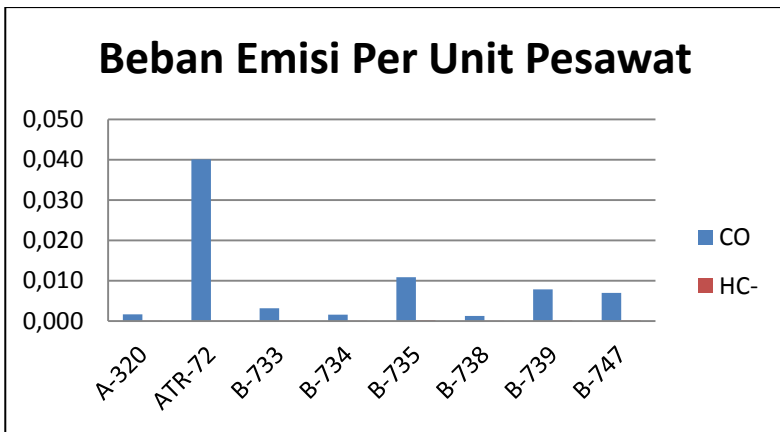
AIRCRAFT	Beban (Lbs)		
	CO	HC-	CO ₂
A-320	0,0017	0,00001	6147,04
ATR-72	0,0400	0,00004	20125,42
B-733	0,0032	0,00002	5616,70
B-734	0,0015	0,00001	5658,52
B-735	0,0109	0,00023	24082,05
B-738	0,0013	0,00001	4666,43
B-739	0,0078	0,00017	17348,18
B-747	0,0070	0,00015	15432,93



Gambar 4.8 Beban Emisi Karbon Pesawat Per Unit

Berdasarkan hasil yang didapatkan pada Gambar 4.8, diketahui bahwa terdapat perbedaan signifikan antara beban emisi CO dan HC- dengan CO₂, hal ini disebabkan karena CO₂ dikategorikan bukan sebagai pencemar (polutan) dalam kehidupan sehari-hari, akan tetapi merupakan zat yang dapat

menyebabkan permasalahan pada lapisan ozon bumi apabila terakumulasi terus menerus dalam jumlah besar di atmosfer. Sementara itu, senyawa HC- dan CO merupakan polutan yang dapat membahayakan kesehatan makhluk hidup dan lingkungan sekitar. Guna melihat perbandingan konsentrasi HC- dan CO lebih detail, maka berikut adalah penggambaran perbandingan emisi HC- dan CO- masing-masing pesawat, pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Beban Emisi CO dan HC- Pesawat Per Unit

4.2 Peramalan Penerbangan Metode Ekonometri

Peramalan menggunakan metode ekonometri secara garis besar sama dengan metode lain. Hal yang membedakan metode ekonometri dan peramalan biasa terletak pada faktor yang dilibatkan. Tidak hanya menggunakan data historis, akan tetapi ekonometri juga menggunakan faktor ekonomi dan sosial yang mungkin berpengaruh pada objek, dalam hal ini adalah penerbangan.

Dalam menentukan faktor yang relevan untuk digunakan dalam peramalan ekonometri, digunakan dasar teori mengacu pada tabel 2.4 tentang variabel permintaan dan aplikasinya. Sehingga, dipilih beberapa faktor sosial-ekonomi yang nantinya

akan dilibatkan dalam proses peramalan, antara lain: penghasilan perkapita regional (*GDP-Gross Domestic Product*) dan kepadatan penduduk.

$$Y = \beta + \beta_1 X_1 t + \beta_2 X_2 t$$

Dimana:

Y = Pergerakan Pesawat

X1 = GDP

X2 = Kepadatan Penduduuk

β = Faktor yang menunjukkan keterkaitan antara X dan Y

Dilakukan peramalan penerbangan total dan volume penerbangan untuk masing-masing pesawat hingga tahun 2026 (10 tahun umur rencana) berdasarkan data pergerakan pesawat pada Tahun 2010, 2011, 2012 dan 2013. Meskipun data yang diperoleh sejak Tahun 2005, akan tetapi terdapat anomaly atau keadaan tidak wajar pada Tahun 2009, dimana tidak ada penerbangan menggunakan tujuh jenis pesawat tersebut, hal ini disinyalir merupakan dampak kebijakan bandara dan maskapai untuk mengganti dan mengalihkan penerbangan menggunakan jenis pesawat lain pascakrisis yang dialami Indonesia pada Tahun 2008. Selain itu, karena beban emisi yang dikandung oleh pesawat berbeda-beda, sehingga hasil akan lebih akurat apabila diketahui volume penerbangan dari masing-masing pesawat, maka perlu diketahui volume pergerakan penerbangan masing-masing pesawat atau digunakan alternatif lain.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diketahui bahwa, dengan tingkat akurasi 90% dan error (α) sebesar 10%, diperoleh hasil analisis korelasi pada tabel 4.17, 4.18 dan 4.19 melalui *software* SPSS.

Tabel 4.17 Hasil Regresi Ekonometri GDP dan Penduduk terhadap Volume Penerbangan

Model		<i>Unstandardized Coefficients</i>		<i>Standardized Coefficients</i>	t	Sig.
		B	<i>Std. Error</i>	Beta		
1	<i>Constant</i>	268.897. 449	104.052.574		-2.584	.049
	PNDDK	.110	.041	2.292	2.707	.042
	GDP	.000	.000	-1.608	-1.899	.116

Tabel 4.18 Hasil Regresi Ekonometri Penduduk terhadap Volume Penerbangan

Model		<i>Unstandardized Coefficients</i>		<i>Standardized Coefficients</i>	t	Sig.
		B	<i>Std. Error</i>	Beta		
1	<i>Constant</i>	- 80.986.671	38.571.9 84		-2.100	.081
	PNDDK	.036	.013	.743	2.723	.035

Tabel 4.19 Pengaruh Faktor Penduduk terhadap Regresi Penerbangan

Model	R	R Square	<i>Adjusted R Square</i>	<i>Std. Error of the Estimate</i>
1	.743 ^a	.553	.478	5.943.328

0,116 (Sig > 0,1 = Tidak Signifikan)

0,743 (74,3% mempengaruhi Y)

Faktor GDP tidak secara signifikan mempengaruhi volume penerbangan total, dibuktikan dengan tingkat pengaruh (Sig) yang melebihi batas izin (10%), tetapi faktor penduduk sangat berpengaruh terhadap volume penerbangan, bahkan tingkat pengaruhnya mencapai 74,3%, yang memiliki arti bahwa volume penerbangan total, 74,3% dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk dan 25,7% lainnya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain. Oleh karena itu, digunakan peramalan dengan menggunakan pengaruh kepadatan penduduk sebagai peubah, dengan rumus sebagai berikut:

$$FLGHTARRV_t = - 80986.671 + .036PNDDK_t + \varepsilon \quad (4.1)$$

Akan tetapi, faktor GDP dan penduduk tidak dapat digunakan untuk meramalkan volume pergerakan penerbangan masing-masing jenis pesawat, dilihat dari hasil peramalan masing-masing pesawat secara ekonometri, yang memiliki hasil acak dengan tingkat yang tidak signifikan dan berubah-ubah. Hal ini disinyalir karena faktor pemilihan jenis pesawat yang akan digunakan dalam penerbangan tidak sepenuhnya dipengaruhi oleh kondisi sosio-ekonomi masyarakat, akan tetapi melibatkan peranan faktor lain yang lebih signifikan pengaruhnya, seperti keputusan maskapai penerbangan, peraturan pemerintah, dll.

Oleh karena itu, penulis terlebih dahulu melakukan peramalan jumlah penduduk sebagai faktor masukan untuk melakukan analisis ekonometri. Dalam peramalan dengan menggunakan metode *exponential smoothing*, hanya melibatkan data historis, tanpa faktor pengaruh lain (Bukan Ekonometri) untuk menganalisis pertumbuhan penduduk.

Guna meramalkan pertumbuhan penduduk dengan menggunakan metode *exponential smoothing*, terlebih dahulu ditetapkan nilai $\alpha = 0,9$ dan $\beta = 0,2$ agar hasil peramalan lebih akurat. Kemudian melakukan analisis pendekatan dengan:

$$Y_t = \text{Hasil } forecast \text{ tahun } t-1 \quad (4.2)$$

$$L_t = \alpha * Y_t + (1 - \alpha) * (L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (4.3)$$

$$T_t = \beta * (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta) * T_{t-1} \quad (4.4)$$

$$\text{Forecast} = L_{t-1} + T_{t-1} \quad (4.5)$$

Berikut merupakan hasil peramalan dengan metode *exponential smoothing* untuk pertumbuhan penduduk. Tabel 4.20 menjelaskan hasil peramalan pertumbuhan penduduk Kota Surabaya menggunakan metode *exponential smoothing*.

Tabel 4.20 Peramalan Pertumbuhan Penduduk Menggunakan *Exponential Smoothing*

Year	t	PNDDK	EXP. SMOOTHING		Forecast
		Y _t	L _t	T _t	Y (L _t +T _t)
2005	1	2698972	2937036,78	0,00	
2006	2	2784196	2799480,08	27511,34	2937037
2007	3	2829552	2823793,67	17146,35	2771969
2008	4	2902507	2892921,03	108,39	2806647
2009	5	2938225	2933705,44	8243,59	2893029
2010	6	2929528	2930770,10	6007,81	2941949
2011	7	3024321	3015566,69	21765,56	2936778
2012	8	3125576	3116751,63	37649,44	3037332
2013	9	3200454	3195848,71	45938,97	3154401
2014	10	3154401	3163139,72	30209,38	3241788
2015	11	3241788	3236943,82	38928,32	3193349

2016	12	3193349	3201601,40	24074,17	3275872
2017	13	3275872	3270852,48	33109,55	3225676
2018	14	3225676	3233504,22	19017,99	3303962
2019	15	3303962	3298818,05	28277,16	3252522
2020	16	3252522	3259979,51	14854,02	3327095
2021	17	3327095	3321869,04	24261,12	3274834
2022	18	3274834	3281963,20	11427,73	3346130
2023	19	3346130	3340856,24	20920,79	3293391
2024	20	3293391	3300229,53	8611,29	3361777
2025	21	3361777	3356483,41	18139,81	3308841
2026	22	3308841	3315419,07	6298,98	3374623

Setelah itu, data penduduk yang telah diproyeksikan hingga Tahun 2026 dapat dijadikan sebagai data masukan peramalan ekonometri pergerakan pesawat sesuai dengan persamaan 4.1. Tabel 4.21 memuat hasil analisis pergerakan pesawat Bandara Juanda hingga Tahun 2026 menggunakan metode regresi linear ekonometri.

Tabel 4.21 Peramalan Pergerakan Pesawat Bandara Juanda hingga 2026 Metode Ekonometri

<i>Year</i>	<i>PNDDK</i>	<i>Aircraft Volume</i>
2010	2941949	20235
2011	2936778	24498
2012	3037332	29034
2013	3154401	33268
2014	3241788	35718
2015	3193349	33974
2016	3275872	36945
2017	3225676	35138

2018	3303962	37956
2019	3252522	36104
2020	3327095	38789
2021	3274834	36907
2022	3346130	39474
2023	3293391	37575
2024	3361777	40037
2025	3308841	38132
2026	3374623	40500

Data Historis Penerbangan

4.3 Permodelan Emisi Karbon Total Bandara Juanda

Dalam hal ini, yang dimaksud adalah permodelan emisi karbon total Bandara Juanda akibat pertumbuhan penerbangan selama 10 tahun masa rencana. Yang telah diramalkan menggunakan metode ekonometri pada subbab 4.2.

Adapun cara untuk menghitung emisi karbon Bandara Juanda akibat pergerakan pesawat adalah sebagai berikut:

$$CO = \text{Emisi CO unit} \times \text{Pergerakan Pesawat tahun ke } - n$$

$$CH_4 = \text{Emisi CH}_4 \text{ unit} \times \text{Pergerakan Pesawat tahun ke } - n$$

$$CO_2 = \text{Emisi CO}_2 \text{ unit} \times \text{Pergerakan Pesawat tahun ke } - n$$

Karena terdapat keberagaman emisi yang dikeluarkan oleh pesawat guna mempermudah proses analisis, maka diperlukan nilai rerata dari masing-masing senyawa untuk dikalikan dengan pergerakan pesawat tahunan. Tabel 4.22 memuat beban karbon rerata seluruh pesawat.

Tabel 4.22 Rerata Beban Karbon Seluruh Pesawat

AIRCRAFT	Beban (Lbs)		
	CO	HC-	CO ₂
A-320	0,0017	0,00001	6147,04
ATR-72	0,0400	0,00004	20125,42
B-733	0,0032	0,00002	5616,70
B-734	0,0015	0,00001	5658,52
B-735	0,0109	0,00023	24082,05
B-738	0,0013	0,00001	4666,43
B-739	0,0078	0,00017	17348,18
B-747	0,0070	0,00015	15432,93
Rerata	0,0092	0,0001	12384,66

Nilai yang digunakan

Sehingga, diperoleh emisi karbon tiap tahun dan emisi karbon total hingga Tahun 2026 dengan mengalikan nilai beban masing-masing senyawa dengan volume penerbangan, seperti terlihat pada Tabel 4.23 dan Gambar 4.10, 4.11 dan 4.12 berikut. Contoh perhitungan :

Menghitung beban emisi CO, HC- dan CO₂ pada Tahun 2020.

Beban emisi CO rerata per unit = 0,033 Lbs

Beban emisi HC- rerata per unit = 0,00013 Lbs

Beban emisi CO₂ rerata per unit = 53318,77 Lbs

Volume pesawat Tahun 2020 = 36945 penerbangan

Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

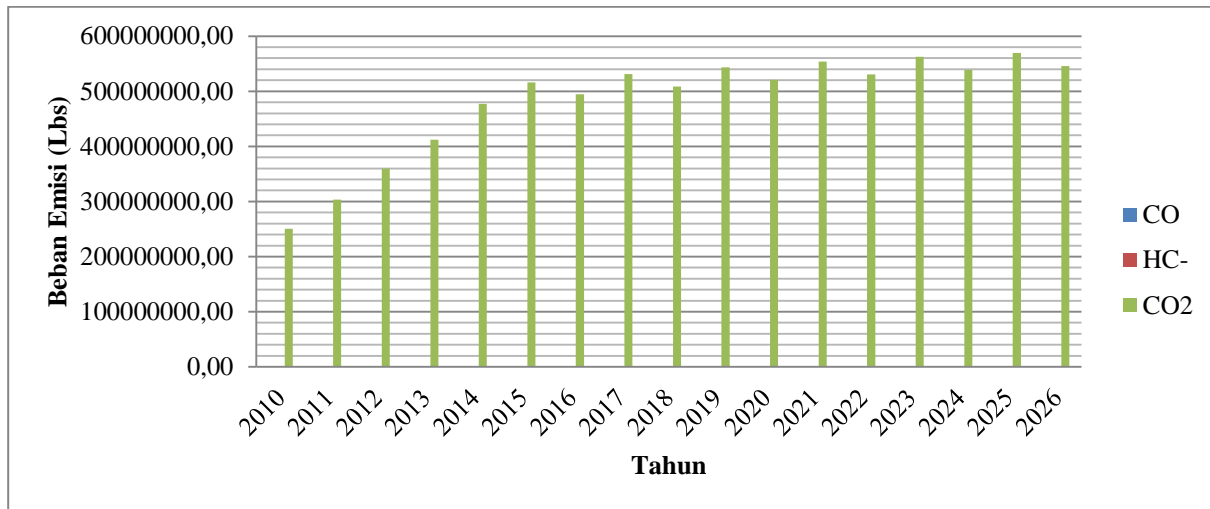
Beban emisi CO Tahun 2020 = 0,033 Lbs x 36945 = 1376,82 Lbs

Beban emisi HC- Tahun 2020 = 0,00013 Lbs x 36945 = 5,36 Lbs

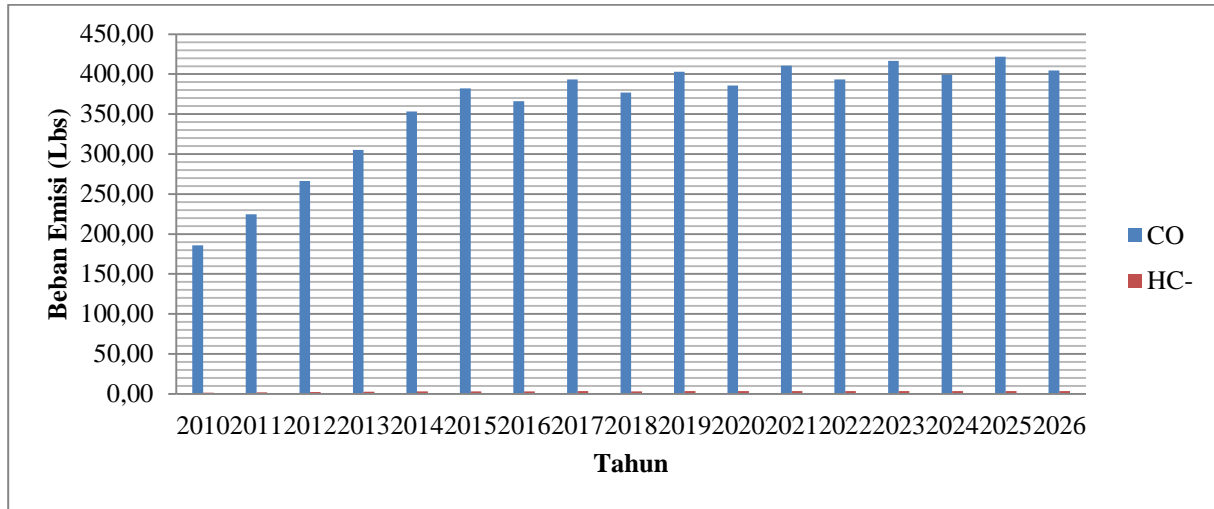
Beban emisi CO₂ Tahun 2020 = 53318,77 Lbs x 36945 = 2,24x10⁹ Lbs.

Tabel 4.23 Emisi Tahunan Bandara Juanda untuk CO, HC- dan CO₂

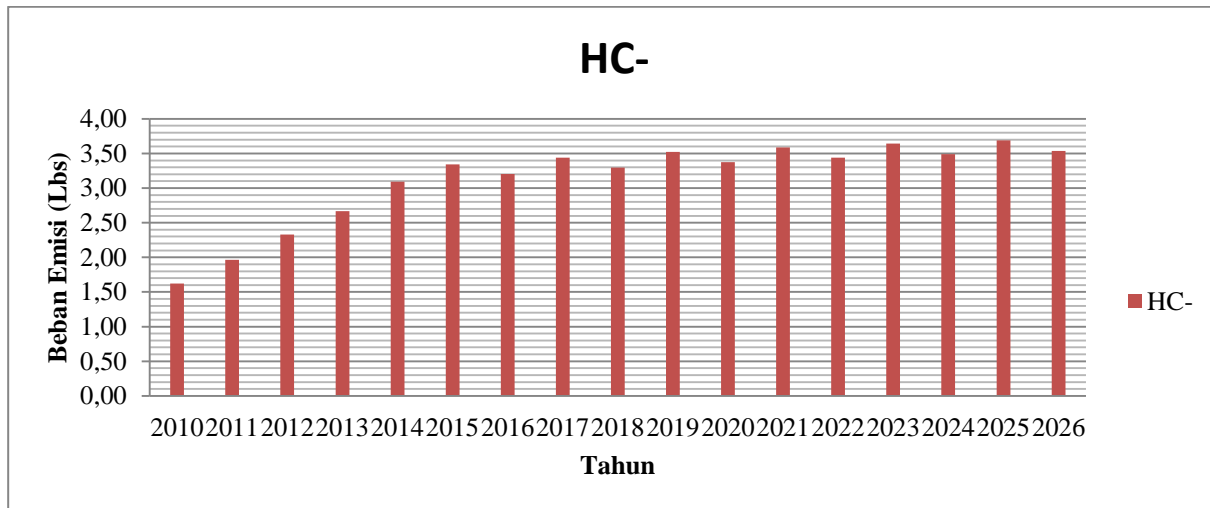
<i>Year</i>	<i>Aircraft Volume</i>	CO (Lbs)	HC- (Lbs)	CO ₂ (Lbs)
		0,0092	0,0001	12384,6597
2010	20235	185,67	1,62	250603589
2011	24498	224,78	1,97	303399394
2012	29034	266,40	2,33	359576210
2013	33268	305,25	2,67	412012859
2014	38515	353,40	3,09	476996349
2015	41661	382,26	3,34	515957472
2016	39917	366,26	3,20	494361243
2017	42888	393,52	3,44	531153953
2018	41081	376,94	3,30	508773930
2019	43899	402,80	3,52	543677770
2020	42047	385,81	3,37	520743443
2021	44732	410,44	3,59	553991645
2022	42851	393,18	3,44	530690895
2023	45417	416,73	3,64	562478337
2024	43519	399,31	3,49	538964666
2025	45981	421,90	3,69	569454457
2026	44075	404,41	3,54	545852970



Gambar 4.10 Emisi CO₂, CO dan HC- Juanda Tahunan



Gambar 4.11 Emisi CO dan HC- Juanda Tahunan



Gambar 4.12 Emisi HC- Juanda Tahunan

Berdasarkan hasil yang didapatkan pada Gambar 4.10, 4.11 dan 4.12, diketahui bahwa terdapat perbedaan signifikan antara beban emisi CO dan HC- dengan CO₂, hal ini disebabkan karena CO₂ merupakan senyawa yang paling banyak dihasilkan pada proses pembakaran bahan bakar pesawat saat *takeoff*. Akan tetapi ketiga senyawa tersebut memiliki pola persebaran yang serupa dilihat dari beban emisi tiap tahunnya.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat diperoleh beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Pergerakan pesawat total di Juanda berdasarkan hasil peramalan metode *exponential smoothing* dan regresi linear ekonometri, dengan faktor peubah kepadatan penduduk hingga tahun 2026, mengalami fluktuasi yang tidak begitu signifikan dan cenderung meningkat.
2. Faktor sosial dan ekonomi yang terbukti mempengaruhi perkembangan pergerakan pesawat berdasarkan analisis program bantu SPSS adalah pertumbuhan penduduk dengan tingkat pengaruh sebesar 74,3%, dan faktor pengaruh 0,035 ($<0,1$), sehingga layak digunakan sebagai data masukan peramalan ekonometri. Sedangkan GDP tidak memenuhi persyaratan karena tidak berpengaruh signifikan terhadap pergerakan pesawat dengan faktor pengaruh 0,116 ($>0,1$).
3. Beban emisi tertinggi diberikan oleh Karbon Dioksida, yang merupakan salah satu gas rumah kaca yang memicu efek rumah kaca sebesar $5,70 \times 10^8$ Lbs, sementara dua gas lain yakni Hidrokarbon (HC-) dan Karbon Monoksida (CO) yang juga memberi sumbangsih pada pencemaran lingkungan serta membahayakan kesehatan makhluk hidup, memiliki pola persebaran yang serupa dengan CO₂, dengan besar masing – masing 3,69 Lbs dan 421,90 Lbs.

5.2 Saran

Guna memberikan evaluasi dan meningkatkan kesadaran masyarakat, swasta dan pemerintah, maka penulis memberikan

beberapa saran terkait kondisi emisi karbon Bandara Juanda akibat pergerakan pesawat, antara lain:

1. Hasil studi ini dapat digunakan sebagai langkah awal untuk menentukan kebijakan dan pengembangan bandara yang memperhatikan faktor lingkungan.
2. Memperbanyak area terbuka hijau, sehingga emisi yang dikeluarkan pesawat tidak langsung tersebar ke atmosfer.
3. Fasilitas bandara yang menggunakan teknologi dan material yang mampu menyerap dan mengurangi emisiyang ditimbulkan pesawat.
4. Membangun fasilitas yang melindungi pengguna jasa penerbangan dan pengunjung bandara dari dampak emisi pesawat.
5. Menggunakan pesawat dengan teknologi mesin yang dapat mengurangi emisi.

Selain itu, guna meningkatkan kualitas analisis dan studi selanjutnya, terdapat beberapa masukan bagi penulis dan pihak yang terlibat dalam penyelesaian tugas ini, diantaranya:

1. Instansi pemegang kuasa bandara hendaknya, memberikan kemudahan untuk meninjau kinerja bandara demi kebaikan bersama.
2. Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai emisi dalam pengukuran langsung dan korelasinya dengan teori.
3. Perlu dilakukan studi dan analisis lebih lanjut mengenai faktor-faktor peramalan.
4. Perlu dilakukan analisis menyeluruh terhadap masing-masing jenis pesawat yang beroperasi setelah aktivasi Terminal 2 Juanda.

DAFTAR PUSTAKA

- Airplane Charateristic for Airport Planning : Airplane Performance.** D AC ENV. Airbus and Boeing Industries. 1990/1996/2003. Blagnac Cedex. Perancis.
- Angkasa Pura I (2014). **Laporan Pergerakan Pesawat.** Surabaya.
- Ashford, N.J., Mumayiz, S., dan Wright, P.H. 2011. **Airport Engineering Planning, Design and Development of 21st Century Airports.** Edisi ke 4. John Wiley & Sons, Inc.
- Atmosfer dan Dasar Pencemaran.** Assomadi. Modul Ajar Teknik Lingkungan ITS. 2010. Surabaya.
- Badan Pusat Statistik Kota Surabaya (2005-2014). **Surabaya Dalam Angka.** Surabaya.
- Civil Jet Aircraft Design: Aircraft Data File.** < URL:<http://www.booksite.elsevier.com/9780340741528/appendices/data-a/table-1-8/table.htm>>
- Definisi, Kasus, Mix Ratio (Konsentrasi) dan Regulasi.** Assomadi. Modul Ajar Teknik Lingkungan ITS. 2010. Surabaya.
- Eloy, R. Lozano, Walter W. Melvin Jr. & Seymour Occheiser (1968) **Air Pollution Emissions From Jet Engines,** Journal of The Air Pollution Control Association, 18:6, 392-394, DOI: 10.1080/00022470.1968.10469144.
- Flying Future Light 26ATR 7-600-P4. ATR DC/E Marketing. 2008. Blagnac Cedex. Perancis.
- Gujarati, D. 2004. **Basic Econometrics.** The McGraw-Hill, Inc.
- John, E. Hanke, Arthur G. Reitsch, Dean W. Wichern. 2001. **Business Forecasting.** Edisi ke 7. Prentice Hall.

- Horonjeff, R. McKelvey, F.X., Sproule, W.J., Young, S.B. 2010. **Planning and Design of Airports**. Edisi ke 5. The McGraw-Hill, Inc.
- ICAO Aircraft Engine Emissions Databank**. <URL:<https://easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank>>
- IPCC Emission Factor Database**. <URL:<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>>
- Juanda International Airport**, Betro, East Java, Indonesia. Google Earth. Januari. 2016
- Model Gauss untuk Dispersi Pencemaran Udara**. Assomadi. Modul Ajar Teknik Lingkungan ITS. 2010. Surabaya.
- Modelling of Econometrics**. Adhitya. Modul Ajar Statistika ITS. 2007. Surabaya.
- Performace : Takeoff and Landing**. <URL:<http://www.dept.aove.vt.edu/~lutze/AOE3104/takeoff&landing.pdf>>
- Perl, A. Patterson, J. Perez, M. 2001. "Pricing Aircraft Emission at Lyon-Satolas Airport". Pergamon. **Transportation System Part D 6**. 147-153
- Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca**. Peraturan Presiden Republik Indonesia. Nomor 61. 2011. Jakarta.
- Swatton P.J., 2008. **Aircraft Performance Theory and Practice for Pilots**. Edisi ke 2. John Wiley & Sons, Ltd.



Mochamad Sony Fahrizal

Penulis dilahirkan di Jombang pada 11 Agustus 1994, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di RA. Al-Hikmah, Jombang (1999-2000), MI Al-Hikmah, Jombang (2000-2006), MTs. Al-Hikmah Jombang (2006-2009) dan SMAN 10 Malang (2009-2012). Sebelum lulus dari SMA pada Tahun 2012, Penulis mengikuti Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SMPTN) melalui jalur seleksi tertulis dan diterima di Jurusan Teknik Sipil, FTSP, ITS pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3112100093. Di Jurusan Teknik Sipil ini Penulis adalah Mahasiswa Program Sarjana (S1) dengan Bidang Studi Transportasi.

Email : sony.fahrizal@gmail.com