

**ANALISIS DATA KECELAKAAN PESAWAT
TERBANG KOMERSIAL MENGGUNAKAN METODE
EXPLORATORY DATA ANALYSIS**

**Berdasarkan Database Bureau of Aircraft Accidents Archives (BAAA)
Tahun 1918 - 2020**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Strata 1**



Oleh

M. Daffa Badran Thoriq

09011181823012

**JURUSAN SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2022

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS DATA KECELAKAAN PESAWAT TERBANG KOMERSIAL MENGGUNAKAN METODE EXPLORATORY DATA ANALYSIS

Berdasarkan Database Bureau of Aircraft Accidents Archives (BAAA)
Tahun 1918 - 2020

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Strata 1

Oleh :

M. DAFFA BADRAN THORIQ

09011181823012

Palembang, 31 Maret 2022

Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer



Dr. Ir. H. Sukemi, M.T.

NIP. 196612032006041001

Pembimbing Tugas Akhir

Rossi Passarella, S.T., M.Eng.

NIP. 197806112010121004

HALAMAN PERSETUJUAN

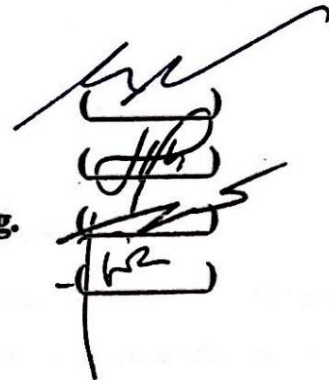
Telah diuji dan lulus pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 31 Maret 2022

Tim Penguji :

1. Ketua : Dr. Ir. H. Sukemi, M.T.
2. Sekretaris : Huda Ubaya, M.T.
3. Pembimbing : Rossi Passarella, S.T., M.Eng.
4. Penguji : Firdaus, M.Kom.



Mengetahui,
Ketua Jurusan Sistem Komputer



Dr. Ir. H. Sukemi, M.T.
NIP. 196612032006041001

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : M. Daffa Badran Thoriq

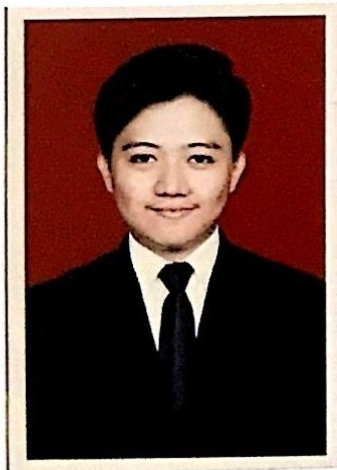
NIM : 09011181823012

Judul : Analisis Data Kecelakaan Pesawat Terbang Komersial
Menggunakan Metode *Exploratory Data Analysis*.

Hasil Pengecekan Software iTenticate / Turnitin : 6%

Menyatakan bahwa laporan tugas akhir saya merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan hasil penjiplakan / plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan / plagiat dalam laporan tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.



Palembang, 31 Maret 2022



M. Daffa Badran Thoriq

HALAMAN PERSEMBAHAN

Jangan pernah takut untuk bermimpi setinggi langit, walaupun orang-orang akan datang kepadamu untuk mengkritik dan menertawakan mimpimu tanpa memberi solusi, itu hal yang normal. Cobalah untuk tidak terpengaruh, dan fokuslah pada dirimu sendiri. Carilah teman, ilmu, dan pengalaman yang dapat membantumu berkembang sebanyak mungkin, karena mereka adalah assets yang tidak bernilai harganya. Selain itu, jangan takut pada kegagalan, kamu boleh gagal berkali-kali selama kamu masih muda, itu wajar. Kegagalan-kegagalan tersebut akan menguatkan mentalmu untuk terus berkembang, intropeksi diri, serta dapat menyusun rencanamu kedepan dengan lebih matang. Selama kamu telah berusaha dan bekerja keras, selalu ingatlah bahwa Tuhan tidak pernah tidur, dan ia telah menyiapkan sesuatu yang indah untukmu.

“Sejatinya semua orang memiliki kesempatan yang sama, tidak peduli darimana mereka berasal, universitas mereka, ataupun latar belakang keluarga mereka. Tetapi yang membedakan nasib dari setiap individu tersebut adalah ketika mereka berani atau tidak berkomitmen dan berkorban untuk menggapai kesempatan itu.”

< M. Daffa Badran Thoriq />

KATA PENGANTAR



Alhamdulillahrabbi'l'alamin. Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas segala karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan proposal tugas akhir ini dengan judul “Analisis Data Kecelakaan Pesawat Terbang Komersial Menggunakan Metode Exploratory Data Analysis”.

Dalam laporan ini penulis menjelaskan proses yang dilakukan dalam menganalisis data untuk menemukan pengetahuan-pengetahuan tersembunyi didalam sebuah data. Penulis berharap tulisan ini dapat bermanfaat bagi orang banyak, dan menjadi tambahan bahan bacaan bagi yang tertarik di analisis data.

Pada penyusunan laporan ini, penulis banyak mendapatkan ide dan saran serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT dan terimakasih kepada yang terhormat :

1. Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga pelaksanaan kerja praktek dan penulisan laporan kerja praktek ini dapat berjalan dengan lancar.
2. Kedua orang tua saya (Edwar Hermansyah, S.E dan Devi Afriani, S.E), adik saya (Jihan Jasmine Jahroo), beserta seluruh keluarga yang selalu mendoakan serta memberikan motivasi dan semangat.
3. Bapak Jaidan Jauhari, S.Pd. M.T selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Ir. H. Sukemi, M.T selaku Ketua Jurusan Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Rossi Passarella, S.T., M.Eng. selaku Pembimbing Tugas Akhir Penulis yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing pembuatan

tugas akhir, memberikan saran dan motivasi, serta bimbingan terbaik untuk penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

6. Bapak Dr. Ir. Bambang Tutuko, M.T. selaku Pembimbing Akademik Jurusan Sistem Komputer.
7. Mbak Renny Virgasari selaku Admin Jurusan Sistem Komputer, yang telah membantu saya selama perkuliahan dalam urusan administrasi, serta memberikan motivasi.
8. Mbak Sari Nuzulastri selaku Admin Jurusan Sistem Komputer, yang sudah membantu proses administrasi, serta memberikan motivasi kepada Penulis.
9. Kepada team research transportasi: Gulfi Oktariani, Nadya Lucyana, M. Dion Iqbal, Meita Aryani, Surya Fajri Alfitra.
10. Kepada team JosmanTech: A. A Josman Pratama dan M. Wahyu Fadli yang turut membantu ketika Penulis membutuhkan bantuan apapun.
11. Seluruh teman-teman Jurusan Sistem Komputer khususnya kelas unggulan angkatan 2018 yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.
12. Dan semua pihak yang telah membantu.

Penulis menyadari bahwa Laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar dapat menjadi lebih baik lagi dikemudian hari.

Akhir kata dengan segala keterbatasan, penulis berharap semoga laporan ini menghasilkan sesuatu yang bermanfaat bagi seluruh pihak, khususnya bagi mahasiswa Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya secara langsung ataupun tidak langsung sebagai sumbangan pikiran dalam peningkatan mutu pembelajaran.

Palembang, 31 Maret 2022



M. Daffa Badran Thoriq

ANALYSIS ON COMMERCIAL AIRCRAFT ACCIDENTS DATA USING EXPLORATORY DATA ANALYSIS METHOD

M. Daffa Badran Thoriq (09011181823012)

Dept. Of Computer Engineering, Faculty of Computer Science, Sriwijaya University

Email : daffabadrant@gmail.com

ABSTRACT

This research aims to analyze the changes on commercial aircraft accidents and fatalities graphs per year, before and after ICAO establishment, to see how effective ICAO's role as an international aviation safety organization is in tackling the number of accidents and fatalities of worldwide commercial aircrafts. The methods that used in this research are Descriptive Statistics and Exploratory Data Analysis, which are used to describe the characteristics of each selected variables, then analyze the relations of the selected variables to answer the research questions which defined before. The result of this research showed that there is a trend in which the graph of the number of accidents per year decreased by 3.37% in the periode (1948-2020) after the establishment of ICAO, but the graph of the number of fatalities per year increased very significantly by 78.5%, even though the number of accidents is lower. This trend can happen because of the evolution of the size of commercial aircrafts that are getting bigger, as the number of passengers on airplanes grows significantly each year.

Keywords : Aviation Accidents, Commercial Aircrafts, Descriptive Statistics, Exploratory Data Analysis, ICAO, Data Analysis, Commercial Aircraft Evolution.

Palembang, March, 31st 2022

Acknowledged,
Head of Computer System Department



Dr. Ir. H. Sukemi, M.T.
NIP. 196612032006041001

Supervisor

Rossi Passarella, S.T., M.ENG
NIP. 197806112010121004

ANALISIS DATA KECELAKAAN PESAWAT TERBANG KOMERSIAL MENGGUNAKAN METODE EXPLORATORY DATA ANALYSIS

M. Daffa Badran Thoriq (09011181823012)

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya

Email : daffabadrant@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan terhadap grafik jumlah kecelakaan dan kematian pesawat terbang komersial per tahun sebelum dan setelah dibentuknya ICAO, untuk melihat seberapa efektif peran ICAO sebagai organisasi keselamatan penerbangan sipil internasional dalam menanggulangi jumlah kecelakaan dan kematian pesawat terbang komersial di seluruh dunia. Metode yang digunakan adalah metode *Descriptive Statistics* dan *Exploratory Data Analysis*, yang digunakan untuk mendeskripsikan karakteristik dari setiap variabel yang digunakan, lalu menganalisis relasi antar variabel tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat sebuah *trend* dimana grafik jumlah kecelakaan per tahun mengalami penurunan sebesar 3.37% pada periode tahun 1948-2020 setelah dibentuknya ICAO, tetapi grafik jumlah kematian per tahun justru mengalami peningkatan yang sangat signifikan sebesar 78.5% walaupun dengan jumlah kecelakaan yang lebih rendah. Hal ini dapat terjadi karena adanya evolusi terhadap ukuran dari pesawat terbang komersial yang semakin besar, seiring berkembangnya jumlah penumpang pesawat terbang setiap tahunnya.

Kata kunci : Kecelakaan penerbangan, Penerbangan Komersial, *Descriptive Statistics*, *Exploratory Data Analysis*, ICAO, Analisis Data, Evolusi Pesawat Terbang Komersial.

Palembang, 31 Maret 2022

Mengetahui,
Ketua Jurusan Sistem Komputer



Dr. H. H. Sukemi, M.T.

NIP. 196612032006041001

Pembimbing Tugas Akhir

Rossi Passarella, S.T., M.ENG

NIP. 197806112010121004

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRACT.....	viii
ABSTRAK.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
1 BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Metodologi Penelitian	5
1.7 Sistematika Penelitian	5
2 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Terkait	7
2.2 Sejarah ICAO	11
2.3 Kecelakaan Penerbangan.....	12
2.4 Penerbangan Sipil.....	13
2.4.1 Penerbangan Komersial	14
2.5 Data Analysis	15
2.5.1 Determine Analysis Objectives.....	15
2.5.2 Data Collection.....	15
2.5.3 Data Preprocessing.....	16

2.5.4	Descriptive Statistics	18
2.5.5	Exploratory Data Analysis (EDA)	28
2.5.6	Interpret the Analysis Results	28
3	BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1	Tahapan Penelitian	29
3.2	Determine Analysis Objectives	30
3.3	Data Collection	30
3.4	Data Preprocessing	31
3.4.1	Load Data	31
3.4.2	Rename Variable's Name	31
3.4.3	Add Years Variable	32
3.4.4	Check and Remove Null Values	32
3.4.5	Variables Selection	32
3.4.6	Remove Non-commercial Flight Data	32
3.4.7	Remove Data with "Unknown Reason" on Probable Causes Variable 33	
3.4.8	Remove Data with Zero Value on Total On Boards Variable	33
3.5	Descriptive Statistics	34
3.5.1	Quantitative Data	34
3.5.2	Qualitative Data	37
3.6	Exploratory Data Analysis (EDA)	37
4	BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1	Descriptive Statistics	38
4.1.1	The Variables with Quantitative Data Type	38
4.1.2	The Variables with Qualitative Data Type	54
4.2	Exploratory Data Analysis	59
4.2.1	General Comparison of Number of Accidents and Fatalities per Year	59
4.2.2	General Comparison of Number of On Boards and Fatalities per Year	61
4.2.3	Comparison Number of Accidents and Fatalities by Flight Types .	63

4.2.4	Comparison Number of Accidents and Fatalities by Probable Causes	72
4.2.5	Trend Analysis	86
4.2.6	The Effects of Aircraft Evolution to The Number of Accidents and Fatalities per Year	87
5	BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	91
5.1	KESIMPULAN	91
5.2	SARAN	92
6	DAFTAR PUSTAKA	93
7	LAMPIRAN.....	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi penerbangan sipil berdasarkan ICAO.....	14
Gambar 2.2 Jenis distribusi data berdasarkan parameter mean, median, dan mode.....	20
Gambar 2.3 Persebaran setiap nilai dari titik pusat distribusi data pada kondisi (a). Low dispersion; (b). High dispersion	22
Gambar 2.4 Jenis kurva distribusi data berdasarkan nilai kurtosis.....	27
Gambar 3.1 Tahap Penelitian	29
Gambar 4.1 Pengukuran frekuensi kemunculan (measures of frequency) pada variabel years	39
Gambar 4.2 Pengukuran frekuensi kemunculan (measures of frequency) pada variabel total_fatalities	40
Gambar 4.3 Pengukuran frekuensi kemunculan (measures of frequency) pada variabel total_on_boards	41
Gambar 4.4 Grafik pengukuran pengukuran titik pusat distribusi data (measures of central tendency) pada variabel years	43
Gambar 4.5 Grafik pengukuran titik pusat distribusi data (measures of central tendency) pada variabel total_fatalities.....	44
Gambar 4.6 Grafik pengukuran titik pusat distribusi data (measures of central tendency) pada variabel total_on_boards.....	46
Gambar 4.7 Grafik persebaran titik data dari titik pusat distribusi data pada variabel years	47
Gambar 4.8 Grafik persebaran titik data dari titik pusat distribusi data pada variabel total_fatalities	49
Gambar 4.9 Grafik persebaran titik data dari titik pusat distribusi data pada variabel total_on_boards	51
Gambar 4.10 Frekuensi kemunculan masing-masing kategori aktivitas penerbangan komersial pada variabel flight_types	55
Gambar 4.11 Frekuensi kemunculan pada masing-masing kategori penyebab kecelakaan pesawat terbang komersial pada variabel probable_causes	56

Gambar 4.12 Persentase masing-masing kategori aktivitas penerbangan komersial pada variabel flight_types	57
Gambar 4.13 Visualisasi persentase masing-masing kategori penyebab kecelakaan pesawat terbang komersial pada variabel probable_causes	58
Gambar 4.14 Grafik jumlah kecelakaan pesawat terbang komersial per tahun selama periode tahun 1918-2020	60
Gambar 4.15 Grafik jumlah kematian pesawat terbang komersial per tahun selama periode tahun 1918-2020	60
Gambar 4.16 Grafik persebaran data persentase jumlah kematian per jumlah orang yang berada didalam pesawat terbang untuk 10 tahun sebelum dan setelah ICAO	61
Gambar 4.17 Grafik perbandingan jumlah kematian dan orang didalam pesawat terbang komersial per tahun secara general selama periode tahun 1918-2020.....	62
Gambar 4.18 Grafik jumlah kecelakaan pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori aktivitas penerbangan scheduled revenue flight.....	64
Gambar 4.19 Grafik jumlah kematian pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori aktivitas penerbangan scheduled revenue flight.....	65
Gambar 4.20 Grafik jumlah kecelakaan pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori aktivitas penerbangan charter / taxi.....	66
Gambar 4.21 Grafik jumlah kematian pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori aktivitas penerbangan charter / taxi.....	67
Gambar 4.22 Grafik jumlah kecelakaan pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori aktivitas penerbangan postal.....	68
Gambar 4.23 Grafik jumlah kematian pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori aktivitas penerbangan postal.....	69
Gambar 4.24 Grafik jumlah kecelakaan pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori aktivitas penerbangan cargo.	70
Gambar 4.25 Grafik jumlah kematian pesawat terbang komersial per tahun dengan jenis aktivitas penerbangan cargo.....	71
Gambar 4.26 Grafik jumlah kecelakaan pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori penyebab kecelakan technical factors.	73

Gambar 4.27	Grafik jumlah kematian pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori penyebab kecelakaan technical factors.....	74
Gambar 4.28	Grafik jumlah kecelakaan pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori penyebab kecelakaan conflict factors.....	75
Gambar 4.29	Grafik jumlah kematian pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori penyebab kecelakaan conflict factors.....	76
Gambar 4.30	Grafik jumlah kecelakaan pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori penyebab kecelakaan human errors.....	77
Gambar 4.31	Grafik jumlah kematian pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori penyebab kecelakaan human errors.....	78
Gambar 4.32	Grafik jumlah kecelakaan pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori penyebab kecelakaan poor weather.	79
Gambar 4.33	Grafik jumlah kematian pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori penyebab kecelakaan poor weather.	80
Gambar 4.34	Grafik jumlah kecelakaan pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori penyebab kecelakaan disappeared without trace.....	82
Gambar 4.35	Grafik jumlah kematian pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori penyebab kecelakaan disappeared without trace.....	83
Gambar 4.36	Grafik jumlah kecelakaan pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori penyebab kecelakaan crashing the other objects.	84
Gambar 4.37	Grafik jumlah kematian pesawat terbang komersial per tahun dengan kategori penyebab kecelakaan crashing the other objects.	85
Gambar 4.38	Grafik Trend pada variabel total_on_boards, total_fatalities, dan total_accidents.....	86
Gambar 4.39	Grafik evolusi pesawat terbang komersial terhadap jumlah kecelakaan per tahun.....	88
Gambar 4.40	Grafik evolusi pesawat terbang komersial terhadap jumlah kematian per tahun.....	88
Gambar 4.41	Grafik evolusi pesawat terbang komersial terhadap jumlah penumpang dan kru per tahun.....	89

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil perhitungan parameter pengukuran pemusatan data (measures of central tendency) pada variabel years	42
Tabel 4.2 Hasil perhitungan parameter pemusatan data (measures of central tendency) pada variabel total_fatalities.....	44
Tabel 4.3 Hasil perhitungan parameter pemusatan data (measures of central tendency) pada variabel total_on_boards.....	45
Tabel 4.4 Hasil perhitungan parameter dispersi data (measures of dispersion) pada variabel years	47
Tabel 4.5 Hasil perhitungan parameter dispersi data (measures of dispersion) pada variabel total fatalities	48
Tabel 4.6 Hasil perhitungan parameter dispersi data (measures of dispersion) pada variabel total_on_boards	50
Tabel 4.7 Hasil perhitungan parameter skewness dan kurtosis pada variabel years	52
Tabel 4.8 Hasil perhitungan parameter skewness dan kurtosis pada variabel total_fatalities.....	53
Tabel 4.9 Hasil perhitungan parameter skewness dan kurtosis pada variabel total_on_boards.....	54

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Code program import libraries.....	98
Lampiran 2. Code program load data.....	98
Lampiran 3. Data Preprocessing - Data Transformation.....	98
Lampiran 4. Data Preprocessing - Data Cleaning	98
Lampiran 5. Data Preprocessing - Data Reduction	99
Lampiran 6. Code program descriptive statistics (measures of frequency)	99
Lampiran 7. Code program descriptive statistics (measures of central tendency)	100
Lampiran 8. Code program descriptive statistics (measures of dispersion).....	102
Lampiran 9. Code program descriptive statistics (skewness dan kurtosis).....	104
Lampiran 10. Code program descriptive staticstics (frequency distribution) ...	105
Lampiran 11. Code program descriptive statistics (category percentages).....	105
Lampiran 12. Code program analisis relasi antar variabel dengan metode EDA	106
Lampiran 13. ICAO Annexes 1-19	108

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, pesawat terbang telah menjadi salah satu alat transportasi udara utama bagi masyarakat dunia. Selama beberapa dekade terakhir, industri penerbangan telah mengalami peningkatan volume dan frekuensi lalu lintas udara yang stabil di seluruh dunia, terkhusus operasi penerbangan komersial yang diperkirakan akan melipat gandakan volume dan kompleksitasnya selama periode tersebut. Menurut data IEA (*International Energy Agency*) [1], dari periode tahun 1980 – 2020, terdapat peningkatan yang signifikan terhadap grafik jumlah penumpang pesawat terbang, dimana puncaknya adalah tahun 2019 dengan penumpang berjumlah 4.6 miliar orang. Angka-angka tersebut menunjukkan seberapa penting dan populer pesawat terbang sebagai salah satu mode transportasi utama masyarakat dunia. Selain itu, diperkirakan bahwa permintaan perjalanan udara, khususnya komersial akan terus mengalami peningkatan sekitar 1,8% per tahunnya [2].

Peningkatan permintaan tersebut terjadi bukan tanpa alasan. Salah satunya karena tingkat kecelakaan fatal yang melibatkan penerbangan menurun drastis dari periode tahun 1970 – 1979, sehingga transportasi udara disebut sebagai jenis transportasi paling aman dibandingkan jenis transportasi lainnya [3]. Selain itu, menurut data *Bureau of Transportation Statistics* [4], selama periode 1960 – 2020, transportasi udara memiliki rata-rata *accidents* sebesar 0.0428% dan *fatalities* sebesar 1.865%, jauh lebih rendah dibandingkan mode transportasi lainnya seperti transportasi kereta api dengan rata-rata *accidents* sebesar 0.305% dan *fatalities* sebesar 2.09%, serta transportasi jalan raya dengan rata-rata *accidents* sebesar 99.65% dan *fatalities* sebesar 96.04%. Hal ini dapat terjadi dikarenakan industri penerbangan diseluruh dunia telah melakukan peningkatan dan inovasi terhadap desain, keandalan, dan keamanan dari pesawat terbang yang digunakan [5].

Selain karena peningkatan pada beberapa aspek tersebut, angka jumlah kecelakaan dan kematian yang rendah juga dapat terjadi dikarenakan terdapat

sebuah organisasi yang memiliki tugas untuk mengatur regulasi keselamatan penerbangan sipil secara internasional, yaitu ICAO (*International Civil Aviation Organization*) [6], dimana standar, prosedur, dan regulasi yang telah disetujui secara internasional tersebut dimasukkan kedalam sebuah dokumen dengan nama ICAO *annexes* [7].

Meskipun telah ada suatu organisasi yang mengatur regulasi keselamatan penerbangan sipil secara internasional, tetapi kecelakaan pesawat terbang tetap saja terjadi hingga sekarang. Terkhusus untuk jenis penerbangan komersial yang membawa lebih dari 100 - 350 orang penumpang untuk perjalanan dengan jarak pendek (*short range*), dan lebih dari 450 orang penumpang untuk perjalanan dengan jarak jauh (*long range*) [8].

Dengan kecelakaan yang masih terjadi, muncul pertanyaan mengenai bagaimana peran dari ICAO dalam menjaga keselamatan dan keamanan lalu lintas penerbangan dunia. Apakah standar dan regulasi yang telah ditetapkan secara internasional tersebut dapat memberikan suatu perubahan yang signifikan terhadap jumlah kecelakaan dan kematian pesawat terbang, serta faktor-faktor penyebab kecelakaan saat sebelum dan setelah organisasi tersebut dibentuk. Oleh karena itu, peneliti ingin melakukan suatu analisis terhadap data kecelakaan pesawat terbang dunia pada saat sebelum dan setelah ICAO dibentuk, untuk melihat seberapa efektif peran ICAO dalam menjalankan tugasnya sebagai organisasi keselamatan penerbangan sipil internasional, sehingga dapat menjamin pelayanan transportasi umum yang baik diseluruh dunia. Hal ini dikarenakan dengan analisis yang valid dan akurat tidak hanya dapat mengurangi kerugian ekonomi dan korban jiwa, tapi juga mempercepat pengembangan manajemen keselamatan penerbangan sipil [9].

Untuk dapat menyelesaikan permasalahan tersebut, maka dibutuhkan metode analisis yang dapat menginvestigasi karakteristik dan mengekstrak *insights* yang tersembunyi pada data kecelakaan pesawat terbang dunia yang digunakan. Oleh karena itu metode analisis yang digunakan adalah *descriptive statistics* [10] dan EDA (*Exploratory Data Analysis*) [11]. Kedua metode analisis tersebut akan digunakan untuk mendeskripsikan karakteristik data kecelakaan pesawat terbang dengan bantuan perhitungan statistik, lalu mencari

relasi dari setiap variabel yang digunakan. Dari setiap relasi yang ditemukan, peneliti dapat menganalisis apakah terdapat perubahan terhadap grafik jumlah kecelakaan dan kematian sebelum dan setelah dibentuknya ICAO pada data kecelakaan pesawat terbang sipil dunia yang digunakan.

Dari penelitian yang dilakukan, peneliti membangun sebuah *research question* mengenai seberapa efektif ICAO dalam menanggulangi jumlah kecelakaan dan kematian pesawat terbang komersial di seluruh dunia setiap tahunnya, dan apakah terdapat perubahan yang positif pada jumlah kecelakaan dan kematian pesawat terbang komersial setelah dibentuknya organisasi tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian mengenai kecelakaan pesawat terbang komersial sebelumnya, maka peneliti dapat merumuskan masalah seperti berikut :

- a. Apa saja tahap yang dilakukan sebelum dapat menganalisis data kecelakaan pesawat terbang komersial yang digunakan ?
- b. Bagaimana karakteristik dan pola dari data kecelakaan pesawat terbang komersial yang digunakan ?
- c. Berapa banyak relasi antar variabel yang dapat dihasilkan dari hasil analisis data yang digunakan ?
- d. Apa saja yang peran ICAO dalam menjalankan tugasnya sebagai organisasi keselamatan penerbangan sipil internasional ?
- e. Apakah terdapat penurunan terhadap jumlah dan intensitas kecelakaan dan kematian pesawat terbang komersial setelah dibentuknya ICAO ?

1.3 Batasan Masalah

- a. Raw data yang dikumpulkan berasal dari website BAAA (*Bureau of Aircraft Accidents Archives*).
- b. Data yang digunakan untuk keperluan analisis adalah data kecelakaan pesawat terbang komersial dengan *region world*, yang dimulai dari tanggal 1 Januari 1918 – 31 Desember 2020.

- c. Metode analisis data yang digunakan adalah *descriptive statistics* dan *exploratory data analysis*.
- d. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah python, sementara *software* yang digunakan untuk menjalankan kode program adalah *jupyter notebook* dan *google colab*.

1.4 Tujuan

- a. Menganalisis data kecelakaan pesawat terbang komersial BAAA yang sebelumnya hanya dikumpulkan saja.
- b. Menemukan wawasan dan fakta yang tersembunyi berdasarkan hasil analisis data kecelakaan pesawat terbang komersial BAAA.
- c. Mengetahui karakteristik dari data kecelakaan pesawat terbang komersial BAAA yang digunakan.
- d. Menganalisis perubahan terhadap grafik jumlah kecelakaan dan kematian pesawat terbang komersial per tahun, sebelum dan setelah dibentuknya ICAO.
- e. Mengimplementasikan penggunaan metode *descriptive statistics* dan *exploratory data analysis* dalam mendeskripsikan dan menganalisis data kecelakaan pesawat terbang komersial BAAA, sehingga dapat menjadi suatu informasi yang berguna bagi pengguna data.

1.5 Manfaat

- a. Menjadikan data BAAA menjadi data yang lebih informatif, karena dengan penelitian yang dilakukan akan dapat menghasilkan pengetahuan dan wawasan tambahan.
- b. Mengetahui *insights* dan kesimpulan dari analisis yang digunakan, sehingga dapat menjawab setiap *research question* yang telah ditentukan sebelumnya.
- c. Dapat mengimplementasikan dua metode analisis *Descriptive Statistics* dan *Exploratory Data Analysis* terhadap kasus kecelakaan pesawat terbang komersial dunia yang digunakan.

1.6 Metodologi Penelitian

Metode yang akan digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Tahap Pertama (Mengidentifikasi dan merumuskan masalah)

Pada tahap pertama ini akan diawali dengan mengidentifikasi masalah yang sesuai dan berkaitan untuk diangkat sebagai subjek penelitian. Lalu mencari beberapa sumber seperti artikel, jurnal buku, internet dan sumber-sumber lainnya yang berhubungan dengan tugas akhir.

2. Tahap Kedua (Perancangan)

Pada tahap kedua akan membahas masalah bagaimana proses menyusun tahapan atau pendekatan tertentu dalam mengimplementasikan metode analisis yang digunakan.

3. Tahap Ketiga (Pengujian)

Tahap ketiga akan memaparkan bagaimana cara eksekusi setiap tahapan penelitian yang dijelaskan pada tahap sebelumnya, sehingga didapatkan hasil pengujian yang sesuai dan tepat secara konsep maupun praktis.

4. Tahap Keempat (Analisa)

Pada tahap keempat ini dilakukan analisa terhadap hasil pengujian sebelumnya, dengan menggunakan pendekatan tertentu untuk memperoleh hasil analisis yang objektif.

5. Tahap Kelima (Kesimpulan)

Pada tahap ini, akan suatu kesimpulan yang di dapatkan dari hasil tahapan-tahapan sebelumnya, yang dirangkum dengan singkat, padat, dan jelas.

1.7 Sistematika Penelitian

Untuk mempermudah dalam proses penyusunan tugas akhir dan memperjelas isi dari setiap bab dan sub bab, maka dibuat secara sistematika penelitian sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan umum secara sistematis mengenai topik penelitian yang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, metodologi penelitian dan sistematika penelitian.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi dasar teori mengenai ICAO, jenis penerbangan, kecelakaan pesawat terbang, metode analisis yang digunakan, dan teori lainnya yang berkaitan dengan subjek penelitian.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menafsirkan secara sistematis bagaimana proses penelitian dilakukan. Penjelasan pada bab ini mencakup tahapan yang dilakukan dalam analisis data, dan penerapan tahapan-tahapan tersebut dalam penelitian yang dilakuakn.

BAB 4. HASIL DAN ANALISA

Bab ini memaparkan bagaimana cara eksekusi dari setiap tahapan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Lalu melakukan analisa terhadap hasil implementasi metode analisis data terhadap data kecelakaan pesawat terbang komersial BAAA yang digunakan.

BAB 5. KESIMPULAN

Bab ini berisi hasil akhir dari penelitian yang dilakukan, yang dirangkum dengan lebih padat, singkat dan mudah dimengerti. Serta dapat menjawab seluruh pertanyaan pada rumusan masalah dan hipotesis awal yang telah dibangun sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “World air passenger traffic evolution, 1980-2020.” <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-air-passenger-traffic-evolution-1980-2020> (accessed Jun. 20, 2021).
- [2] T. G. Puranik, N. Rodriguez, and D. N. Mavris, “Towards nline prediction of safety-critical landing metrics in aviation using supervised machine learning,” *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 120, no. April, p. 102819, 2020, doi: 10.1016/j.trc.2020.102819.
- [3] S. K. Ekman and M. Debacker, “Survivability of occupants in commercial passenger aircraft accidents,” *Saf. Sci.*, vol. 104, no. June 2017, pp. 91–98, 2018, doi: 10.1016/j.ssci.2017.12.039.
- [4] “Transportation Fatalities by Mode | Bureau of Transportation Statistics.” <https://www.bts.gov/content/transportation-fatalities-mode> (accessed Jun. 16, 2021).
- [5] D. Kelly and M. Efthymiou, “An analysis of human factors in fifty controlled flight into terrain aviation accidents from 2007 to 2017,” *J. Safety Res.*, vol. 69, pp. 155–165, 2019, doi: 10.1016/j.jsr.2019.03.009.
- [6] J. Huang, “Aviation safety, ICAO and obligations erga omnes,” *Chinese J. Int. Law*, vol. 8, no. 1, pp. 63–79, 2009, doi: 10.1093/chinesejil/jmn039.
- [7] P. Dumberry, “Annexes 1 to 3,” *State Succession to Int. Responsib.*, pp. 417–439, 2009, doi: 10.1163/ej.9789004158825.i-520.46.
- [8] R. K. Nangia, “Efficiency parameters for modern commercial aircraft,” *Aeronaut. J.*, vol. 110, no. 1110, pp. 495–510, 2006, doi: 10.1017/S0001924000001391.
- [9] Y. Li, “Analysis and Forecast of Global Civil Aviation Accidents for the Period 1942-2016,” *Math. Probl. Eng.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/5710984.
- [10] K. W. Herbst *et al.*, “Don’t be mean, be above average: Understanding data distribution and descriptive statistics,” *J. Pediatr. Urol.*, vol. 16, no. 5, p. 712, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.jpuro.2020.09.007.
- [11] H. B. Sankaranarayanan, G. Agarwal, and V. Rathod, “An exploratory data analysis of airport wait times using big data visualisation techniques,” *2016 Int. Conf. Comput. Syst. Inf. Technol. Sustain. Solut. CSITSS 2016*, pp. 324–329, 2016, doi: 10.1109/CSITSS.2016.7779379.
- [12] H. Kharoufah, J. Murray, G. Baxter, and G. Wild, “A review of human factors causations in commercial air transport accidents and incidents: From to 2000–2016,” *Prog. Aerosp. Sci.*, vol. 99, no. March, pp. 1–13, 2018, doi: 10.1016/j.paerosci.2018.03.002.
- [13] K. Iwadare and T. Oyama, “Statistical Data Analyses on Aircraft Accidents in Japan: Occurrences, Causes and Countermeasures,” *Am. J. Oper. Res.*, vol. 05, no. 03, pp. 222–245, 2015, doi: 10.4236/ajor.2015.53018.
- [14] K. Button, A. Clarke, G. Palubinskas, R. Stough, and M. Thibault, “Conforming with ICAO safety oversight standards,” *J. Air Transp. Manag.*, vol. 10, no. 4, pp. 249–255, 2004, doi: 10.1016/j.jairtraman.2004.02.004.

- [15] “What is The ICAO, and What Do They Do?” <https://aerocorner.com/blog/icao/> (accessed Jun. 10, 2021).
- [16] I. Standards, R. Practices, and I. C. Aviation, *Aircraft Accident and Incident Investigation Catalogue of ICAO Publications*, no. July. 2001.
- [17] “airplane - Civil aircraft | Britannica.” <https://www.britannica.com/technology/airplane/Civil-aircraft> (accessed Jun. 13, 2021).
- [18] ICAO, “Review of the Classification and Definitions Used for Civil Aviation Activities,” no. August 2008, pp. 1–9, 2009.
- [19] ICAO, *Operation of Aircraft*, no. July. 2010.
- [20] “5 Steps of the Data Analysis Process.” <https://learn.g2.com/data-analysis-process> (accessed Jun. 13, 2021).
- [21] A. Famili, W. M. Shen, R. Weber, and E. Simoudis, “Data preprocessing and intelligent data analysis,” *Intell. Data Anal.*, vol. 1, no. 1, pp. 3–23, 1997, doi: 10.3233/IDA-1997-1102.
- [22] “The 5 Steps of the Data Analysis Process | by Kunal Gohrani | Medium.” https://medium.com/@kunal_gohrani/the-5-steps-of-the-data-analysis-process-2512ba6ac31e (accessed Jun. 15, 2021).
- [23] E. Paradis, B. O’Brien, L. Nimmon, G. Bandiera, and M. A. T. Martimianakis, “Design: Selection of Data Collection Methods,” *J. Grad. Med. Educ.*, vol. 8, no. 2, pp. 263–264, 2016, doi: 10.4300/JGME-D-16-00098.1.
- [24] V. O. Ajayi, “Primary Sources of Data and Secondary Sources of Data,” no. September, pp. 1–6, 2017, doi: 10.13140/RG.2.2.24292.68481.
- [25] S. Lefever, M. Dal, and Á. Matthíasdóttir, “Online data collection in academic research: Advantages and limitations,” *Br. J. Educ. Technol.*, vol. 38, no. 4, pp. 574–582, 2007, doi: 10.1111/j.1467-8535.2006.00638.x.
- [26] “Data Preprocessing in Detail.” [https://developer.ibm.com/articles/data-preprocessing-in-detail/#:~:text=To make the process easier,data reduction%2C and data transformation.](https://developer.ibm.com/articles/data-preprocessing-in-detail/#:~:text=To%20make%20the%20process%20easier,data%20reduction%20and%20data%20transformation.) (accessed Jun. 24, 2021).
- [27] D. Barapatre and A. Vijayalakshmi, “Data preparation on large datasets for data science,” *Asian J. Pharm. Clin. Res.*, vol. 10, pp. 485–488, 2017, doi: 10.22159/ajpcr.2017.v10s1.20526.
- [28] H. Benhar, A. Idri, and J. L. Fernández-Alemán, “Data preprocessing for heart disease classification: A systematic literature review,” *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 195, p. 105635, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.cmpb.2020.105635.
- [29] S. García, J. Luengo, and F. Herrera, “Tutorial on practical tips of the most influential data preprocessing algorithms in data mining,” *Knowledge-Based Syst.*, vol. 98, pp. 1–29, 2016, doi: 10.1016/j.knosys.2015.12.006.
- [30] J. J. Davis and A. J. Clark, “Data preprocessing for anomaly based network intrusion detection: A review,” *Comput. Secur.*, vol. 30, no. 6–7, pp. 353–375, 2011, doi: 10.1016/j.cose.2011.05.008.
- [31] “statistics | Definition, Types, & Importance | Britannica.” <https://www.britannica.com/science/statistics> (accessed Jun. 11, 2021).
- [32] M. J. Fisher and A. P. Marshall, “Understanding descriptive statistics,” *Aust. Crit. Care*, vol. 22, no. 2, pp. 93–97, 2009, doi: 10.1016/j.aucc.2008.11.003.

- [33] “Intro to Descriptive Statistics. Descriptive Statistical Analysis helps... | by Niklas Donges | Towards Data Science.” <https://towardsdatascience.com/intro-to-descriptive-statistics-252e9c464ac9> (accessed Jun. 11, 2021).
- [34] J. R. Dettori and D. C. Norvell, “The Anatomy of Data,” *Glob. Spine J.*, vol. 8, no. 3, pp. 311–313, 2018, doi: 10.1177/2192568217746998.
- [35] G. Marshall and L. Jonker, “An introduction to descriptive statistics: A review and practical guide,” *Radiography*, vol. 16, no. 4, pp. e1–e7, 2010, doi: 10.1016/j.radi.2010.01.001.
- [36] E. Allaj, “Measuring variability and association for categorical data,” *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 1, pp. 1–15, 2020, doi: 10.1016/j.fss.2020.11.018.
- [37] P. C. O’Brien and M. A. Shampo, “Descriptive statistics,” *Mayo Clinic Proceedings*, 1981. <https://conjointly.com/kb/descriptive-statistics/> (accessed Jun. 10, 2021).
- [38] S. S. Durduran, “Automatic classification of high resolution land cover using a new data weighting procedure: The combination of k-means clustering algorithm and central tendency measures (KMC-CTM),” *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 35, pp. 136–150, 2015, doi: 10.1016/j.asoc.2015.06.025.
- [39] K. A. Adamson and S. Prion, “Making sense of methods and measurement: Measures of central tendency,” *Clin. Simul. Nurs.*, vol. 9, no. 12, pp. e617–e618, 2013, doi: 10.1016/j.ecns.2013.04.003.
- [40] S. Manikandan, “Measures of central tendency: The mean,” *J. Pharmacol. Pharmacother.*, vol. 2, no. 2, pp. 140–142, 2011, doi: 10.4103/0976-500X.81920.
- [41] S. Manikandan, “Measures of central tendency : Median and mode,” vol. 2, no. 3, pp. 214–215, 2011, doi: 10.4103/0976-500X.83300.
- [42] A. Kołacz and P. Grzegorzewski, “Measures of dispersion for multidimensional data,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 251, no. 3, pp. 930–937, 2016, doi: 10.1016/j.ejor.2016.01.011.
- [43] S. Manikandan, “Measures of dispersion,” *J. Pharmacol. Pharmacother.*, vol. 2, no. 4, pp. 315–316, 2011, doi: 10.4103/0976-500X.85931.
- [44] “Measures of Variability: Range, Interquartile Range, Variance, and Standard Deviation - Statistics By Jim,” 2018. <https://statisticsbyjim.com/basics/variability-range-interquartile-variance-standard-deviation/> (accessed Jun. 11, 2021).
- [45] K. A. Adamson and S. Prion, “Making sense of methods and measurement: Measures of variability,” *Clin. Simul. Nurs.*, vol. 9, no. 11, pp. e559–e560, 2013, doi: 10.1016/j.ecns.2013.04.002.
- [46] S. Ahmad, “On Efficient Monitoring of Process Dispersion using Interquartile Range,” *Open J. Appl. Sci.*, vol. 02, no. 04, pp. 39–43, 2012, doi: 10.4236/ojapps.2012.24b010.
- [47] C. Vanlalhriati and E. N. Singh, “Descriptive Statistics in Business Research,” *Int. J. Adv. Res.*, vol. 3, no. 06, pp. 1409–1415, 2015.
- [48] C. shui Yu, T. ting Shao, and D. mo Li, “Distribution of standard deviation of an observable among superposed states,” *Ann. Phys. (N. Y.)*, vol. 373, pp. 43–51, 2016, doi: 10.1016/j.aop.2016.06.017.
- [49] D. N. Joanes and C. A. Gill, “Comparing measures of sample skewness and

- kurtosis,” *J. R. Stat. Soc. Ser. D Stat.*, vol. 47, no. 1, pp. 183–189, 1998, doi: 10.1111/1467-9884.00122.
- [50] M. Xu and P. Shang, “Analysis of financial time series using multiscale entropy based on skewness and kurtosis,” *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 490, pp. 1543–1550, 2018, doi: 10.1016/j.physa.2017.08.136.
- [51] “Normality Testing - Skewness and Kurtosis | The GoodData Community.” <https://community.gooddata.com/metrics-and-maql-kb-articles-43/normality-testing-skewness-and-kurtosis-241> (accessed Jun. 15, 2021).
- [52] M. J. Blanca, J. Arnau, D. López-Montiel, R. Bono, and R. Bendayan, “Skewness and kurtosis in real data samples,” *Methodology*, vol. 9, no. 2, pp. 78–84, 2013, doi: 10.1027/1614-2241/a000057.
- [53] “Kurtosis - Definition, Excess Kurtosis, and Types of Kurtosis.” <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/other/kurtosis/> (accessed Jun. 15, 2021).
- [54] S. Narkhede, “Understanding Descriptive Statistics | by Sarang Narkhede | Towards Data Science,” 2018. <https://towardsdatascience.com/understanding-descriptive-statistics-c9c2b0641291> (accessed Jun. 12, 2021).
- [55] J. W. Tukey, “Exploratory Data Analysis by John W. Tukey,” *Biometrics*, vol. 33, p. 768, 1977, [Online]. Available: <http://www.jstor.org/stable/2529486>.
- [56] A. T. Jebb, S. Parrigon, and S. E. Woo, “Exploratory data analysis as a foundation of inductive research,” *Hum. Resour. Manag. Rev.*, vol. 27, no. 2, pp. 265–276, 2017, doi: 10.1016/j.hrmr.2016.08.003.
- [57] T. Makaba, W. Doorsamy, and B. S. Paul, “Exploratory framework for analysing road traffic accident data with validation on Gauteng province data,” *Cogent Eng.*, vol. 7, no. 1, 2020, doi: 10.1080/23311916.2020.1834659.
- [58] C. Kneale and S. D. Brown, “Uncharted forest: A technique for exploratory data analysis,” *Talanta*, vol. 189, no. April, pp. 71–78, 2018, doi: 10.1016/j.talanta.2018.06.061.
- [59] “5 Steps of Data Analysis.” <https://www.analyticssteps.com/blogs/5-steps-data-analysis> (accessed Jun. 26, 2021).
- [60] S. Kelly, “What Is Python?,” in *Python, PyGame, and Raspberry Pi Game Development*, Berkeley, CA: Apress, 2019, pp. 5–9.
- [61] P. L. Gilabert *et al.*, “An efficient combination of digital predistortion and ofdm clipping for power amplifiers,” *Int. J. RF Microw. Comput. Eng.*, vol. 19, no. 5, pp. 583–591, 2009, doi: 10.1002/mmce.20381.
- [62] C. R. Harris *et al.*, “Array programming with NumPy,” *Nature*, vol. 585, no. 7825, pp. 357–362, 2020, doi: 10.1038/s41586-020-2649-2.
- [63] I. Stancin and A. Jovic, “An overview and comparison of free Python libraries for data mining and big data analysis,” *2019 42nd Int. Conv. Inf. Commun. Technol. Electron. Microelectron. MIPRO 2019 - Proc.*, pp. 977–982, 2019, doi: 10.23919/MIPRO.2019.8757088.
- [64] R. Hubert, “Bureau of Aircraft Accidents Archives,” <Http://Www.Baaa-Acro.Com/>, 2013. <http://www.baaa-acro.com/presentation/> (accessed May 28, 2021).
- [65] J. Frost, “Measures of Central Tendency: Mean, Median, and Mode -

Statistics By Jim,” *Statistics by Jim*, 2018.
<https://statisticsbyjim.com/basics/measures-central-tendency-mean-median-mode/> (accessed Jun. 11, 2021).

- [66] A. Bejan, J. D. Charles, and S. Lorente, “The evolution of airplanes,” *J. Appl. Phys.*, vol. 116, no. 4, 2014, doi: 10.1063/1.4886855.