

*Skripsi Geofisika*

**ANALISIS PENGARUH CUACA TERHADAP *DELAY* PESAWAT  
(STUDI KASUS : BANDARA HALUOLEO KENDARI (KDI))**

**Disusun dan diajukan oleh :**

**DWI PRAYOGA ADE SARLITA**

**H061181021**



**DEPARTEMEN GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2023**

**HALAMAN JUDUL**

**ANALISIS PENGARUH CUACA TERHADAP *DELAY* PESAWAT  
(STUDI KASUS : BANDARA HALUOLEO KENDARI (KDI))**

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana*

*Sains Pada Departemen Geofisika*

*Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*

*Universitas Hasanuddin*

**OLEH :**

**DWI PRAYOGA ADE SARLITA**

**H061 18 1021**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2023**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**ANALISIS PENGARUH CUACA TERHADAP DELAY PESAWAT**

**(STUDI KASUS : BANDARA HALUOLEO KENDARI (KDI))**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**DWI PRAYOGA ADE SARLITA**

**H061 18 1021**

Telah di pertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 30 Januari 2023

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

**Pembimbing Utama**



**Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng**  
NIP. 196709291993031003

**Pembimbing Pertama**



**Dr. Sakka, M.Si**  
NIP.19641025199103001

**Ketua Departemen**



**Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng**  
NIP. 196709291993031003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dwi Prayoga Ade Sarlita

NIM : H061181021

Program Studi : Geofisika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

**“Analisis Pengaruh Cuaca Terhadap Delay Pesawat  
(Studi Kasus : Bandara Haluoleo Kendari (KDI))”**

Merupakan karya asli. Seluruh ide yang terdapat pada skripsi ini merupakan hasil penelitian yang saya susun sendiri dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini serta disebutkan dalam daftar pustaka.

Jika pernyataan di atas terbukti sebaliknya, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 30 Januari 2023

Penulis



Dwi Prayoga Ade Sarlita

## SARI BACAAN

Transportasi udara adalah salah satu transportasi yang paling diminati karena dianggap aman, serta efektif dan efisien dari segi waktu. Dengan meningkatnya kebutuhan akan transportasi udara maka, maskapai-maskapai penerbangan di Indonesia berlomba-lomba untuk memberikan pelayanan dan jasa terbaik. Untuk memberikan pelayanan dan jasa terbaik maka maskapai-maskapai penerbangan berusaha untuk menghindari terjadinya *delay* yang disebabkan oleh berbagai faktor, yaitu kondisi cuaca, penanganan penumpang, dan operasional maskapai penerbangan. *Delay* adalah salah satu masalah konkrit yang terjadi di industri penerbangan. Cuaca yang buruk akan menyebabkan penundaan penerbangan. Tetapi tidak diketahui seberapa kuat cuaca mempengaruhi terjadinya keterlambatan penerbangan (*delay*). Lokasi penelitian ini dilakukan di Bandara Haluoleo yang bertujuan untuk menganalisa seberapa berpengaruhnya cuaca terhadap *delay* pesawat di Bandara Haluoleo Kendari menggunakan pemodelan dengan *Python*. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data cuaca dan data *delay* selama periode 2019 sampai 2021. Hasil yang didapatkan yaitu dari 11797 keberangkatan hanya terjadi 463 (4%) *delay* yang disebabkan oleh cuaca. Faktor cuaca yang mempengaruhi kejadian *delay* di Bandara Haluoleo adalah jarak pandang dengan korelasi -0,057, arah angin dengan korelasi -0.079, dan kecepatan angin dengan korelasi 0.16.

Kata Kunci : Cuaca, *delay*, *python*

## ABSTRACT

Air transportation is one of the most popular forms of transportation because it is considered safe, effective and efficient in terms of time. With the increasing need for air transportation, airlines in Indonesia are competing to provide the best service and services. To provide the best service and services, airlines try to avoid *delays* caused by various factors, namely weather conditions, passenger handling, and airline operations. *Delay* is one of the concrete problems that occur in the aviation industry. Bad weather will cause flight *delays*. But it is not known how strong the weather affects the occurrence of flight *delays* (*delay*). The location of this research was conducted at Haluoleo Airport which aims to analyze how influential the weather is on aircraft *delays* at Haluoleo Kendari Airport using Python modeling. The data used in this study are weather data and *delay* data for the period 2019 to 2021. The results obtained are that out of 11797 departures only 463 (4%) *delays* were caused by weather. Weather factors that affect *delays* at Haluoleo Airport are visibility distance with a correlation of -0.057, wind direction with a correlation of -0.079, and wind speed with a correlation of 0.16.

Keywords : Waether, *delay*, python

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, atas berkat segala rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya. Dalam penyusunan skripsi yang berjudul “**Analisis Pengaruh Cuaca Terhadap Delay Pesawat (Studi Kasus Bandara Haluoleo (KDI))**” ini, cukup banyak hambatan maupun rintangan yang dihadapi penulis. Namun, berkat dukungan dari berbagai pihak, baik secara materil maupun secara moril, hambatan tersebut sudah dapat penulis tangani.

Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini izinkan penulis untuk menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Sarmon, S.Pd** dan Ibu **Marlita S.Pd** yang merupakan orang tua tersayang yang telah mendoakan, mendukung dan memberikan semangat selama penyusunan skripsi. Juga kepada saudara-saudaraku **Apt. Novi Anggraina Sarlita, S.Farm., Ari Dwi Anggoro** dan **Tri Prasetyo Ade Sarlita**.
2. **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** dan **Dr. Sakka, M.Si.,** serta **Prof. Dr. Dadang Ahmad M., M.Eng.,** selaku dosen pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu serta memberikan pikiran dan tenaga dalam memberikan arahan selama penyusunan skripsi.
3. **Dr. Eng. Amiruddin, S.Si., M.Si** dan **Muh Fawzy Ismullah, S.Si., MT** selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan kritik dan masukan dalam penyusunan skripsi.

4. **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** selaku ketua departemen Geofisika Universitas Hasanuddin
5. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Geofisika, Universitas Hasanuddin yang telah membimbing dan mendidik saya dari semester 1 sampai selesai sehingga saya dapat mengerjakan penelitian ini dengan baik.
6. Ibu **Dra. Maria, M.Si** selaku dosen penasehat akademik yang selalu memberikan nasehat-nasehat kepada penulis selama masa perkuliahan.
7. **Stasiun Meteorologi Lanud HLO dan AirNav cabang Kendari** yang telah mengizinkan dan memberikan data penelitian.
8. **Prof. Dr. Maskun, S.H, L.LM** selaku paman yang telah mendukung dan memberikan fasilitas selama perkuliahan.
9. Rekan seperbimbingan **Masdar, S.Si** dan **Nurhasana, S.Si** yang selama ini sudah menjadi rekan yang selalu memberikan masukan, saran, serta semangat terkait penyusunan skripsi. Juga kepada **Noormanto H. Armin, S.Si** dan **Tiara Lestai** selaku teman healing ketika ada masalah selama perkuliahan.
10. Serta kepada seluruh **Keluarga besar** yang selalu memberikan semangat dan bantuan selama penyusunan skripsi.
11. Seluruh pihak yang telah membantu namun tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.
12. Terima kasih **Dwi Prayoga Ade Sarlita**.

Penulis tentu sangat menyadari bahwasanya dalam penyusunan skripsi ini masing banyak kelemahan dan kekurangannya. Oleh karena itu penulis berharap kepada seluruh pihak agar dapat menyampaikan kritik maupun saran yang dapat

membangun untuk menambah kesempurnaan dalam skripsi ini. Namun penulis juga tetap berharap agar skripsi ini bermanfaat untuk semua pihak yang membacanya.

Makassar, 30 Januari 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>SARI BACAAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	4
I.3 Ruang Lingkup .....	4
I.4 Tujuan.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
II.1 Sinoptik .....	6
II.2 Cuaca.....	7
II.2.1 Curah Hujan.....	7
II.2.2 Angin .....	9
II.2.3 Kelembaban Udara .....	11

II.2.4 Suhu .....	12
II.2.5 Tekanan Udara.....	13
II.2.6 Jarak Pandang .....	14
II.3 <i>Delay</i> .....	16
II.4 <i>Python</i> .....	18
II.4.1 <i>Matplotlib</i> .....	18
II.4.2 <i>Seaborn</i> .....	19
II.4.3 <i>Statsmodels</i> .....	20
II.5 Regresi Berganda .....	20
II.6 Kerangka Berpikir.....	23
<b>BAB III METODELOGI PENELITIAN.....</b>	<b>24</b>
III.1 Lokasi Penelitian.....	24
III.2 Prosedur Penelitian .....	25
III.2.1 Persiapan dan Pengumpulan data .....	25
III.2.2 Pengolahan Data.....	25
III.3 Diagram Alir Penelitian .....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>27</b>
IV.1 Hasil.....	27
IV.1.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian .....	27
IV.2 Pembahasan .....	36
IV.2.1 Kategori Penerbangan Bandara Haluoleo .....	36
IV.2.2 Korelasi Antar Variabel Jarak Pandang, Arah Angin, Kecepatan Angin terhadap <i>Delay</i> .....	37

IV.2.3 Faktor Penyebab <i>Delay</i> .....	38
IV.2.3.1 Faktor Angin .....	42
IV.2.3.2 Faktor Jarak Pandang .....	44
IV.2.4 Korelasi Antar Variabel Cuaca .....	46
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	<b>50</b>
V.1 Kesimpulan .....	50
V.2 Saran .....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>52</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Tiga wilayah iklim Indonesia. Wilayah A (monsun) garis hitam, Wilayah B (ekuatorial) garis dan titik, Wilayah C (lokal) garis putus-putus (Aldrian & Susanto, 2003).....	4
<b>Gambar 2.2</b> Wind Rose diagram .....	7
<b>Gambar 2.3</b> Korelasi Positif .....	21
<b>Gambar 2.4</b> Korelasi Negatif.....	21
<b>Gambar 2.5</b> Kerangka Berpikir .....	23
<b>Gambar 3.1</b> Peta lokasi penelitian .....	24
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Penelitian.....	26
<b>Gambar 4.1</b> Curah hujan harian.....	27
<b>Gambar 4.2</b> Rata-rata curah hujan bulanan periode 2019-2021 .....	27
<b>Gambar 4.3</b> Kecepatan angin harian.....	29
<b>Gambar 4.4</b> Windrose angin harian selama periode 1 Januari 2019 sampai 31 Desember 2021.....	29
<b>Gambar 4.5</b> Kelembaban udara harian .....	30
<b>Gambar 4.6</b> Suhu udara harian .....	31
<b>Gambar 4.7</b> Tekanan udara harian.....	32
<b>Gambar 4.8</b> Jarak pandang harian .....	33
<b>Gambar 4.9</b> Grafik distribusi harian selama periode 2019-2021, a) Curah Hujan, b) Kelembaban, c) Suhu, d) Tekanan, e) Jarak pandang.....	34
<b>Gambar 4.10</b> Jumlah operasi penerbangan di Bandara Haluoleo periode 2019 - 2021.....	35

<b>Gambar 4.11</b> Matrix korelasi antar jarak pandang, arah dan kecepatan angin terhadap <i>delay</i> .....	37
<b>Gambar 4.12</b> Persentase faktor penyebab terjadi <i>delay</i> .....	38
<b>Gambar 4.13</b> Persentase faktor cuaca penyebab <i>delay</i> .....	39
<b>Gambar 4.14</b> Kejadian cuaca buruk .....	40
<b>Gambar 4.15</b> Korelasi antar kejadian <i>delay</i> dan cuaca buruk .....	41
<b>Gambar 4.16</b> Arah angin penyebab <i>delay</i> .....	42
<b>Gambar 4.17</b> Grafik distribusi frekuensi kecepatan angin .....	44
<b>Gambar 4.18</b> Jarak pandang penyebab <i>delay</i> .....	45
<b>Gambar 4.19</b> matrix korelasi antar variabel cuaca .....	46
<b>Gambar 4.20</b> Grafik jarak pandang, kelembaban udara dan curah hujan.....	47

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Jarak Pandang Aman.....	15
<b>Tabel 2.2</b> Penafsiran Koefisien Korelasi Menurut Guilford.....	22
<b>Tabel 4.1</b> Kategori penerbangan di Bandara Haluoleo .....	36

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan salah satu negara yang terdiri dari pulau-pulau, jadi transportasi udara diperlukan ketika berpergian dari satu provinsi ke provinsi lain. Transportasi udara adalah salah satu transportasi yang paling diminati karena dianggap aman, serta efektif dan efisien dari segi waktu (Nieamah, 2021). Hal ini menjadi salah satu penyebab semakin meningkatnya kebutuhan akan transportasi udara. Dengan meningkatnya kebutuhan akan transportasi udara maka, maskapai-maskapai penerbangan di Indonesia berlomba-lomba untuk memberikan pelayanan dan jasa terbaik. Untuk memberikan pelayanan dan jasa terbaik maka maskapai-maskapai penerbangan berusaha untuk menghindari terjadinya *delay* yang disebabkan oleh berbagai faktor, yaitu kondisi cuaca, penanganan penumpang, dan operasional maskapai penerbangan (Davirza, Arifin, & Fransiscus, 2020).

Menurut Fatchiyah et al. (2017) salah satu masalah konkrit yang terjadi di industri penerbangan adalah *delay*. *Delay* dapat dikategorikan menjadi beberapa bagian, yaitu dari pihak maskapai, kondisi cuaca, *National Aviation System* (NAS), serta terlambatnya kedatangan pesawat ke tujuan. Kerugian yang disebabkan karena keterlambatan penerbangan (*delay*) dapat dialami tidak hanya dari maskapai tetapi juga penumpang. *Delay* menyebabkan kerugian yang dialami oleh para penumpang, maskapai sampai pihak kru yang bertugas. Diantara kerugiannya adalah terkait dengan biaya dan waktu yang dikeluarkan oleh penumpang.

Cuaca merupakan salah satu penyebab keterlambatan penerbangan. Cuaca merupakan keadaan udara yang relative sempit dan berjangka pendek pada waktu dan wilayah tertentu (Sarjani, Rahardjo, & Budiastuti, 2011). Kondisi cuaca saat lepas landas (*take off*) dan mendarat (*landing*) pesawat harus selalu diperhatikan demi keselamatan, kenyamanan dan efisiensi operasi penerbangan. Kondisi cuaca dapat dibagi menjadi beberapa situasi. Ada kategori cuaca baik (*Clear weather*) hingga kategori cuaca sangat buruk (*bad weather*) (Wulandari, 2021). Cuaca yang buruk akan menyebabkan penundaan penerbangan. Ada berbagai faktor cuaca yang mempengaruhi penerbangan, termasuk angin, tekanan udara, jarak pandang, suhu, kelembaban, serta hujan, kabut dan salju. Tetapi tidak diketahui seberapa kuat cuaca mempengaruhi terjadinya keterlambatan penerbangan (*delay*).

Penelitian Mao et al.(2015) menyajikan perkiraan *Departure Rate Decline* (DRD) sesuai analisis empiris disajikan buat perkiraan penurunan kapasitas Bandara udara pada aneka macam kondisi cuaca. Lalu, persoalan pengambilan keputusan buat pembatalan penerbangan keberangkatan dirumuskan sebagai contoh pemrograman linear integrer menggunakan pertimbangan efisiensi Bandara dunia serta prioritas maskapai penerbangan. Studi eksperimental memakai data konkret berasal dari Beijing *Capital International airport* menunjukkan kemanjuran metode yang diusulkan.

Penelitian yang dilakukan oleh Choi et al. (2016) memprediksi keterlambatan maskapai yang ditimbulkan oleh kondisi cuaca buruk memakai data mining dan algoritma *supervised machine learning*. Data penerbangan domestik AS dan data cuaca yang digunakan dari 2005 hingga 2015 diekstraksi dan dipergunakan model

latih. Buat mengatasi akibat data latih yang tidak seimbang, Teknik pengambilan sampel diterapkan. Pohon keputusan, *random forest*, ada *boost* dan *K nearest-Neighbors* diimplementasikan buat membentuk model yang bisa memprediksi keterlambatan penerbangan individu, lalu masing-masing dari akurasi algoritma prediksi dan kurva *Receiver Operating Characteristic* (ROC) dibandingkan. Pada langkah prediksi, jadwal penerbangan dan prakiraan cuaca dikumpulkan serta dimasukkan ke dalam model. Dengan memakai data tadi, contoh yang teruji melakukan klasifikasi biner buat memprediksi apakah penerbangan yang dijadwalkan akan terlambat atau tepat waktu.

Dermadi et al (2019) melakukan penelitian untuk menganalisis keterlambatan penerbangan karena cuaca di Bandara Husein Sastranegara dengan menggunakan algoritma K-NN. Dengan menggunakan data cuaca dan daftar rekapitulasi waktu ketepatan terbang dari bulan januari- maret 2019. Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan sistem yang dapat memberikan prediksi keterlambatan penerbangan berdasarkan kondisi prakiraan cuaca.

Seperti yang dikutip dari Tempo.co tahun 2017, sejumlah penerbangan batal mendarat di Bandara Haluoleo Kendari karena cuaca buruk. Penerbangan yang harusnya mendarat di Bandara Haluoleo dialihkan ke Bandara Sultan Hasanuddin untuk menunggu cuaca di Bandara Haluoleo membaik. Bandara Haluoleo, dahulu bernama Bandara Wolter Monginsidi adalah Bandara yang terletak di Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara. Sejak 13 Februari 2010, nama Bandara ini diubah untuk menghormati raja Konawe, yakni raja Halu Oleo. Bandara Haluoleo memiliki panjang landasan pacu sepanjang 2800 meter.

Dari latar belakang permasalahan di atas, penulis tertarik melakukan penelitian tentang “Analisis Pengaruh Cuaca Terhadap *Delay* Pesawat (Studi Kasus : Bandara Haluoleo Kendari (Kdi))”, untuk menganalisa seberapa berpengaruhnya cuaca terhadap *delay* pesawat di Bandara Haluoleo Kendari menggunakan pemodelan dengan *Python*.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dikemukakan rumusan masalah penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh cuaca terhadap *delay* pesawat di Bandara Haluoleo ?

## **I.3 Ruang Lingkup**

Penelitian ini dilaksanakan di Bandara Haluoleo dengan ruang lingkup yang meliputi pengumpulan data dan analisis data untuk mengetahui bagaimana pengaruh cuaca terhadap *delay* pesawat di Bandara Haluoleo. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang didapatkan dari Stasiun Meteorologi Lanud Haluoleo dan Airnav kantor cabang Kendari periode 1 Januari 2019- 31 Desember 2021. Hasil penelitian ini berupa grafik menggunakan pemodelan *python* dengan *library statsmodels*, *matplotlib*, dan *seaborn*. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi literatur tambahan bagi instansi terkait.

#### **I.4 Tujuan**

Berdasarkan rumusan masalah di atas dapat dikemukakan tujuan penelitian ini untuk menganalisis pengaruh cuaca terhadap *delay* pesawat di Bandara Haluoleo menggunakan pemodelan *python*.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Sinoptik**

Pengamatan Meteorologi Permukaan yang dilaksanakan secara serempak di seluruh dunia pada jam yang sudah ditetapkan secara konvensional berdasarkan standar waktu internasional dinamakan Pengamatan Sinoptik. Data hasil Pengamatan Sinoptik yang dilakukan oleh Stasiun Meteorologi di berbagai daerah selanjutnya dilaporkan ke Kantor Pusat pada jam-jam utama: 00.00,06.00,12.00,18.00 dan jam antara: 03.00, 09.00, 15.00, 21.00 dalam bentuk kode-kode angka (sandi) (Asynuzar, 2014).

Kode yang lebih lengkap yang digunakan oleh Layanan Cuaca untuk mengirimkan statistik jenis sinoptik dikenal sebagai Kode Sinoptik. Kode Sinoptik adalah pesan yang hampir seluruhnya terdiri dari angka. Pesan ini berisi informasi cuaca dalam jumlah yang luar biasa. Kode Sinoptik adalah cara yang sangat efisien untuk memasukkan seluruh paragraf information ke dalam satu baris. Mungkin ada lebih banyak informasi tambahan, tetapi kami akan berkonsentrasi pada bagian pertama yang mana diakhiri dengan grup awan (Holton, 2004).

Menurut Mujasih (2013) data Sinoptik artinya data yang diperoleh dari pengamatan komponen-komponen cuaca secara langsung oleh observer atau alat pengamatan cuaca otomatis (*Automatic weather Station*) sesuai waktu standar yang ditentukan, baik di permukaan bumi (*surface*) maupun lapisan udara di atasnya (*upper*

*air*). Format data synop mengikuti aturan *World Meteorological Organization* (WMO).

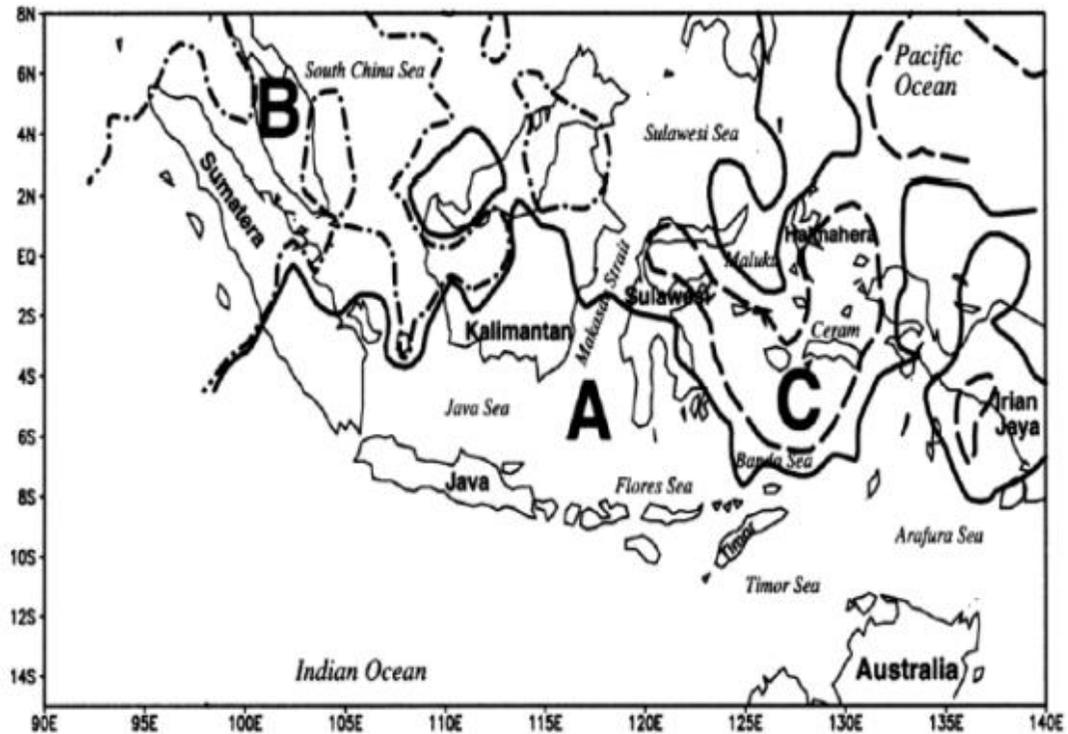
## **II.2 Cuaca**

### **II.2.1 Curah Hujan**

Variabilitas iklim tahunan di Indonesia sangat unik karena berbeda di semua wilayah dan mempengaruhi pola cuaca dan curah hujan (Aldrian & Susanto, 2003). Dalam kesempatan yang sama, Tjasyono (2004) menjelaskan bahwa muson ITCZ (zona konvergensi tropis) dan konveksi troposfer (MJO) merupakan beberapa pola cuaca yang secara dinamis sering mengubah iklim tropis, khususnya Indonesia. Selain itu, akibat interaksi daratan dan lautan serta topografi wilayah dalam skala lokal, maka iklim regional di berbagai wilayah di Indonesia merupakan proses awal untuk memahami dampak pola cuaca tersebut secara kualitatif dan kuantitatif.

Berbagai parameter cuaca sebelum radiasi matahari akan terus berubah seiring dengan fluktuasi suhu, sehingga terjadi perbedaan tekanan di berbagai tempat. Perbedaan tekanan tersebut memicu pergerakan massa udara yang mengandung uap air dalam siklus hidrologi, dan massa udara tersebut mengalami proses termodinamika, berubah menjadi awan, lalu jatuh seperti hujan dan mengalir ke permukaan bumi. Dari segi statistik, curah hujan di daerah beriklim tropis seperti Indonesia merupakan salah satu parameter yang dapat menggambarkan kondisi cuaca jangka pendek dan jangka panjang secara keseluruhan.

Menurut data Sarjani et al. (2011), dengan melihat pola curah hujan sepanjang tahun, Secara umum Indonesia dapat dibedakan menjadi 3 pola iklim utama. Aldrian et al. (2003) mengklasifikasikan iklim Indonesia sebagai berikut:



**Gambar 2.1** Tiga wilayah iklim Indonesia. Wilayah A (monsun) garis hitam, Wilayah B (ekuatorial) garis dan titik, Wilayah C (lokal) garis putus-putus (Aldrian & Susanto, 2003).

a) Curah Hujan Pola Monsunal

Pola monsun ini dicirikan oleh curah hujan *unimodial* (puncaknya pada musim hujan), dengan bulan Juni, Juli dan Agustus sebagai musim kemarau, dan Desember, Januari dan Februari sebagai bulan hujan. Sedangkan enam bulan sisanya merupakan masa pancaroba atau masa peralihan (peralihan tiga bulan dari musim kemarau ke musim hujan, dan tiga bulan peralihan dari musim hujan ke musim kemarau).

b) Curah Hujan Pola Ekuatorial

Model ekuator dicirikan oleh jenis curah hujan dengan bentuk bimodial (dua puncak curah hujan), yang biasanya terjadi sekitar bulan Maret dan Oktober atau saat ekuinoks.

c) Curah Hujan Pola Lokal

Pola lokal dicirikan oleh bentuk pola curah hujan puncak tunggal (curah hujan puncak), tetapi bentuknya berlawanan dengan tipe hujan monsun.

## **II.2.2 Angin**

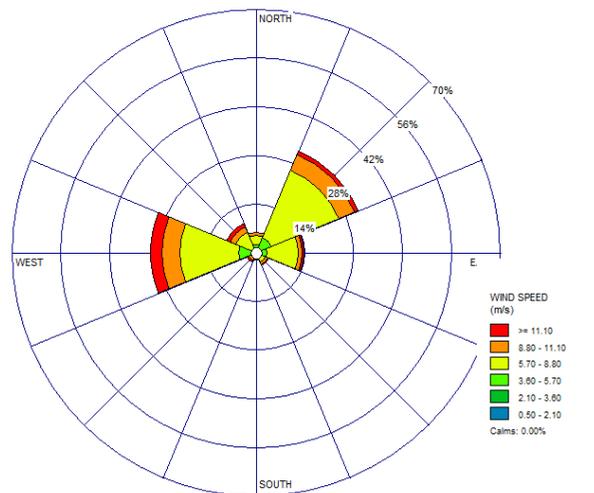
Angin adalah gerakan udara yang sejajar dengan permukaan bumi. Udara bergerak dari area bertekanan tinggi ke area bertekanan rendah. Menurut Suwanti et al. (2017) angin memiliki besaran kecepatan dan arah fisik yang disebabkan oleh perbedaan tekanan udara di suatu daerah. Angin adalah energi yang dihasilkan karena perbedaan suhu antara udara dingin dan udara panas. Sedangkan menurut Kadir (1995) angin adalah udara yang menggerakkan, sehingga mempunyai kecepatan, tenaga dan arah. Alasan gerakan ini adalah karena radiasi matahari menghangatkan bumi. Pergerakan angin ini memiliki energi kinetik, sehingga kincir angin atau turbin angin dapat digunakan untuk mengubah energi angin menjadi energi lain, seperti energi listrik.

Angin adalah udara yang bergerak karena adanya perbedaan tekanan udara, dari tempat bertekanan tinggi ke tempat bertekanan rendah, atau dari tempat bersuhu / bersuhu rendah ke tempat bersuhu tinggi. Angin sangat erat kaitannya dengan sinar

matahari, karena daerah yang banyak terpapar sinar matahari memiliki suhu yang lebih tinggi dan tekanan udara yang lebih rendah dibandingkan daerah sekitarnya sehingga terjadi pergerakan udara. Angin juga dapat disebabkan oleh pergerakan benda yang mendorong udara di sekitarnya ke tempat lain (Sudarto, 2011).

Ketika angin mengalir di atas benda padat (seperti permukaan bumi), seperti fluida lainnya, angin biasanya memiliki profil geser atau profil kecepatan. Kecepatan angin relatif terhadap permukaan bumi adalah nol ketika berada tepat di permukaan bumi. Kemudian, kecepatannya menjadi lebih tinggi sebanding dengan ketinggian permukaan bumi. Dua jenis kurva geser angin umumnya digunakan untuk menghitung energi: kurva geser angin eksponensial dan kurva tegangan geser angin kekasaran permukaan (Daryanto, 2007).

Arah angin adalah arah asal angin bertiup, dinyatakan dalam derajat, diukur searah jarum jam dari titik utara bumi atau menurut skala sudut pada kompas. Potensi angin pada suatu tempat digambarkan dalam diagram polar, yaitu posisi angin dalam kaitannya dengan arah mata angin, besarnya kecepatan angin dan durasi bertiup digambarkan dalam diagram. Diagram itu disebut *wind rose* (Gambar 2.2), dengan durasi yang dinyatakan sebagai persentase dari pengamatan harian, bulanan, atau tahunan. Panjang setiap garis mewakili frekuensi angin dari arah itu (Suwarti et al., 2017).



**Gambar 2.2** Wind Rose diagram (Sumber : data pribadi, 2021)

Kecepatan angin adalah jarak yang ditempuh angin atau pergerakan udara per satuan waktu, dinyatakan dalam meter per detik (m / s), kilometer per jam (km / jam) dan mil per jam (mi / jam). Satuan mil (mil laut) per jam juga disebut knot (kn);  $1 \text{ kn} = 1,85 \text{ km / h} = 1,151 \text{ mi / h} = 0,514 \text{ m / s}$  atau  $1 \text{ m / d} = 2,237 \text{ mi / h} = 1,944 \text{ kn}$ . Kecepatan angin berubah seiring dengan ketinggian tanah, sehingga terjadi distribusi kecepatan angin, semakin tinggi kecepatan angin maka semakin cepat pula kecepatan angin (Sudarto, 2011).

Syarat dan ketentuan kecepatan angin dapat diukur dengan mengukur kecepatan angin dan arah angin. Selain alat ukur, juga bisa menggunakan pengukur Skala Beaufort untuk mengukur atau memperkirakan.

### II.2.3 Kelembaban Udara

*Relative Humidity* atau kelembaban udara relative adalah perbandingan antara tekanan uap air aktual pada suhu tertentu dengan tekanan uap air jenuh pada suhu tersebut. Definisi lain dari kelembaban adalah rasio antara jumlah uap air yang

terkandung di udara pada suatu titik tertentu dan jumlah maksimum uap air yang dapat ditahan oleh udara pada tekanan dan suhu yang sama (Fauziah, 2018).

Kelembaban udara relative membantu untuk memahami saturasi udara. Kelembaban udara relative adalah perbandingan jumlah uap air saat ini dengan jumlah maksimum uap air yang dapat ditahan oleh udara pada saat itu. Kelembaban udara relative dapat di ubah dengan mengubah suhu udara dan mengubah jumlah uap air di udara. Dilihat dari kelembaban udara relative, udara hangat dengan kelembaban relative lebih rendah dapat mengandung lebih banyak uap air daripada udara dingin yang sudah jenuh (Suryanto & Luthfian, 2016).

#### **II.2.4 Suhu**

Suhu adalah ukuran seberapa panas suatu objek. Suatu kondisi yang menentukan kemampuan objek untuk mentransfer panas atau menerima panas dari satu objek ke objek lain disebut dengan suhu objek. Distribusi suhu di atmosfer terutama bergantung pada keadaan radiasi matahari, sehingga suhu udara selalu berubah (Swarinoto & Widiastuti, 2003).

Suhu udara merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kinerja pesawat. Suhu yang tinggi pada suatu tekanan udara dapat menyebabkan kerapatan udara yang rendah, yang akan menimbulkan efek yang meragukan bagi pesawat, terutama saat terbang. Seorang pilot mengetahui suhu udara memungkinkan dia untuk (Fadholi, 2013) :

1. Dikombinasikan dengan pengetahuan tentang tekanan udara untuk menentukan efisiensi mesin, dimungkinkan untuk menentukan daya kerja

pesawat yang harus terbang atau mendarat, dan pada saat yang sama, panjang landasan pacu dapat digunakan sesuai dengan berat muatan pesawat.

2. Menemukan apakah ada kemungkinan lapisan es pada pesawat. Suhu permukaan dapat digunakan untuk mencari tanda-tanda pertambahan es pada pesawat dengan memahami struktur awan dan kondisi suhu udara pada lapisan di atas permukaan.

### **II.2.5 Tekanan Udara**

Tekanan digambarkan sebagai gaya per satuan luas pada ketinggian tertentu. Selain daripada suhu udara, salah satu faktor yang mempengaruhi dan menentukan kerapatan udara adalah tekanan udara (Fadholi, 2013). Seiring bertambahnya ketinggian, tekanan udara di atmosfer akan mengecil secara eksponensial (Suryanto & Luthfian, 2016).

Umumnya tekanan udara yang digunakan untuk patokan dan di atur pada skala tekanan dinyatakan dalam sandi internasional. Sandi internasional adalah sebagai berikut :

- QFE : Tekanan udara di permukaan terbuka dihitung dari tekanan atmosfer yang diamati pada ketinggian induk barometer dan dikonversi ke tekanan permukaan lapangan terbang.
- QFF : Tekanan udara pada stasiun dikonversi ke tekanan permukaan laut sesuai dengan konversi meteorology.
- QNE : Ketinggian tekanan terhadap tekanan lapangan terbang.
- QNH : Tekanan udara pada lapangan terbang dikonversi ke tekanan

permukaan laut sesuai dengan atmosfer standar ICAO.

Dalam penerapan pada operasi penerbangan, ketika QFE ini diatur ke skala, jarum menunjukkan ketinggian nol, yang digunakan untuk tujuan pendaratan. Namun, jika mengatur QNH, jarum akan menampilkan elevasi stasiun di titik pendaratan. Secara umum, metode ini sering digunakan. QNE biasanya digunakan bersama dengan suhu udara untuk mendapatkan ketinggian kerapatan udara, yang merupakan indikator kinerja pesawat yang baik (Fadholi, 2013).

## **II.2.6 Jarak Pandang**

Jarak pandang (*visibility*) dalam penerbangan adalah lebih besar dari jarak terjauh dari objek hitam dengan ukuran yang sesuai, terletak lebih dekat ke darat, terlihat dan dapat dikenali bila diamati dengan latar belakang terang, dan/atau jarak terjauh untuk melihat cahaya sekitar 1000 (seribu) candela dapat ditampilkan dan dikenali dengan latar belakang gelap. Jarak pandang permukaan biasanya berkurang hingga kurang dari 1 KM, hal ini dapat disebabkan karena kelompok tetesan air yang sangat kecil di udara, dapat tersebar di area yang sempit atau luas (Menteri Perhubungan, 2018).

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan KM 18 Tahun 2010 pesawat memiliki jarak pandang aman dalam penerbangan adalah 5 KM ke atas, sebagaimana dapat dilihat dalam Tabel 2.1 :

**Tabel 2.1** Jarak Pandang Aman

Jarak Pandang	Klasifikasi Ruang Udara						
	Kelas A	Kelas B	Kelas C	Kelas D	Kelas E	Kelas F	Kelas G
di atas 10000 kaki		8 km	8 km				
di bawah 10000 kaki		5 km	5 km				
Lebih tinggi dari 3000 kaki	Tidak diberlakukan					AMSL 5 km	AMSL 5 km
Lebih tinggi dari 1000 kaki						AGL didepan mata	AGL didepan mata

Sumber (Menteri Perhubungan, 2010)

Besarnya jarak pandang dapat berubah-ubah dan tidak tetap, beberapa hal yang dapat menyebabkan turunnya jarak pandang, yaitu :

- *Drizzle* (mirip gerimis, diameter < 0,5mm, melayang di udara, jatuh kepermukaan tanah),
- *Rain*/hujan (diamtater > 0,5 mm, tetes-tetes air berjarak besar),
- *Mist* (kabut tipis, *visibility* > 1 km s/d < 5 km, RH 95% - 97%),
- *Fog* (melayang diudara dan tidak mencapai permukaan tanah, *visibility* <1000 meter, RH 97%-100%),
- *Smoke*/ asap (mengambang diatmosfer, dari proses pembakaran, *visibility* > 1km, RH <95%),

- *Haze* (kekaburan/kekeruhan udara disebabkan partikel-partikel kering yang sangat kecil, melayang di udara, *visibility* > 1km, RH > 95%)

### **II.3 Delay**

Penundaan penerbangan atau *delay* adalah perbedaan waktu antara waktu keberangkatan atau kedatangan yang dijadwalkan dan waktu keberangkatan atau kedatangan yang sebenarnya. Penundaan penerbangan mungkin terunda 1 jam atau lebih (Fatchiyah & Ahyudanari, 2017). Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 89 Tahun 2015 mendefinisikan keterlambatan penerbangan berdasarkan perbedaan waktu keberangkatan maupun kedatangan yang dijadwalkan dengan waktu keberangkatan maupun kedatangan yang terealisasi yaitu saat pesawat meninggalkan tempat parkir (*apron*) atau pada saat pesawat parkir di *apron* Bandara tujuan.

Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 89 Tahun 2015, keterlambatan penerbangan dikategorikan dalam 6 kategori keterlambatan :

1. Kategori 1, keterlambatan 30 menit s/d 60 menit;
2. Kategori 2, keterlambatan 61 menit s/d 120 menit;
3. Kategori 3, keterlambatan 121 menit s/d 180 menit;
4. Kategori 4, keterlambatan 181 menit s/d 240 menit;
5. Kategori 5, keterlambatan lebih dari 240 menit;
6. Kategori 6, pembatalan penerbangan.

Pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 89 Tahun 2015 faktor penyebab keterlambatan pesawat, yaitu :  
Faktor manajemen airline Faktor tersebut disebabkan oleh maskapai yang bersangkutan, yaitu:

- 1) Keterlambatan yang disebabkan oleh pilot, co pilot, maupun awak cabin
- 2) Keterlambatan pada persiapan food and beverages
- 3) Keterlambatan penanganan pada saat di parkir pesawat/darat
- 4) Keterlambatan penumpang, baik di check in maupun pada saat pindah pesawat
- 5) Ketidaksiapan pesawat udara.

Faktor teknis operasional Faktor teknis operasional disebabkan oleh kondisi bandar udara pada saat keberangkatan atau kedatangan, yang meliputi:

- 1) Bandar udara untuk keberangkatan dan tujuan tidak dapat digunakan operasional pesawat
- 2) Lingkungan menuju bandar udara atau landasan terganggu fungsinya
- 3) Terjadinya antrian pesawat udara untuk lepas landas dan mendarat
- 4) Keterlambatan pengisian bahan bakar

Faktor cuaca faktor ini disebabkan oleh alam, yaitu hujan lebat, petir, kabut, asap, jarak pandang minimal, serta angin yang melampaui standar maksimal yang dapat mengganggu keselamatan penerbangan.

Menurut Ferguso dalam (Fatchiyah & Ahyudanari, 2017), keterlambatan penerbangan menimbulkan kerugian bagi penumpang, maskapai penerbangan dan awak yang bertugas. Kerugian termasuk biaya dan waktu yang dikeluarkan oleh penumpang, maskapai penerbangan dan awak dalam menjalankan tugas. Perkiraan biaya yang dikeluarkan oleh maskapai penerbangan karena penundaan cenderung meningkat karena perubahan biaya bahan bakar, perubahan jenis pesawat, atau ketika biaya lain mungkin ditambahkan ke struktur biaya keseluruhan.

## **II.4 Python**

Bahasa pemrograman *Python* paling cocok sebagai bahasa pertama yang dipelajari untuk programmer pemula, karena memiliki alat yang ampuh yang mencerminkan cara orang berpikir dan cara mereka mengimplementasikan kode. Selain itu meminimalkan kata kunci tambahan yang diperlukan untuk menulis program yang benar secara sintaksis. Pendekatan ini tampaknya lebih produktif daripada mengajar bahasa C++ atau *Java*, yang memiliki banyak istilah dan elemen yang terkait dengan spesifikasi bahasa daripada realisasi algoritma (Bogdanchikov, Zhaparov, & Suliyev, 2013).

*Python* ialah Bahasa pemrograman interpretative multiguna menggunakan filosofi perancangan yang terfokus di tingkat keterbacaan kode. *Python* dianggap menjadi bahasa yang menggabungkan kapabilitas, kemampuan, menggunakan sintaksis kode yang sangat kentara, serta dilengkapi dengan fungsionalitas pustaka standar yang besar serta komprehensif. *Python* juga didukung dengan komunitas yang besar (Syahrudin & Kurniawan, 2018).

### **II.4.1 Matplotlib**

*Matplotlib* merupakan salah satu paket pustaka *python* paling populer pada hal visualisasi data. Paket *library* ini bisa menyediakan model plot 2D visual berasal dari data pada bentuk *array*. Pustaka ini pula menyediakan API (*Application Programming Interface*) yang bisa dipergunakan pada aplikasi bantu GUI *Python* mirip *PyQt*, *WxPython* dan *Thinter*. Ini juga bisa digunakan pada *shell python* serta *IPython*, *notebook Jupyter*, dan server web (Galahartlambang, Khotiah, & Jumain, 2021).

Menurut Sial et al., (2021) *matplotlib* merupakan salah satu visualisasi data yang paling terkenal dipergunakan perpustakaan *python*. Perpustakaan ini dibangun oleh seorang John Hunter yang beserta dengan beberapa kontributor, dan telah menghabiskan lebih banyak waktu buat mendorong perangkat lunak ini digunakan oleh setiap ilmuwan dan filsuf pada seluruh dunia. *Matplotlib* artinya pustaka grafik untuk paket visualisasi data dengan *python* yg mencakup menjadi aspek integral pada tumpukan ilmu data *python* serta mudah didukung dengan *NumPy*, *Pandas*, dan perpustakaan lain yang relevan.

#### **II.4.2 Seaborn**

*Seaborn* artinya perpustakaan buat menghasilkan grafik statistik menggunakan *Python*. *Seaborn* menyediakan antarmuka tingkat tinggi ke *matplotlib* serta terintegrasi erat menggunakan struktur data *panda*. Fungsi-fungsi di perpustakaan *seaborn* memaparkan api deklaratif berorientasi perpaduan data yang memudahkan menerjemahkan pertanyaan tentang data ke pada grafik yang bisa menjawabnya. Ketika diberi deretan data dan spesifikasi plot yang akan didesain, *seaborn* secara otomatis memetakan nilai data ke atribut visual seperti warna, ukuran, atau gaya, menghitung transformasi statistik secara internal, serta menghiasi plot dengan label sumbu informatif dan legenda. banyak fungsi *seaborn* dapat membuat gambar dengan beberapa panel yang menghasilkan perbandingan antara himpunan bagian data bersyarat atau pasangan variabel yang tidak sama pada kumpulan data. *seaborn* dirancang buat bermanfaat sepanjang siklus hidup proyek ilmiah. dengan membuat grafik lengkap berasal satu pemanggilan fungsi menggunakan argumen minimal,

*seaborn* memfasilitasi pembuatan prototipe cepat dan analisis data eksplorasi. serta dengan memberikan opsi ekstensif buat kustomisasi, beserta dengan mengekspos objek *matplotlib* yang mendasarinya, ini bisa dipergunakan buat menghasilkan figur kualitas publikasi yang dipoles (Waskom, 2021).

### II.4.3 Statsmodels

*Statsmodels* merupakan paket *Python* yang menyediakan pelengkap *SciPy* buat perhitungan statistik termasuk statistik deskriptif serta perkiraan model statistik. Selain model awal, regresi linier, model linier kuat, model linier umum serta model buat data diskrit, rilis teranyar asal *scikit. statsmodels* meliputi beberapa alat serta model dasar buat analisis deret waktu. Ini termasuk statistik deskriptif, uji statistik serta beberapa kelas model linier: *autoregressive*, *AR*, *autoregressive moving average*, *ARMA*, serta model vektor *autoregressive VAR* (McKinney, Perktold, & Seabold, 2011).

### II.5 Regresi Berganda

Regresi linear berganda merupakan perluasan dari regresi linear sederhana yakni regresi linear sederhana hanya menyediakan satu variabel bebas dan satu variabel terikat. Oleh karena itu, regresi linear berganda hadir di sini untuk menyempurnakan kelemahan regresi linear sederhana ketika ada lebih dari satu variabel bebas dan satu variabel terikat. Model regresi linear berganda dapat dituliskan sebagai berikut (Kurniawan & Yuniarto, 2016) :

$$y_1 = \beta_1 + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \dots + \beta_p x_{pi} + \mu_i \quad (2.1)$$

Dengan :

$\beta_1$  = *intercept* dari model

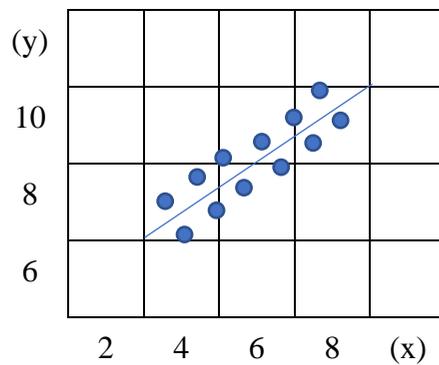
$\beta_2, \beta_3, \dots, \beta_p$  = koefisien-koefisien Regresi Parsial dari variabel dependen ke-i

$x_{2i}, x_{3i}, \dots, x_{pi}$  = variabel-variabel independen ke-I dengan parameternya

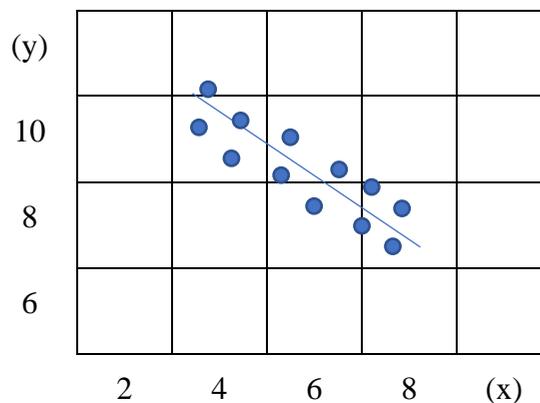
$y_i$  = variabel dependen ke-i

$\mu_i$  = residual (*error*) untuk pengamatan ke-i

Jika variabel x bertambah diikuti oleh variabel y, dan variabel x berkurang diikuti oleh variabel y, maka kedua variabel tersebut berada dalam hubungan yang positif. Sedangkan variabel x dan variabel y dikatakan mempunyai hubungan negatif jika variabel y menurun setiap kali variabel x bertambah, atau sebaliknya.



**Gambar 2.3** Korelasi Positif



**Gambar 2.4** Korelasi Negatif

Jika terdapat hubungan antara variabel x dan y, maka distribusi titik koordinat mengikuti pola yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4. variabel x dan y tidak berkorelasi jika distribusi titik-titik koordinat tidak teratur atau tidak mengikuti salah satu pola seperti yang ditunjukkan pada dua gambar di atas, yaitu jika tidak ada kenaikan atau penurunan y setelah penurunan atau peningkatan x.

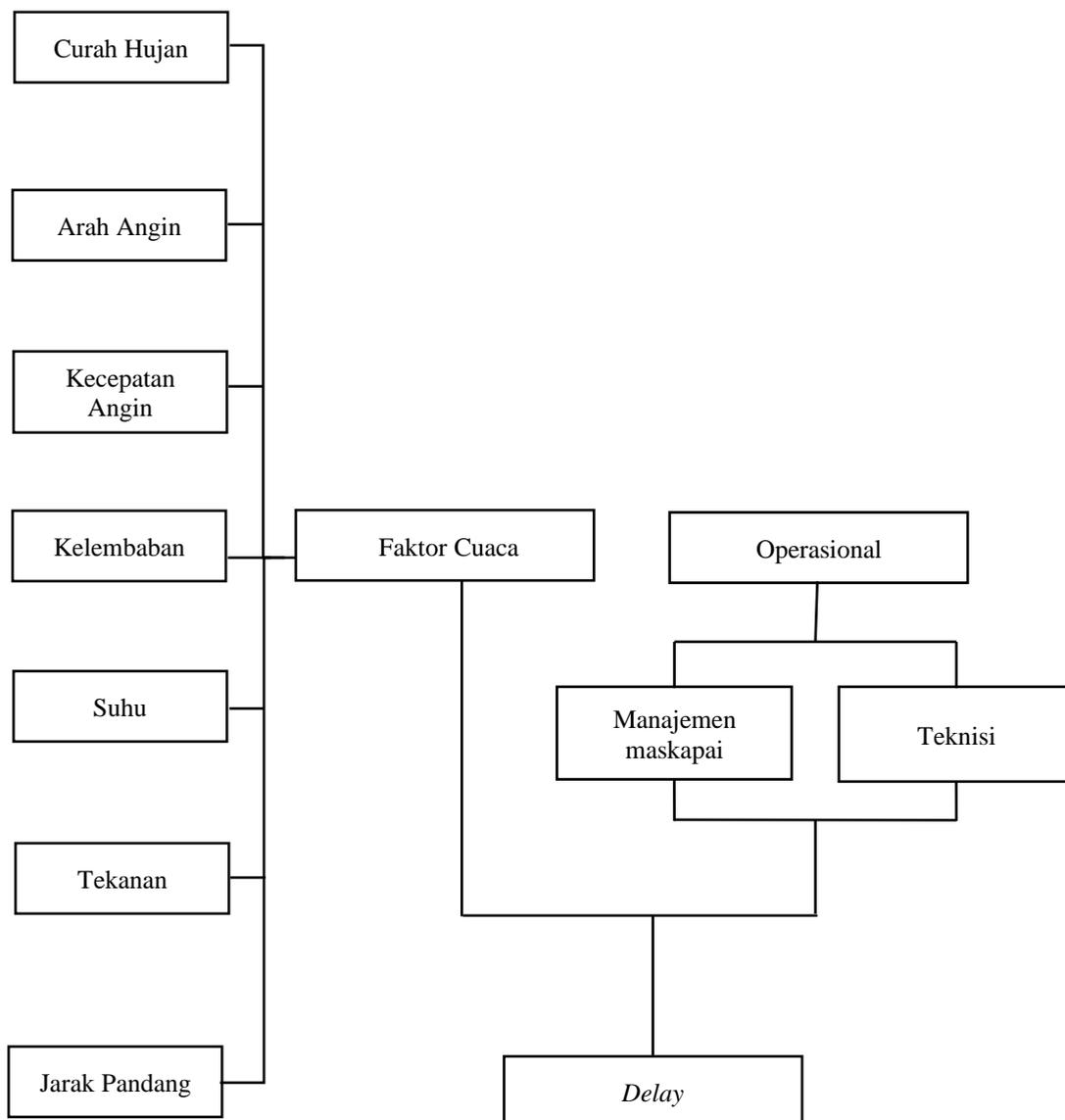
Koefisien korelasi digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antara variabel x dan y. Nilai koefisien korelasi berkisar antara -1 sampai dengan 1. Bila koefisiennya -1 atau 1 maka hubungan antar variabel dapat dikatakan sempurna apabila kemunculan variabel y dapat dijelaskan atau diprediksi oleh variabel x tanpa kesalahan. Semakin kecil nilai koefisien korelasi, semakin besar kesalahan prediksi. Dalam hal ini dapat dijelaskan bahwa perubahan nilai variabel y dapat dijelaskan atau diprediksi tidak hanya oleh variabel x, tetapi juga disebabkan oleh variabel lain (Kurniawan & Yuniarto, 2016).

**Tabel 2.2** Penafsiran Koefisien Korelasi Menurut Guilford (1956)

No.	Nilai Koefisien Korelasi	Keterangan
1.	$0 < r < 0,2$	Hubungan yang sangat kecil dan bisa dianggap tidak ada korelasi
2.	$0,2 \leq r < 0,4$	Hubungan yang kecil/tidak erat
3.	$0,4 \leq r < 0,7$	Hubungan yang moderat/ sedang
4.	$0,7 \leq r < 0,9$	Hubungan yang erat
5.	$0,9 \leq r < 1$	Hubungan yang sangat erat

## II.6 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir faktor penyebab *delay* pesawat dibuat berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM89 Tahun 2015. Adapun kerangka berpikir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



(Sumber : Menteri Perhubungan, 2015)  
**Gambar 2. 5** Kerangka Berpikir