

*Skripsi Geofisika*

**PEMODELAN PENGARUH FAKTOR CUACA TERHADAP LUASAN  
TUTUPAN SALJU (*SNOW COVER*) DI PUNCAK GUNUNG COTOPAXI**

**LOLA FEBIOLA**

**H061201022**



**DEPARTEMEN GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2024**

**HALAMAN JUDUL**

**PEMODELAN PENGARUH FAKTOR CUACA TERHADAP LUASAN  
TUTUPAN SALJU (*SNOW COVER*) DI PUNCAK GUNUNG COTOPAXI**

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains*

*Pada Departemen Geofisika*

*Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*

*Universitas Hasanuddin*



**OLEH:**

**LOLA FEBIOLA**

**H061201022**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2024**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PEMODELAN PENGARUH FAKTOR CUACA TERHADAP LUASAN  
TUTUPAN SALJU (*SNOW COVER*) DI PUNCAK GUNUNG COTOPAXI**

**Disusun dan Diajukan Oleh:**

**LOLA FEBIOLA**

**H061 20 1022**

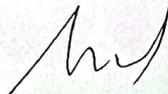
Tidak dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan  
Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada 26 Juni 2024

Dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

**Pembimbing**



**Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc**

**NIP. 196303151987101001**

**Ketua Departemen Geofisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin**



**Dr. Muh. Almuhammad Hamzah, M.Eng**

**NIP. 196709291993031003**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Lola Febiola

Nim : H061201022

Departemen : Geofisika

Judul Skripsi : Pemodelan Pengaruh Faktor Cuaca Terhadap Luasan

Tutupan Salju (*Snow Cover*) Di Puncak Gunung Cotopaxi

Menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Hasanuddin atau Lembaga Penelitian lain kecuali kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang sudah lazim digunakan, karya tulis ini merupakan murni dari gagasan penelitian saya sendiri, kecuali arahan dari Tim Pembimbing dan masukan Tim Penguji.

Makassar, 26 Juni 2024

Yang membuat pernyataan,



**Lola Febiola**

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, bimbingan, dan pertolongan-Nya, yang telah dan senantiasa Ia limpahkan sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul “**Pemodelan Pengaruh Faktor Cuaca Terhadap Luasan Tutupan Salju (*Snow Cover*) Di Puncak Gunung Cotopaxi**” sebagai syarat dalam menyelesaikan Program Sarjana (S1) pada Program Sarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Geofisika Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa adanya bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Sebelumnya izinkan penulis mengucapkan terimakasih sedalam-dalamnya kepada Orang Tua tercinta Ayahanda **Markus Lombe Paelo** dan Ibunda **Kristina Ining**, kakak dan adik tersayang **Nona, Adi, Asmin**, dan **Edi**, serta seluruh keluarga besar penulis yang selalu memberikan dukungan moril maupun material, doa, dan kasih sayang yang tiada hentinya untuk penulis.

Dalam kesempatan ini pula, penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya dari berbagai pihak atas bantuan, nasihat, didikan, dan bimbingan serta semangat yang diberikan kepada penulis selama ini. Untuk itu, dengan senang hati penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada yang terhormat:

1. Bapak **Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc** selaku Pembimbing yang telah berkenan memberikan bimbingan, bantuan, kepercayaan yang sangat berarti dan memberikan motivasi penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.

2. Bapak **Andika, S.Si., M.Si.** dan Bapak **Saaduddin, M.Sc** selaku Dosen Penguji Penulis yang memberikan kritik dan saran kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, M.Si.** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** selaku Ketua Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
5. Seluruh Dosen Departemen Geofisika, Staf Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, dan Staf Departemen Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin atas semua ilmu yang telah diajarkan, serta pelayanan dan bantuan yang diberikan kepada penulis.
6. Rekan-rekan seangkatan **Geofisika 2020** atas kebersamaannya dari maba hingga sekarang.
7. Kepada sahabat **WE JURNAL** yang telah membantu dan menemani penulis menyelesaikan skripsi ini.
8. Kepada sahabat **Jane** dan **Chelsea** yang telah memberikan semangat dan supportnya kepada penulis.
9. Kepada kakak tercinta **Kak Widy** dan **Kak Idel** yang telah menghadirkan Joshua dan Evan, yang menjadi penyemangat di kehidupan penulis.
10. Untuk diri saya sendiri, yang sudah berusaha menyelesaikan kewajiban ini dan telah bertahan hingga sekarang.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, sehingga dengan segala kerendahan hati penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun untuk memperbaiki kekurangan yang ada. Penulis pun tetap berharap agar tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya.

Makassar, 26 Juni 2024

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>SARI BACAAN .....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Ruang Lingkup.....	3
I.3 Rumusan Masalah .....	3
I.4 Tujuan Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
II.1 Iklim Regional Ekuador.....	4
II.2 Penurunan Luas Tutupan Salju .....	5
II.3 Faktor Cuaca .....	7
II.3.1 Suhu Udara.....	7
II.3.2 Kelembapan Udara.....	7
II.3.3 Kecepatan Angin .....	8

II.3.4 Arah Angin .....	10
II.4 Metode <i>Multiple Regression</i> (MR) .....	10
II.5 <i>Stepwise Regression</i> .....	12
II.6 Korelasi Pearson .....	14
II.7 <i>Root Mean Squared Error</i> (RMSE) .....	15
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>16</b>
III.1 Lokasi Penelitian .....	16
III.2 Alat dan Bahan .....	17
III.2.1 Alat .....	17
III.2.2 Bahan .....	17
III.3 Prosedur Penelitian .....	19
III.3.1 Tahap Persiapan dan Pengumpulan Data .....	19
III.3.2 Tahap Pengolahan Data .....	19
III.4 Bagan Alir Penelitian .....	21
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>22</b>
IV.1 Signifikansi Prediktor .....	22
IV.2 Nilai Konstanta ( <b><i>a</i></b> ) dan Koefisien ( <b><i>b</i></b> ) .....	22
IV.3 Model Pengaruh Prediktor Terhadap Perubahan Luasan Tutupan Salju ...	23
IV.4 Verifikasi Prediktor Nilai Korelasi Pearson ( <b><i>r</i></b> ) dan RMSE .....	24
IV.5 Trend Perubahan Luasan Tutupan Salju .....	24
IV.6 Korelasi antara Luasan Tutupan Salju dan kecepatan Angin .....	25
IV.7 Laju Perubahan Luas Tutupan Salju .....	26
IV.8 Peta Spasial Kecepatan dan Arah Angin .....	28

<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>31</b>
V.1 Kesimpulan .....	31
V.2 Saran.....	31
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>32</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>37</b>

## SARI BACAAN

Cuaca menjadi indikator perubahan iklim di bumi yang mempengaruhi berbagai aspek kehidupan. Perubahan luasan tutupan salju di Gunung Cotopaxi merupakan fenomena yang dipengaruhi oleh faktor cuaca. Hal ini yang menjadi alasan penelitian dilakukan untuk memahami pengaruh faktor cuaca terhadap perubahan luasan tutupan salju. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan faktor cuaca signifikan penyebab perubahan luasan tutupan salju di Gunung Cotopaxi. Penelitian ini menggunakan metode *Stepwise Multiple Regression Model* (MR), analisis korelasi pearson dan metrik *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk menganalisis akurasi model dalam memodelkan perubahan luasan tutupan salju di Gunung Cotopaxi. Hasil penelitian menggunakan metode Stepwise Multiple Regression Model menunjukkan adanya hubungan signifikan antara kecepatan angin terhadap luasan tutupan salju dengan nilai signifikansi sebesar 0,003. Hasil analisis korelasi pearson menunjukkan bahwa kecepatan angin berpengaruh secara signifikan terhadap luasan tutupan salju dan memiliki tingkat akurasi model kategori sangat kuat dengan nilai korelasi sebesar 0,820 dan nilai RMSE yang yaitu 1,966 km<sup>2</sup>. Sedangkan, beberapa faktor cuaca menunjukkan nilai korelasi yang rendah ( $r = 0,015 - 0,308$ ). Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan luasan tutupan salju di puncak Gunung Cotopaxi didominasi oleh peran kecepatan angin. Sebagai saran, penelitian berikutnya dapat menggunakan rentang waktu yang lebih lama dapat digunakan agar lebih akurat dalam memberi wawasan tentang tren jangka panjang fenomena perubahan luasan tutupan salju.

**Kata Kunci:** Suhu Udara, Kelembapan Udara, Kecepatan Angin, Arah Angin, Tutupan Salju

## ABSTRACT

*Weather is an indicator of climate change on earth that affects various aspects of life. The change in snow cover area on Mount Cotopaxi is a phenomenon that is influenced by weather factors. This is the reason why research was conducted to understand the influence of weather factors on changes in snow cover extent. This study aims to model the significant weather factors that cause changes in the snow cover area on Mount Cotopaxi. This study uses the Stepwise Multiple Regression Model (MR) method, Pearson correlation analysis and Root Mean Square Error (RMSE) metric to analyze the accuracy of the model in modeling changes in snow cover area on Mount Cotopaxi. The results of the study using the Stepwise Multiple Regression Model method showed a significant relationship between Kecepatan Angin and snow cover extent, with a significance value of 0.003. Pearson correlation analysis results show that Kecepatan Angin has a significant effect on snow cover area and has a very strong level of model accuracy with a correlation value of 0.820 and an RMSE value of 1.966 km<sup>2</sup>. Meanwhile, some weather factors show low correlation values ( $r = 0.015-0.308$ ). Based on the results of the analysis, it shows that the change in snow cover area at the summit of Mount Cotopaxi is dominated by the role of Kecepatan Angin. As a suggestion, future research could use a longer time span to more accurately provide insight into the long-term trend of the snow cover change phenomenon.*

**Keywords:** *Air Temperature, Air Humidity, Kecepatan Angin, Arah Angin, Snow Cover*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Suhu Udara Permukaan Rata-rata Tahunan Cotopaxi (The World Bank Group, 2021).....	4
<b>Gambar 3. 1</b> Lokasi Penelitian .....	16
<b>Gambar 3. 2</b> Bagan Alir .....	21
<b>Gambar 4. 1</b> Model Pengaruh Kecepatan Angin terhadap Perubahan Luas Tutupan Salju .....	23
<b>Gambar 4. 2</b> Grafik Tren Perubahan Luas Tutupan Salju.....	24
<b>Gambar 4. 3</b> Grafik Overlay Luas Tutupan Salju dan Kecepatan Angin .....	25
<b>Gambar 4. 4</b> Grafik Laju Perubahan Luas Tutupan Salju.....	26
<b>Gambar 4. 5</b> Peta Spasial Vektor Angin Bulanan .....	28
<b>Gambar 4. 6</b> Peta Spasial Vektor Angin Rata-Rata Periode Tahun 2014-2023 ...	29

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Klasifikasi Kecepatan Angin Menurut Skala Beaufort (Sanger, 2012) .	<b>9</b>
<b>Tabel 2. 2</b> Interpretasi Nilai Koefisien Korelasi ( <i>Sugiono, 2010</i> ). .....	<b>15</b>
<b>Tabel 4. 1</b> Prediktor Signifikan dan Nilai Signifikan .....	<b>22</b>
<b>Tabel 4. 2</b> Prediktor Signifikan Beserta nilai Konstanta ( <i>a</i> ) dan Koefisien ( <i>b</i> ) ...	<b>23</b>

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Data Luas Tutupan Salju di Gunung Cotopaxi .....	37
<b>Lampiran 2.</b> Data 4 Prediktor .....	37
<b>Lampiran 3.</b> Tabel Nilai Korelasi Data Observasi Luasan Tutupan Salju terhadap Semua Prediktor .....	37
<b>Lampiran 4.</b> Program Matlab untuk Pemodelan Pengaruh Faktor Cuaca Signifikan terhadap Perubahan Luasan Tutupan Salju menggunakan <i>Multiple Regression</i> metode <i>Stepwise</i> .....	38
<b>Lampiran 5.</b> Program Matlab Untuk Membuat Grafik Tren Perubahan Luasan Tutupan Salju .....	40
<b>Lampiran 6.</b> Program Matlab Untuk Membuat Grafik Overlay Luas Tutupan Salju Dan Kecepatan Angin .....	41
<b>Lampiran 7.</b> Program Matlab Untuk Membuat Grafik Laju Perubahan Luas Tutupan Salju .....	42
<b>Lampiran 8.</b> Program Matlab Untuk Membuat Peta Spasial Vektor Angin .....	43
<b>Lampiran 9.</b> Citra <i>Landsat 8</i> Pada Puncak Gunung Cotopaxi .....	45
<b>Lampiran 10.</b> Tampilan Tutupan Salju Pada Citra Satelit USGS.....	48
<b>Lampiran 11.</b> Peta Spasial Kecepatan dan Arah Angin Bulanan.....	49

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

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

Cuaca menjadi indikator perubahan iklim di bumi yang mempengaruhi berbagai aspek kehidupan. Cuaca adalah bentuk awal yang terkait dengan pemahaman kondisi fisik udara pada suatu tempat dan waktu tertentu serta dapat diartikan sebagai peristiwa perubahan atmosfer yang terjadi saat ini dan dapat berubah dari waktu ke waktu. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perubahan cuaca, seperti suhu, tekanan, kelembaban, kecepatan angin, lama penyinaran matahari, arah angin, awan dan hujan (Hidayat dkk. dalam Sunarmi dkk., 2022). Karakteristik utama dari perubahan iklim ini ditandai dengan meningkatnya temperatur rata-rata bumi secara global, berubahnya lapisan awan, melelehnya gletser-gletser dan gunung-gunung es di kutub utara, dan meningkatkan suhu dan kadar keasaman laut. Perubahan iklim ini telah menjadi masalah yang potensial bagi negara-negara di dunia (Fatkurrohman dalam Sarkawi, 2011).

Ekuador memiliki berbagai macam ekosistem karena keragaman kondisi iklim, disebabkan oleh gradien ketinggian dan kedekatannya dengan khatulistiwa (Jorgensen dkk., 2006). Sebagian besar pesisirnya beriklim tropis, menjadi lebih dingin di daerah pedalaman seiring dengan meningkatnya ketinggian, dan menjadi hangat kembali di dataran yang lebih rendah di wilayah Amazon di sebelah timur Andes. Meskipun Ekuador bukan merupakan kontributor utama emisi rumah kaca di seluruh dunia, perubahan iklim dan penipisan sumber daya yang terkait dengan kemiskinan dan pertumbuhan penduduk, menempatkan negara ini pada posisi yang

sulit untuk menemukan strategi adaptasi dan mitigasi untuk memerangi dampak perubahan iklim (IPCC, 2014).

Gletser di wilayah tropis Andes telah menyusut dengan cepat selama beberapa dekade terakhir dan menjadi perhatian khusus karena berbagai alasan. Penyusutan tutupan salju di pegunungan Andes di Peru, Chili dan Ekuador telah didokumentasikan dalam literatur terbaru, dan telah ditemukan berkorelasi kuat dengan variabel perubahan iklim, yang akibatnya dapat mengubah siklus air di daerah tersebut (La Frenierre dkk. dalam Mendoza, 2018).

Studi penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Bolivar (2018) menyatakan bahwa selama periode 1977 hingga 2016, total area gletser Gunung Cotopaxi yang hilang yaitu sebesar 11,3 km<sup>2</sup>. Luas tutupan gletser pada tahun 1977 yaitu 21,8 km<sup>2</sup>. Kemudian pada tahun 2016 luas tutupan gletser yaitu 10,5 km<sup>2</sup>. Jadi total pengurangan luas area gletser periode 1977 hingga 2016 mencapai 51,83% (Bolivar, 2018). Berdasarkan literatur tentang apa yang ditemukan oleh studi serupa sebelumnya, studi penelitian ini dilakukan di wilayah Ekuador yaitu di Puncak Gunung Cotopaxi, untuk mendapatkan penilaian yang lebih lengkap mengenai fenomena pengurangan luas tutupan salju di Amerika Selatan. Dengan mengumpulkan, menganalisis dan membandingkan citra *landsat* historis dari Gunung Berapi Cotopaxi, penelitian ini bertujuan mempelajari perubahan ukuran area yang tertutup salju berdasarkan ketersediaan data yang mencakup jangka waktu sekitar 10 tahun. Kemudian mengidentifikasi korelasi antara perubahan luas tutupan salju dengan pengaruh faktor cuaca menggunakan *Stepwise Multiple Regression* (MR).

## **I.2 Ruang Lingkup**

Adapun ruang lingkup penelitian ini yaitu menganalisis perubahan luasan tutupan salju di Puncak Gunung Cotopaxi akibat pengaruh faktor cuaca menggunakan *Stepwise Multiple Regression* (MR). Data yang digunakan ialah data suhu udara, kelembapan udara, kecepatan angin, arah angin, dan data luas tutupan salju dari tahun 2014 hingga 2023.

## **I.3 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Apa faktor cuaca signifikan yang menyebabkan perubahan luasan tutupan salju di Gunung Cotopaxi dengan menggunakan metode *Stepwise Multiple Regression* (MR)?
2. Bagaimana akurasi model faktor cuaca signifikan penyebab perubahan luasan tutupan salju di Gunung Cotopaxi dengan menggunakan metode analisis korelasi pearson dan metrik *Root Mean Squared Error* (RMSE)?

## **I.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian dalam penelitian ini yaitu:

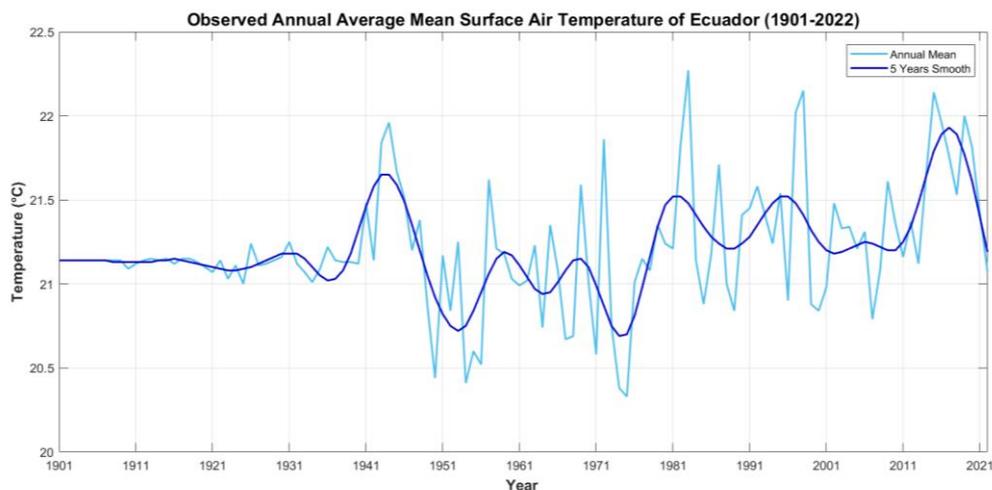
1. Membuat model faktor cuaca signifikan sebagai penyebab perubahan luasan tutupan salju di Gunung Cotopaxi dengan menggunakan metode *Stepwise Multiple Regression* (MR).
2. Menganalisis akurasi model faktor signifikan penyebab perubahan luasan tutupan salju di Gunung Cotopaxi dengan menggunakan metode analisis korelasi pearson dan metrik *Root Mean Squared Error* (RMSE).

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Iklim Regional Ekuador

Iklim adalah keadaan rata - rata cuaca disuatu daerah dalam jangka lama dan tetap yang dijumpai di suatu tempat yang dipengaruhi oleh keadaan lingkungan setempat seperti daratan dan lautan (Wirjomiharjo dkk. dalam Winarno, 2019). Iklim Ekuador sangat bervariasi, yang sebagian besar ditentukan oleh ketinggian. Lembah pegunungan memiliki iklim sedang sepanjang tahun dan iklim subtropis lembab terdapat di wilayah pesisir dan hutan hujan di dataran rendah.



**Gambar 2. 1** Suhu Udara Permukaan Rata-rata Tahunan Cotopaxi (The World Bank Group, 2021)

Negara ini memiliki dua musim utama yang dibedakan berdasarkan distribusi curah hujan: musim hujan dan musim panas atau musim kemarau. Keempat wilayah yang membentuk negara ini memiliki iklim yang sangat berbeda. Pesisirnya beriklim tropis dan musim hujan yang berlangsung dari akhir Desember hingga Mei, rezim termal dicirikan oleh variasi 2°C hingga 3°C antara bulan terpanas dan terdingin.

Lembah antar-Andes mempunyai iklim sedang dan musim hujan dari bulan Oktober sampai Mei dan musim kemarau dari bulan Juni sampai September, suhu rata-rata bulanan sekitar 14,5° C pada musim hujan dan 15° C pada musim kemarau. Wilayah Amazon di bagian timur negara ini mengalami curah hujan sepanjang tahun, suhu rata-rata sekitar 21° C selama sebagian besar bulan sepanjang tahun. Wilayah Pulau yang terdiri dari Kepulauan Galapagos mempunyai iklim yang mirip dengan Wilayah Pesisir. Suhu rata-rata sekitar 25°C hingga 26°C selama musim hujan (Desember hingga Mei) dan 21°C hingga 22°C selama musim kemarau (Juni hingga November), terutama karena pengaruh arus Humboldt yang dingin. Iklim suatu negara sangat dipengaruhi oleh pengaruh faktor oseanografi, sirkulasi atmosfer, dan arus laut karena berada di *Intertropical Convergence Zone* (ITCZ).

Variabilitas iklim di Ekuador erat kaitannya dengan *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) dengan peningkatan curah hujan dan banjir di wilayah pesisir dan Andes Barat, serta kekeringan di wilayah Utara dan Timur. Dalam jangka menengah dan panjang, tren perubahan iklim di Ekuador diperkirakan akan menimbulkan dampak besar bagi negara tersebut. Hal ini mencakup intensifikasi kejadian iklim ekstrem seperti kenaikan permukaan laut, peningkatan penyusutan gletser, penurunan limpasan tahunan dan peningkatan kerentanan sumber daya air, meningkatnya kerentanan terhadap banjir dan kekeringan berkepanjangan, peningkatan penularan demam berdarah dan penyakit tropis lainnya (The World Bank Group, 2021).

## **II.2 Penurunan Luas Tutupan Salju**

Gunung Cotopaxi terletak di Ekuador, dan iklim di sekitarnya dipengaruhi oleh ketinggian dan letak geografisnya. Gunung Cotopaxi merupakan gunung berapi

tertinggi kedua di Ekuador dan merupakan bagian dari Pegunungan Andes. Suhu bervariasi berdasarkan ketinggian, Gunung Cotopaxi memiliki gurun yang lembab dan beriklim sedang, dengan suhu rata-rata 12°C. Di ketinggian yang tinggi, iklim gunung Cotopaxi cenderung dingin sepanjang tahun. Suhu rata-rata bulanan mengikuti pola khas tropis dan memiliki fluktuasi yang sangat kecil sepanjang tahun, biasanya kurang dari 2°C. Sebaliknya, perbedaan suhu antara siang dan malam cukup besar, dan perbedaan tersebut meningkat seiring ketinggian. Pada ketinggian 3.560 m di atas permukaan laut, suhu harian maksimum dan minimum absolut masing-masing adalah 20,4°C dan -4,8°C (Jordan dkk., 1999).

Penyusutan tutupan salju di pegunungan Andes di Peru, Chili dan Ekuador telah didokumentasikan dalam literatur terbaru, dan telah ditemukan berkorelasi kuat dengan variabel perubahan iklim (La Frenierre dkk. dalam Mendoza, 2018), yang akibatnya dapat mengubah siklus air di daerah tersebut. Perubahan luas tutupan salju mempengaruhi penyimpanan air dan limpasan air di daerah tangkapan air karena tutupan salju dapat bertindak sebagai penyimpanan air sementara untuk hujan yang turun sebagai salju di dataran tinggi (Chevallier dkk. dalam Mendoza, 2018). Perubahan iklim dapat secara signifikan mengurangi cadangan air di Ekuador. Lapisan salju juga menyediakan kelembapan tanah dan pengisian air tanah. Dengan kerentanan yang tinggi dari negara ini terhadap gangguan hasil pertanian, perubahan iklim menjadi ancaman yang sangat besar bagi perekonomian dan stabilitas sosio-ekologi negara. Pengamatan empiris terhadap Andes di Ekuador telah menunjukkan adanya penurunan tutupan salju di semua gunung di wilayah tersebut (La Frenierre dkk. dalam Mendoza, 2018).

## **II.3 Faktor Cuaca**

### **II.3.1 Suhu Udara**

Suhu udara secara umum adalah atmosfer yang merupakan lapisan campuran gas yang menyelimuti bumi dan terikat pada bumi oleh gaya gravitasi. Lapisan yang terbawah yang bersentuhan langsung dengan permukaan bumi dinamakan lapisan troposfer. Suhu udara adalah salah satu parameter penting yang mencerminkan keadaan termal atmosfer di suatu lokasi dan waktu tertentu. Di wilayah tropis, kenaikan suhu udara diikuti dengan peningkatan intensitas curah hujan akibat dari tingginya penguapan di laut (Chou dkk., 2009).

Salah satu parameter untuk melihat adanya perubahan iklim adalah suhu udara permukaan. Peningkatan suhu udara permukaan menjadi salah satu indikator terhadap pemanasan global akibat dari ketidakseimbangan energi yang masuk dan keluar di atmosfer bumi. Oleh karena atmosfer bersifat dinamis, maka suhu udara permukaan dapat mempengaruhi parameter cuaca dan iklim yang lain, seperti curah hujan, kelembapan, dan penguapan (Puspitasari dkk., 2016).

### **II.3.2 Kelembapan Udara**

Kelembapan udara adalah banyaknya uap air yang terkandung dalam udara atau atmosfer. Besarnya tergantung dari masuknya uap air ke dalam atmosfer karena adanya penguapan dari air yang ada di lautan, danau, dan sungai, maupun dari air tanah. Disamping itu terjadi pula dari proses transpirasi, yaitu penguapan dari tumbuh - tumbuhan. Sedangkan banyaknya air di dalam udara bergantung kepada banyak faktor, antara lain adalah ketersediaan air, sumber uap, suhu udara, tekanan udara, dan angin (Fadholi dalam Saragih dkk., 2020).

Berbagai ukuran dapat digunakan untuk menyatakan nilai kelembapan udara. Salah satunya adalah kelembapan relative (nisbi). Kelembapan udara relative memiliki pengertian sebagai nilai perbandingan antara takanan uap air yang ada pada saat pengukuran ( $e$ ) dengan nilai takanan uap air maksimum ( $e_m$ ) yang dapat dicapai pada suhu udara dan takanan udara saat pengukuran (Wirjohamidjojo dalam Fadholi, 2013). Persamaan untuk kelembapan udara relatif adalah sebagai berikut:

$$RH = \frac{e}{e_m} \times 100\% \quad (2.1)$$

Dimana :

$RH$  : Kelembapan Relatif (%)

$e$  : Tekanan uap air pada saat pengukuran (mb)

$e_m$  : Tekanan uap air maksimum yang dapat dicapai pada suhu udara dan takanan udara pada saat pengukuran (mb).

### II.3.3 Kecepatan Angin

Angin merupakan udara yang bergerak secara horizontal yang diakibatkan rotasi bumi dan adanya perbedaan takanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari daerah bertekanan udara tinggi ke daerah bertekanan udara rendah. Angin diberi nama sesuai dengan dari arah mana angin datang, misalnya angin timur adalah angin yang datang dari arah timur, angin laut adalah angin dari laut ke darat, dan angin Lembah adalah angin yang datang dari lembah menaiki gunung (Tjasyono dalam Lusiani, 2011).

Kecepatan angin merupakan salah satu unsur penting dalam menentukan iklim suatu daerah. Hal ini karena kecepatan angin dapat mempengaruhi suhu udara,

penyebaran polutan, pola hujan, dan kondisi cuaca secara umum. Misalnya, kecepatan angin yang tinggi dapat membawa udara dingin ke suatu wilayah, sementara kecepatan angin yang rendah dapat menyebabkan udara panas terperangkap di suatu daerah. Oleh karena itu, kecepatan angin menjadi salah satu parameter penting dalam memahami iklim suatu wilayah. Kecepatan angin yang tinggi dapat menyebabkan hilangnya awan dan meningkatkan intensitas radiasi cahaya matahari (Mumby dkk., 2001).

**Tabel 2. 1** Klasifikasi Kecepatan Angin Menurut Skala Beaufort (Sanger, 2012)

Skala Beaufort	Kategori	Kecepatan Angin (m/s)
1	Tenang	0-0,3
2	Sedikit Tenang	0,3-1,5
3	Sedikit Hembusan Angin	1,5-3,3
4	Hembusan Angin Pelan	3,3-5,5
5	Hembusan Angin Sedang	5,5-8
6	Hembusan Angin Sejuk	8-10,8
7	Hembusan Angin Kuat	10,8-13,9
8	Mendekati Kencang	13,9-17,2
9	Kencang	17,2-20,7
10	Kencang Sekali	20,7-24,5
11	Badai	24,5-28,4
12	Badai Dasyat	28,4-32,6
13	Badai Topan	32,6<

### **II.3.4 Arah Angin**

Angin biasa diartikan sebagai udara yang bergerak akibat adanya perbedaan tekanan udara dengan arah aliran angin dari wilayah yang memiliki tekanan tinggi ke wilayah yang bertekanan rendah atau dari daerah yang memiliki suhu rendah ke wilayah bersuhu tinggi (Kartasapoetra, 2004). Angin yang berada pada lapisan 850 milibar atau setara di ketinggian 1,4 km dapat mempengaruhi proses pembentukan awan yang dapat menyebabkan adanya curah hujan di suatu wilayah. Pada lapisan ini pengaruh topografi itu tidak berpengaruh terhadap pergerakan dari arah angin itu (Lakitan dalam Sartika dkk., 2016).

Angin merupakan besaran vektor yang mempunyai arah dan kecepatan. Kecepatan angin adalah kondisi dimana kecepatan udara yang bergerak secara horizontal yang dipengaruhi oleh adanya gradien barometris letak tempat, tinggi tempat, dan keadaan topografi suatu tempat. Satuan dari kecepatan angin ialah meter per detik, kilometer per jam atau knot. Sedangkan arah angin adalah arah dari mana angin itu berhembus dan dapat dinyatakan dalam derajat arah (*Direction Degree*) yang diukur searah dengan arah jarum jam, mulai dari titik utara Bumi atau secara sederhana sesuai dengan skala sudut pada Kompas (Suwarti dkk., 2017).

### **II.4 Metode *Multiple Regression* (MR)**

Analisis regresi merupakan salah satu teknik analisis data dalam statistika yang seringkali digunakan untuk mengkaji hubungan antara beberapa variabel dan meramal suatu variable. Analisis regresi berganda merupakan perluasan dari analisis regresi linier sederhana. Dalam regresi linier sederhana, dibuat analisis hubungan dua variable (satu variabel independent dengan satu variabel dependent)

yang dinyatakan dengan persamaan linier  $Y' = a + bX$ , dengan tujuan membuat prediksi tentang besarnya nilai Y (variabel dependent) berdasarkan nilai X (variabel independent) tertentu (Kutner dkk. dalam Fathurahman, 2011).

Regresi linier berganda merupakan suatu algoritma yang digunakan untuk menelusuri pola hubungan antara variabel terikat dengan dua atau lebih variabel bebas (Uyanik & Guler, 2013). Analisis Multiple Regression (MR) dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut (Kutner dkk., 2004):

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (2.2)$$

Dimana :

$Y$  : Tutupan salju ( $km^2$ )

$a$  : Konstanta

$b_1, b_2, b_n$  : Koefisien

$X_1$  : Suhu ( $^{\circ}C$ )

$X_2$  : Kelembapan Udara (%)

$X_3$  : Kecepatan Angin ( $m/s$ )

$X_4$  : Arah Angin ( $^{\circ}$ )

Untuk mendapatkan nilai  $a$ ,  $b_1$  dan  $b_2$  digunakan rumus-rumus sebagai berikut :

$$a = \bar{Y} - b_1\bar{X}_1 - b_2\bar{X}_2 \quad (2.3)$$

$$\bar{Y} = \frac{\Sigma Y}{n} \quad (2.4)$$

$$\bar{X}_1 = \frac{\Sigma X_1}{n} \quad (2.5)$$

$$\bar{X}_2 = \frac{\Sigma X_2}{n} \quad (2.6)$$

$$b_1 = \frac{(\sum X_2^2)(\sum X_1 Y) - (\sum X_1 X_2)(\sum X_2 Y)}{(\sum X_1^2)(\sum X_2^2) - (\sum X_1 X_2)^2} \quad (2.7)$$

$$b_2 = \frac{(\sum X_1^2)(\sum X_2 Y) - (\sum X_1 X_2)(\sum X_1 Y)}{(\sum X_1^2)(\sum X_2^2) - (\sum X_1 X_2)^2} \quad (2.8)$$

Dimana :

$\bar{Y}$  : Nilai Rata-Rata Data Observasi

$\bar{X}_1, \bar{X}_2$  : Nilai Rata-Rata Prediktor

$n$  : Jumlah Data Observasi

## II.5 Stepwise Regression

*Stepwise regression* adalah salah satu teknik yang dapat digunakan dalam analisis regresi linier berganda untuk menentukan variabel prediktor yang berpengaruh signifikan terhadap suatu variabel dependen. *Stepwise regression* adalah suatu algoritma atau prosedur dalam membangun metode *multiple regression* untuk memilih variabel prediktor yang paling relevan dan signifikan secara bertahap, baik dengan menambahkan atau menghapus variabel prediktor dari model. *Stepwise regression* membantu proses analisis untuk mendapatkan model yang memberikan kontribusi tinggi. *Stepwise regression* memiliki kelebihan yaitu meminimumkan variabel bebas yang masuk dalam model sehingga menghasilkan model yang lebih sederhana (Wohon dkk., 2017).

*Stepwise regression* merupakan kombinasi dari metode seleksi langkah maju (*Forward Selection*) dan metode eliminasi langkah mundur (*Backward Elimination*). *Stepwise regression* dilakukan dengan melalui beberapa tahapan. Pada masing-masing tahapan, akan diputuskan variabel mana yang merupakan variabel bebas terbaik untuk dimasukkan ke dalam model.

Variabel ditentukan berdasarkan uji-F, variabel ditambahkan ke dalam model selama nilai *p-value* kurang dari nilai kritik  $\alpha$ , kemudian dengan uji parsial dilakukan penghapusan variabel yang tidak signifikan. Proses ini dilakukan terus menerus hingga tidak ada lagi variabel yang memenuhi kriteria untuk ditambahkan atau dihilangkan. Pada *Stepwise regression* dapat juga dilakukan modifikasi yang memungkinkan variabel yang telah masuk sebelumnya dikeluarkan lagi hingga terbentuk model regresi terbaik (Montgomery dalam Susilawati dkk., 2012). Berikut adalah prosedur dasar analisis *Stepwise regression* (Suharjo, 2008):

1. Hitung korelasi semua peubah penjelas (X) dengan peubah respon (Y). Peubah yang dipilih pertama kali adalah yang memiliki korelasi tertinggi dengan peubah respon, misalkan  $X_1$
2. Hitunglah regresi linier ordo pertama  $\hat{Y} = f(X_1)$
3. Lakukan pengujian terhadap koefisien regresi yang terbentuk untuk mengetahui apakah peubah  $X_1$  nyata atau tidak. Jika hasil pengujian ini tidak nyata, proses berhenti dan model terbaik adalah  $Y = \bar{Y}$
4. Jika hasil pengujian nyata, cari peubah penjelas kedua untuk dimasukkan ke dalam model dengan memeriksa koefisien korelasi parsial Y dengan semua peubah penjelas yang berada di luar persamaan regresi, yaitu  $X_j; j \neq 1$ . Dengan kata lain, Y dan  $X_1$  keduanya dikoreksi melalui hubungan garis lurus dengan  $X_1$ . Misalkan peubah yang terpilih adalah  $X_2$ , dan selanjutnya cari persamaan regresi ke dua  $\hat{Y} = f(X_1, X_2)$
5. Setelah itu lakukan lagi pemeriksaan terhadap koefisien regresi, dan nilai-F parsial kedua peubah yang ada di dalam persamaan diuji. Nilai-F parsial

terendah dibandingkan dengan nilai-F tabel. Hasil pengujian ini akan menentukan apakah peubah-peubah ini akan dipertahankan atau dikeluarkan dari model

6. Proses terus berlanjut sampai akhirnya tidak ada lagi peubah yang akan dimasukkan atau dikeluarkan dari model.

## II.6 Korelasi Pearson

Korelasi pearson merupakan korelasi sederhana yang hanya melibatkan satu variabel terikat (dependent) dan satu variabel bebas (independent). Korelasi pearson menghasilkan koefisien korelasi yang berfungsi untuk mengukur kekuatan hubungan linier antara dua variabel. Jika hubungan dua variabel tidak linier, maka koefisien korelasi pearson tersebut tidak mencerminkan kekuatan hubungan dua variabel yang sedang diteliti, meski kedua variabel mempunyai hubungan kuat. Koefisien korelasi ini disebut koefisien korelasi pearson karena diperkenalkan pertama kali oleh Karl Pearson tahun 1990 (Firdaus, 2009). Koefisien korelasi pearson dihitung dengan menggunakan rumus berikut (Sugiono, 2010) :

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \quad (2.9)$$

Dimana :

N : Jumlah Data

r : Koefisien Korelasi Pearson

$x_i$  : Data Observasi

$y_i$  : Data Prediksi

**Tabel 2. 2** Interpretasi Nilai Koefisien Korelasi (*Sugiono, 2010*).

Nilai R	Interpretasi
0,00 s/d 0,199	Sangat rendah
0,20 s/d 0,40	Rendah
0,40 s/d 0,60	Sedang
0,60 s/d 0,80	Kuat
0,80 s/d 1,000	Sangat Kuat

### **II.7 Root Mean Squared Error (RMSE)**

RMSE (*Root Mean Squared Error*) adalah metode evaluasi yang mengukur perbedaan nilai dari prediksi sebuah model sebagai estimasi atas nilai yang diobservasi. RMSE berfungsi untuk mendapatkan besaran tingkat kesalahan dari hasil prediksi (Wang dkk., 2018).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_t)^2}{n}} \quad (2.10)$$

Dimana :

n : Jumlah Data

$Y_i$  : Nilai Data Prediksi

$Y_t$  : Nilai Data Observasi