

*Skripsi Geofisika*

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



**OLEH:**

**GERY JIMMIAWAN**

**H061201007**

**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 KILIMANJARO**

**SKRIPSI**

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

*Pada Departemen Geofisika*

*Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*

*Universitas Hasanuddin*

**OLEH:**

**GERY JIMMIAWAN**

**H061201007**

**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 KILIMANJARO**

**Disusun dan Diajukan Oleh:**

**GERY JIMMIAWAN**

**H061201007**

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

Pada 22 Juni 2024

Dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

**Pembimbing Utama**



**Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc**  
**NIP. 196303151987101001**

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



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

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Gery Jimmiawan

NIM : H061201007

Departemen : Geofisika

Judul Skripsi : Pemodelan Pengaruh Faktor Cuaca Terhadap Luasan  
Tutupan Salju (*Snow Cover*) Di Puncak Gunung Kilimanjaro

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, 22 Juni 2024

Yang membuat pernyataan,



Gery Jimmiawan

## SARI BACAAN

Gunung Kilimanjaro mengalami perubahan pada luasan tutupan salju yang diakibatkan oleh perubahan iklim. Hal inilah yang menjadi alasan penelitian dilakukan untuk menganalisis dan memahami pengaruh spesifik faktor cuaca dan iklim. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan faktor cuaca dan faktor iklim signifikan penyebab perubahan luasan tutupan salju di gunung Kilimanjaro. Penelitian ini menggunakan metode *Stepwise Multiple Regression*, analisis korelasi pearson dan metrik *Root Mean Squared Error* (RMSE) untuk menganalisis akurasi model dalam memodelkan perubahan luasan tutupan salju. Hasil penelitian menggunakan metode *Stepwise Multiple Regression* menunjukkan adanya hubungan signifikan antara suhu udara, kecepatan angin dan curah hujan terhadap luasan tutupan salju dengan nilai signifikansi berada di angka 0.001 hingga 0.048. Hasil analisis korelasi pearson menunjukkan interaksi antara tiga prediktor paling signifikan yakni suhu udara, kecepatan angin dan curah hujan berada di tingkat akurasi model kategori sangat kuat dengan angka ( $r = 0.94$ ) dan nilai RMSE sebesar  $0.38 \text{ km}^2$ . Sedangkan, beberapa faktor cuaca dan faktor iklim menunjukkan nilai korelasi yang rendah ( $r = 0.061 - 0.386$ ). Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan luasan tutupan salju di puncak gunung Kilimanjaro didominasi oleh peran suhu udara, kecepatan angin dan curah hujan. 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:** Perubahan Iklim, Luasan Tutupan Salju, Gunung Kilimanjaro, *Stepwise Multiple Regression*, Analisis Korelasi Pearson, RMSE.

## ABSTRACT

*Mount Kilimanjaro is experiencing changes in snow cover extent due to climate change. This is the reason why research was conducted to analyze and understand the specific influence of weather and climate factors. This study aims to model significant weather and climate factors that cause changes in snow cover area on Mount Kilimanjaro. This research uses the Stepwise Multiple Regression method, Pearson correlation analysis and Root Mean Squared Error (RMSE) metric to analyze the accuracy of the model in modeling changes in snow cover extent. The results of the research using the Stepwise Multiple Regression method showed a significant relationship between air temperature, wind speed and precipitation on snow cover extent with significance values ranging from 0.001 to 0.048. Pearson correlation analysis results show that the interaction between the three most significant predictors, namely air temperature, wind speed and precipitation, is at a very strong level of model accuracy with a number ( $r = 0.94$ ) and an RMSE value of 0.38 km<sup>2</sup>. Meanwhile, several weather factors and climatic factors showed low correlation values ( $r = 0.061 - 0.386$ ). Based on the results of the analysis, it shows that changes in snow cover area at the summit of Mount Kilimanjaro are dominated by the role of air temperature, wind speed and rainfall. As a suggestion, future research can use a longer time span to be more accurate in providing insight into the long-term trend of the snow cover change phenomenon.*

**Keywords:** *Climate Change, Snow Cover Extent, Mount Kilimanjaro, Stepwise Multiple Regression, Pearson Correlation Analysis, RMSE.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa. Atas segala bimbingan, penyertaan, dan berkatnya yang dilimpakan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul “**Pemodelan Pengaruh Faktor Cuaca Terhadap Luasan Tutupan Salju (*Snow Cover*) Di Puncak Gunung Kilimanjaro**” untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Puji dan Syukur selalu senantiasa terkirim kepada Tuhan Yang Maha Esa. Dalam penulisan skripsi ini tentu tidak lepas dari hambatan dan kesulitan, namun penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan tepat waktu oleh karena berkat Tuhan Yang Maha Esa yang tiada hentinya.

Sebelumnya izinkan penulis untuk ucapkan terimakasih sedalam-dalamnya kepada anggota keluarga penulis yang telah memberi dukungan selama masa perkuliahan hingga penulisan skripsi. Terima kasih untuk kehadiran kedua orangtua tercinta **Papa Sandy** dan **Mama Erawati**, kakak tersayang **David** dan **Chintia**, dan seluruh keluarga besar penulis yang selalu memberikan dukungan moril maupun material, doa, dan kasih sayang tulus 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 Utama yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan, kepercayaan yang sangat berarti, ilmu, dan tentunya memberikan motivasi yang luar biasa bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak **Andika, S.Si., M.Si.** dan Bapak **Dr. Muhammad Hamzah Syahrudin, S.Si. MT** selaku Dosen Penguji penulis yang memberikan ilmu melalui kritik dan saran kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak **Dr. Samsu Arif, M.Si.** selaku dosen Penasehat Akademik Penulis yang telah memberi masukan selama menjalani pendidikan di Geofisika.
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 telah diberikan kepada penulis.
6. Seluruh Staf Balai Besar Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Wilayah IV Makassar, terkhusus **Kak Amhar Ulfiana, S.Tr.** selaku salah satu pembimbing lapangan kerja praktek di Balai Besar Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Wilayah IV Makassar yang memberikan arahan dan bantuan kepada penulis selama penulisan skripsi.



7. Kepada sahabat dan penghibur nomor satu penulis, **Tuhan Yesus Kristus** yang senantiasa memberi berkat, pertolongan, penghiburan, buah injil, nikmat, dan motivasi dalam hidup, terkhusus saat penulisan skripsi.
8. Kepada teman-teman seperjuangan tugas akhir salju (*Snowz*), **Lola Febiola** dan **Abdul Cholis** yang saling memberi dukungan, bantuan, semangat, dan menjadi tempat mencurahkan isi hati selama penulisan skripsi.
9. Seluruh teman-teman angkatan **Geofisika 2020**, terkhusus **Defina Damayanti, Amelia Putri, Arpah, Aurelia, Dwi Wulan C., dan Jane Ratini P.** atas kebersamaannya sejak tahun pertama hingga sekarang.
10. Untuk *The MXIMUSS* terkasih, rumah kedua penulis sejak 2023 dalam satu momentum indah di *Talent Experience 23*, **Agung** dan **Dhifa** yang telah memberi kehangatan, semangat, dukungan, tangisan, pelukan, kelalean, dan candaan dikala penulis berbahagia maupun berpeluh kesah selama masa perkuliahan, ber-AIESEC, hingga di masa penulisan skripsi.
11. Seluruh teman-teman **AIESEC in UNHAS**, terkhusus **Asnur, Cikal, Fira, Sabbe, Raffy, Ivan, Kevin, Fuad, Hana, Kak Naya, Athaya, Hans,** dan **Kak Naufal M.** atas dukungan, masukan, motivasi, semangat, canda-tawa, dan waktu nya selama masa-masa skripsian bareng bersama penulis selama masa penulisan skripsi.
12. Kepada grup seperjuangan meteorologi, **WE JURNAL** tercinta yang menjadi kawan-kawan terbaik selama berpetualang di dunia meteorologi sejak semester 6, dan menjadi tempat belajar bersama dan berkeluh kesah penulis selama penulisan skripsi.

13. Kepada teman-teman **Sel D3 JSM**, terkhusus **Helena Patricia** dan **Kak Ermelinda** atas doa, dukungan, dan semangat yang senantiasa diberikan kepada penulis selama penulisan skripsi.
14. Untuk orang-orang hebat yang selalu menginspirasi, merelaksasi telinga penulis, dan memberi semangat selama penulisan skripsi lewat lagu-lagu yang keren, **ENHYPEN** dan **ZEROBASEONE** terkhusus **Lee Heeseung**, **Park Jongseong**, dan **Kim Taerae**.
15. Dan tak lupa untuk diri sendiri, **Gery Jimmiawan** yang sudah berjuang melewati segala rintangan, segala *ups and downs* dalam kehidupan kampus, hingga sampai di *finish line* ini meskipun pundak sudah bergemetar hebat, namun kedua kaki masih bisa sanggup berdiri dengan kokoh.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga dengan segala kerendahan hati penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun untuk memperbaiki kekurangan yang ada. Akhir kata, penulis berharap agar tulisan ini bisa bermanfaat bagi siapapun yang membacanya.

Makassar, 22 Juni 2024

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>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>17</b>
I.1 Latar Belakang .....	17
I.2 Ruang Lingkup.....	19
I.3 Rumusan Masalah .....	19
I.4 Tujuan Penelitian .....	19
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>20</b>
II.1 Pola Iklim.....	20
II.2 Faktor Cuaca dan Iklim.....	21
II.2.1 Suhu Udara.....	21
II.2.2 Kelembaban Udara.....	22

II.2.3 Kecepatan Angin & Arah Angin.....	23
II.2.4 Curah Hujan .....	24
II.2.5 <i>Indian Ocean Dipole</i> .....	24
II.2.6 <i>North Atlantic Oscillation</i> .....	25
II.2.7 <i>Greenhouse Gases</i> .....	26
II.3 <i>Multiple Regression Model</i> .....	27
II.4 Metode <i>Stepwise</i> .....	28
II.5 Korelasi Pearson .....	29
II.6 <i>Root Mean Square Error (RMSE)</i> .....	30
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>32</b>
III.1 Lokasi Penelitian .....	32
III.2 Alat dan Bahan .....	33
III.2.1 Alat.....	33
III.2.2 Bahan .....	33
III.3 Prosedur Penelitian.....	38
III.3.1 Tahap Persiapan dan Pengumpulan Data.....	38
III.3.2 Tahap Pengolahan Data .....	39
III.4 Bagan Alir Penelitian .....	41
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>42</b>
IV.1 Signifikansi Prediktor.....	42

IV.2 Nilai Konstanta ( <b>a</b> ) dan Koefisien ( <b>b</b> ) .....	43
IV.3 Model Pengaruh Prediktor Terhadap Perubahan Luasan Tutupan Salju ..	43
IV.4 Verifikasi Model dengan Korelasi Pearson ( <i>r</i> ) & RMSE .....	45
IV.5 Tren Perubahan Luasan Tutupan Salju .....	45
IV.6 Laju Perubahan Luasan Tutupan Salju.....	47
IV.7 Peta Spasial Curah Hujan, Kontur Suhu dan Vektor Angin .....	48
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>53</b>
V.1 Kesimpulan.....	53
V.2 Saran .....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>55</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>59</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Rata-Rata Curah Hujan Bulanan pada Tahun 1901-2015 di Tanzania, Afrika (Suleiman, 2018).....	21
<b>Gambar 3.1</b> Peta Lokasi Penelitian.....	32
<b>Gambar 3.2</b> Bagan Alir Penelitian.....	41
<b>Gambar 4.1</b> Model Pengaruh Prediktor terhadap Perubahan Luasan.....	43
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Tren Perubahan Luasan Tutupan Salju .....	45
<b>Gambar 4.3</b> Grafik Laju Perubahan Luas Tutupan Salju .....	47
<b>Gambar 4.4</b> Peta Spasial Rata-Rata Bulanan pada Tahun 2013 – 2023 untuk Sebaran Curah Hujan, Kontur Suhu, dan Vektor Angin di wilayah Tanzania .....	49
<b>Gambar 4.5</b> (a) Peta Spasial Rata-Rata pada Tahun 2013 – 2023 untuk Sebaran Curah Hujan, Kontur Suhu, dan Vektor Angin di Benua Afrika; (b) Peta Spasial Rata-Rata pada Tahun 2013 – 2023 untuk Sebaran Curah Hujan, Kontur Suhu, dan Vektor Angin di wilayah Tanzania .....	51

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Intrepretasi Koefisien Korelasi Pearson (Miftahuddin dkk., 2021) .....	30
<b>Tabel 4.1</b> Prediktor Signifikan dan Nilai Signifikan.....	42
<b>Tabel 4.2</b> Prediktor signifikan beserta nilai Konstanta ( $a$ ) dan Koefisien ( $b$ ) .....	43
<b>Tabel 4.3</b> Nilai Korelasi antara Observasi & Model Luas Salju .....	44

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Data Luasan Salju pada Puncak Gunung Kilimanjaro .....	59
<b>Lampiran 2.</b> Data Prediktor .....	59
<b>Lampiran 3.</b> Program <i>Matlab</i> untuk Pemodelan Pengaruh Faktor Cuaca dan Iklim Signifikan terhadap Perubahan Luasan Tutupan Salju menggunakan <i>Stepwise Multiple Regression</i> .....	60
<b>Lampiran 4.</b> Tabel Nilai Korelasi Data Observasi Luasan Tutupan Salju terhadap Semua Prediktor .....	62
<b>Lampiran 5.</b> Program <i>Matlab</i> untuk membuat grafik Tren Perubahan Luasan Tutupan Salju .....	62
<b>Lampiran 6.</b> Program <i>Matlab</i> untuk membuat grafik Laju Perubahan Luas Tutupan Salju.....	63
<b>Lampiran 7.</b> Program <i>Matlab</i> untuk membuat peta spasial Curah Hujan, Kontur Suhu, dan Vektor Angin.....	64
<b>Lampiran 8.</b> Gambar <i>Citra Landsat 8</i> pada Puncak Gunung Kilimanjaro.....	67
<b>Lampiran 9.</b> Tampilan Lapisan Tutupan Salju pada laman Citra Satelit USGS <i>Earth Explorer</i> .....	70



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

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

Perubahan iklim telah menjadi suatu fenomena kompleks yang mempengaruhi atmosfer dan ekosistem di seluruh dunia dan saat ini patut diberi perhatian lebih. Perubahan iklim pun sangat erat kaitannya dengan faktor-faktor cuaca yang memberi dampak negatif bagi kondisi atmosfer maupun ekosistem dunia, yang dimana salah satunya adalah fenomena menipisnya luasan tutupan salju di puncak pegunungan global termasuk puncak Gunung Kilimanjaro, Afrika. Salju sendiri merupakan lapisan menyimpan air dalam sistem hidrologi yang mempengaruhi keseimbangan energi permukaan global dan memberikan efek pendinginan terhadap iklim di bumi (Notarnicola, 2022).

Menurut Stephen Young, berkurangnya luasan tutupan salju akan mengubah aliran energi matahari dari yang dipantulkan jauh dari Bumi menjadi diserap, sehingga perlu dipahami bahwa semakin tipis permukaan salju maka akan membantu meningkatkan suhu permukaan bumi itu sendiri (Young, 2023). Selain itu, salju juga berkaitan dengan fenomena albedo, yakni dimana salju mampu memantulkan sinar matahari yang masuk kembali ke atmosfer, oleh karena salju memiliki albedo yang tinggi maka akan sangat membantu dalam mengurangi jumlah energi yang diserap oleh bumi. Hal ini menghasilkan efek pendinginan, membantu menjaga suhu permukaan yang lebih rendah. Dalam situasi ini, kehadiran salju sangat berperan dalam proses penyerapan energi maupun pemantulan energi kembali ke atmosfer sebagai proses pendinginan suhu di permukaan (Flanner , dkk., 2011).

Keterkaitan salju dengan kondisi cuaca ini telah membuat peneliti terdahulu melakukan analisis perubahan tutupan salju abadi di pegunungan global, yang dimana salah satunya adalah puncak gunung Kilimanjaro, Afrika. Berdasarkan penelitian oleh Sunghwan Park dan Hyungsup Jung, tutupan salju di Gunung Kilimanjaro diamati dan diidentifikasi perubahannya dengan menggunakan data spasial landsat citra satelit dari tahun 1984 hingga 2011, dan pemantauan algoritma NDSI (*Normalized Difference Snow Index*). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa luas salju abadi mengalami penurunan yang signifikan, dan berdasarkan hasil analisis, diperkirakan bahwa salju abadi di Kilimanjaro akan sepenuhnya hilang pada tahun 2020. Namun, pada penelitian tersebut kekurangan data lapangan yang sistematis menjadi faktor penghambat untuk memvalidasi hasil analisis citra satelit, serta keterbatasan dalam metode analisis yang hanya menggunakan algoritma NDSI (Park , dkk., 2012).

Pada penelitian terdahulu memuat hasil informatif bahwa jika salju global, termasuk di puncak gunung Kilimanjaro terus mencair, akan menjadi sebuah fenomena negatif yang berkelanjutan bagi lingkungan. Namun, penelitian tersebut tidak secara spesifik mengobservasi perubahan luasan tutupan salju dengan faktor-faktor cuaca, serta fenomena-fenomena iklim itu sendiri. Hal tersebutlah yang melatar belakangi penelitian ini sebagai langkah lanjutan untuk mengetahui bagaimanakah kondisi dan faktor cuaca dapat mempengaruhi kondisi luasan tutupan salju di gunung Kilimanjaro dalam 10 tahun terakhir.

## **I.2 Ruang Lingkup**

Penelitian ini dibatasi oleh penggunaan data landsat dari citra satelit dalam mengamati perubahan luasan tutupan salju di lokasi penelitian dari tahun 2013 - 2023, data faktor cuaca yakni suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, arah angin, dan curah hujan, serta data faktor iklim yaitu *Indian Ocean Dipole*, *North Atlantic Oscillation*, dan *Greenhouse Gases*. Adapun metode analisis yang digunakan adalah *Stepwise Multiple Regression* (MR) dalam mengidentifikasi faktor pemengaruh terhadap luasan tutupan salju di puncak Gunung Kilimanjaro.

## **I.3 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana pemodelan pengaruh faktor cuaca dan faktor iklim signifikan terhadap perubahan luasan tutupan salju di gunung Kilimanjaro dengan menggunakan metode *Stepwise Multiple Regression* (MR).
2. Bagaimana akurasi model faktor cuaca signifikan penyebab perubahan luasan tutupan salju di gunung Kilimanjaro dengan menggunakan metode analisis korelasi pearson dan metrik *Root Mean Squared Error* (RMSE).

## **I.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis model pengaruh faktor cuaca dan faktor iklim signifikan terhadap perubahan luasan tutupan salju di gunung Kilimanjaro dengan menggunakan metode *Stepwise Multiple Regression* (MR).
2. Menganalisis akurasi model faktor cuaca signifikan penyebab perubahan luasan tutupan salju di gunung Kilimanjaro dengan menggunakan metode analisis korelasi pearson dan metrik *Root Mean Squared Error* (RMSE).

## **BAB II**

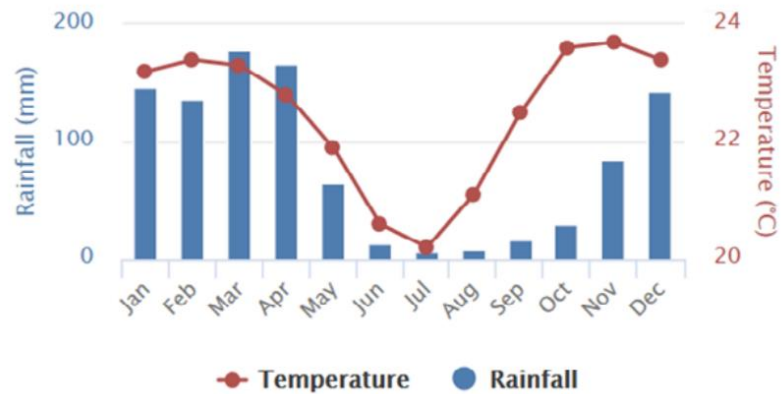
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Pola Iklim**

Iklim global saat ini sedang menghadapi tantangan dan mendapat banyak atensi dalam beberapa dekade terakhir. Keterkaitannya dengan perubahan iklim yang terjadi saat ini memfokuskan kita pada faktor-faktor yang berdampak terhadap pola iklim saat ini, yakni meningkatnya suhu muka bumi sebesar  $0,85^{\circ}\text{C}$  sejak 1880, dan diperkirakan akan meningkat sebesar  $1,5^{\circ}\text{C}$  hingga 2050. Lalu adapun terjadi peningkatan konsentrasi gas rumah kaca sebesar 40% sejak tahun 1750, dan diprediksi akan terus meningkat hingga tahun 2050 sebesar 100% (Aldrian, 2011).

Tanzania memiliki pola iklim yang khas oleh karena terkenal dengan eksistensi tutupan lapisan salju di puncak Gunung Kilimanjaro, namun mengalami iklim tropis oleh karena letaknya sendiri yang dekat dengan garis khatulistiwa. Pada penelitian (Cullen, 2012) menunjukkan bahwa Tanzania mengalami variabilitas cuaca ditandai dengan terjadinya musim hujan panjang pada bulan Maret hingga Mei, lalu pada bulan november hingga desember terjadi musim hujan pendek.

Variabilitas cuaca di Tanzania yang terbagi menjadi dua kali musim kemarau dan musim hujan di setiap tahun dipengaruhi oleh pola hujan. Secara umum, Tanzania memiliki pola hujan ekuatorial, termasuk wilayah Gunung Kilimanjaro. Hal ini disebabkan oleh bertiupnya angin monsun dari samudra Hindia yang berpengaruh terhadap perubahan curah hujan dan kelembaban, terlebih pada musim hujan panjang dan musim hujan pendek (Nicholson, 2017).



**Gambar 2.1** Rata-Rata Curah Hujan Bulanan pada Tahun 1901-2015 di Tanzania, Afrika (Suleiman, 2018)

## II.2 Faktor Cuaca dan Iklim

Faktor-faktor cuaca merepresentasikan kondisi atmosfer bumi yang bisa berubah secara periodik dan dapat memberi berbagai dampak langsung pada lingkungan sekitar, termasuk fenomena perubahan salju pada suatu lokasi. Dalam hal ini, faktor cuaca dan iklim terdiri dari beberapa elemen atmosfer, antara lain:

### II.2.1 Suhu Udara

Suhu atau temperatur dapat dikatakan sebagai suatu ukuran untuk tingkat panas suatu objek. Distribusi suhu di dalam atmosfer sangat bergantung terutama pada keadaan radiasi matahari, oleh sebab itu suhu udara selalu mengalami perubahan. Temperatur udara permukaan bumi merupakan salah satu unsur penting yang diamati oleh pengamat cuaca (*Meteorological Station* maupun *Climatological Station*) (Soepangkat, 1994).

Suhu udara sendiri dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk pengaruh daratan atau lautan, efek panas laten, angin, curah hujan, jenis tanah di permukaan bumi, dan sudut datangnya sinar matahari. Selain itu, jumlah radiasi matahari yang

diterima bumi, pengaruh daratan atau lautan, pengaruh panas laten, curah hujan, angin, pelenyapan energi, albedo permukaan tanah, himpunan panas permukaan, pertukaran panas, masukan udara panas atau dingin, dan pengangkutan panas ke atas atau ke bawah juga merupakan faktor yang mempengaruhi suhu udara. Dalam hal terkait dengan kondisi tutupan salju, suhu udara yang lebih hangat cenderung akan mempengaruhi proses pencairan salju yang lebih cepat dan sebaliknya. (Rafi'i, 1995).

### **II.2.2 Kelembaban Udara**

Jumlah uap air dalam udara pada suatu waktu dan tempat tertentu disebut kelembaban udara. Kelembaban udara berbeda-beda di berbagai tempat. Jumlah radiasi matahari yang diterima bumi, pengaruh daratan atau lautan, pengaruh ketinggian (altitude), dan pengaruh angin adalah beberapa faktor yang mempengaruhinya (Fadholi, 2013).

Menurut (Rafi'i, 1995) ia menyebutkan bahwa suhu udara dan kelembaban udara dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti radiasi matahari, pengaruh daratan atau lautan, pengaruh panas laten, perbedaan ketinggian tempat, angin, dan jenis tanah di permukaan bumi. Dalam kelembaban udara terdapat istilah kelembaban relatif yaitu perbandingan jumlah uap air di udara dengan jumlah maksimum uap air yang mengandung panas dan temperatur tertentu yang dinyatakan dalam persen (%) yang lebih berpengaruh terhadap suhu udara yang berdampak pada fenomena berkurangnya salju. Maka dari itu, dalam kaitannya dengan menipisnya salju global, kelembaban relatif yang tinggi dapat mempercepat pencairan salju.

Selain itu, kelembaban udara yang mempengaruhi suhu udara menunjukkan di mana kelembaban yang tinggi dapat membuat suhu udara lebih tinggi, atau sebaliknya dengan kelembaban yang rendah dapat membuat suhu udara lebih rendah. Kedua kondisi ini akan berdampak pada proses berubahnya kondisi tutupan salju terutama di puncak gunung (Oktavia dkk., 2015).

### **II.2.3 Kecepatan Angin & Arah Angin**

Kecepatan atau laju angin merupakan kondisi saat udara bergerak horizontal. Kecepatan angin menjadi salah satu faktor cuaca yang turut mempengaruhi berbagai aktivitas iklim dan kehidupan manusia. Angin yang memiliki kecepatan tinggi dapat berpengaruh dan memicu fenomena iklim seperti badai, tornado, dan angin rebut yang dapat mengakibatkan kerusakan yang cukup parah jika terjadi secara berkelanjutan. Adapun untuk kasus menipisnya lapisan salju di puncak gunung, kecepatan angin dapat berpengaruh oleh karena angin dapat membawa suhu yang lebih tinggi ataupun suhu yang lebih rendah, dan tingkat kelembaban ke daerah tersebut, yang dimana dapat mempengaruhi kondisi luasan tutupan salju (Sukandarrumidi, 2018).

Secara teoritis, angin bertiup dari zona bertekanan tinggi ke zona bertekanan rendah. Namun pada garis lintang menengah dan tinggi, arahnya diubah oleh rotasi bumi. Angin menjadi sejajar dengan garis isobarik dan bukannya tegak lurus terhadap garis tersebut. Sedangkan di belahan bumi utara, angin berputar berlawanan arah jarum jam mengelilingi daerah siklon dan searah jarum jam mengelilingi daerah antiklonik. Di belahan bumi selatan, arah rotasinya terbalik. Dengan demikian diketahui bahwa arah angin ditentukan oleh arah bertiupnya.

Arah angin sendiri mempunyai keterkaitan dengan fenomena berubahnya kondisi luasan tutupan salju di puncak gunung global dimana angin yang bertiup ke daerah pegunungan dapat membawa udara dengan tingkat kelembaban rendah maupun tinggi yang mempengaruhi suhu disekitar (Le Gourières, 2014).

#### **II.2.4 Curah Hujan**

Curah hujan adalah parameter yang sangat bervariasi dimensinya seperti lokasi maupun waktu, serta memiliki variasi harian, bulanan, musiman, dan tahunan. Curah hujan mengacu pada jumlah air yang jatuh di permukaan tanah datar yang tidak menguap dan tidak mengalir selama periode tertentu, diukur dalam satuan milimeter (mm) per meter persegi ( $m^2$ ). Misalnya, curah hujan 1 mm berarti terdapat air setinggi 1 mm pada luasan  $1 m^2$ . Intensitas curah hujan ringan memiliki kecepatan jatuh hingga 2,5 km/jam (Kumar dkk., 2009).

Berdasarkan penelitian oleh (Cullen, 2012), pola curah hujan yang terjadi di sekitar wilayah gunung Kilimanjaro, Tanzania Afrika adalah tipe ekuatorial, ditandai dengan terjadi dua kali musim hujan dalam setahun. Pola variasi curah hujan di sekitar gunung Kilimanjaro berdampak langsung pada luas dan volume tutupan salju di puncak. Selama musim hujan, curah hujan dapat meningkatkan akumulasi salju di puncak atau sebaliknya jika curah hujan berkurang juga akan berdampak negatif terhadap penambahan massa salju baru (Thompson dkk., 2002).

#### **II.2.5 Indian Ocean Dipole**

*Indian Ocean Dipole* (IOD) merupakan fenomena iklim yang terjadi di Samudra Hindia. Ditandai oleh perbedaan suhu permukaan laut antara bagian barat dan timur



Samudra Hindia, IOD memiliki kemiripan dengan fenomena *El Niño–Southern Oscillation* (ENSO) di Samudra Pasifik, tetapi hanya saja terjadi di Samudra Hindia. IOD terdiri dari dua fase utama (Saji dkk., 1999):

#### 1. Fase IOD Positif

Fase ini ditandai dengan suhu permukaan laut yang lebih hangat di bagian barat Samudra Hindia yakni sekitar wilayah pantai Afrika Timur, dan suhu yang lebih dingin di bagian timur. Curah hujan yang lebih tinggi di Afrika Timur, secara khusus di Tanzania, letak gunung Kilimanjaro berada juga menjadi tanda bahwa fase positif IOD terjadi.

#### 2. Fase IOD Negatif

Fase negatif ditandai dengan suhu permukaan laut yang lebih dingin di bagian barat Samudra Hindia dan lebih hangat di bagian timur. Selama fase ini, umumnya terjadi penurunan curah hujan di wilayah Afrika Timur, sementara peningkatan curah hujan terjadi di bagian barat Samudra Hindia seperti Australia.

IOD sendiri tidak secara langsung berpengaruh dalam perubahan kondisi luasan tutupan salju di gunung Kilimanjaro, namun IOD memiliki dampak langsung terhadap menurunnya curah hujan saat terjadi fase IOD negatif, dimana curah hujan yang lebih rendah mempengaruhi proses penambahan salju baru di puncak gunung (Black, 2005).

### **II.2.6 North Atlantic Oscillation**

Sebuah fenomena iklim dimana terjadi oleh perubahan tekanan atmosfer antara wilayah subtropis dan subpolar di Samudra Atlantik Utara disebut dengan *North*

*Atlantic Oscillation* (NAO). Fenomena ini ditentukan oleh adanya perbedaan tekanan antara Azores (*Azores High*) yaitu subtropis yang bertekanan tinggi, dan Islandia (*Icelandic Low*) yaitu subpolar yang bertekanan rendah. Fenomena NAO sendiri berpengaruh utamanya di wilayah Atlantik Utara saja, namun juga masih berpotensi mempengaruhi pola iklim global, termasuk di wilayah Tanzania. Saat fase negatif NAO terjadi, peningkatan curah hujan pun dapat terjadi di wilayah Afrika Utara. Hal ini bisa mempengaruhi distribusi kelembaban dan curah hujan di wilayah yang lebih jauh ke selatan seperti Afrika Timur (Hurrell & Deser, 2009).

### **II.2.7 Greenhouse Gases**

*Greenhouse Gases* (GHG) merupakan gas-gas di atmosfer yang dapat menyerap (menahan) dan memancarkan kembali radiasi inframerah, lalu menyebabkan efek gas rumah kaca, dan berkontribusi pada pemanasan global. GHG meliputi tiga gas utama, yakni karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan proses industri. Metana ( $\text{CH}_4$ ), berasal dari aktivitas manusia seperti pertanian, pengelolaan limbah, dan ekstraksi bahan bakar fosil. *Nitrous Oxide* ( $\text{N}_2\text{O}$ ) sendiri dihasilkan dari penggunaan pupuk nitrogen dan juga proses pembakaran bahan bakar fosil. Adapun gas fluorinasi atau gas sintesis yang digunakan dalam industri pendinginan dan produksi elektronik. Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) merupakan GHG yang paling banyak diemisikan oleh aktivitas manusia dan patut diberi perhatian lebih saat ini. Sementara  $\text{CH}_4$  dan  $\text{N}_2\text{O}$  memiliki potensi pemanasan yang lebih tinggi per unit massa dibandingkan  $\text{CO}_2$ . Gas fluorinasi meski jumlahnya tidak sebanyak 3 gas utama, tetap memiliki potensi pemanasan yang sangat tinggi dan masa hidup yang lama di atmosfer (Pinault, 2018).

GHG yang meningkat sendiri dapat berdampak signifikan pada pola iklim seperti perubahan pola curah hujan dan meningkatkan frekuensi serta intensitas kekeringan dan banjir di wilayah Tanzania. Peningkatan suhu global akibat GHG juga menyebabkan penguapan yang lebih tinggi dan perubahan sirkulasi atmosfer yang berpotensi mengganggu pola curah hujan yang telah stabil. Di wilayah sekitar gunung Kilimanjaro, pemanasan global jelas dapat mempercepat proses pencairan salju, mengurangi luasan tutupan salju yang penting sebagai sumber air bagi ekosistem dan aktivitas manusia di sekitarnya. Dampak ini tentunya mengganggu pasokan air lokal, mempengaruhi pertanian, dan meningkatkan risiko kekurangan air selama musim kemarau (Jarraud & Steiner, 2012).

### ***II.3 Multiple Regression Model***

Model *Multiple Regression* (MR) adalah model regresi yang dapat digunakan guna untuk mempelajari hubungan antara satu variabel terikat (dependen) dengan dua atau lebih variabel bebas atau predictor (independen). Model ini memungkinkan untuk memahami seberapa besar pengaruh setiap variabel independen terhadap variabel dependen. Adapun variabel dependen ditandai dengan sumbu Y, sedangkan variabel-variabel independen sebagai sumbu X. Model MR ini dapat membantu beberapa proses analisis secara kuantitatif seperti mencari hubungan antara variabel dependen dan independen, dan memberikan estimasi koefisien yang dapat digunakan untuk membuat prediksi terhadap variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen (Berry, 2004).

Model *Multiple Regression* sendiri dapat di defenisikan dengan persamaan dibawah ini (Michael H., 2004):

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (2.1)$$

dengan,

$Y$  : Prediksi

$a$  : Konstanta

$b_1, b_2, b_n$  : Koefisien

$X_1, X_2, X_n$  : Prediktor

Sedangkan dalam memperoleh nilai konstanta ( $a$ ) dan koefisien ( $b$ ) dapat menggunakan persamaan berikut (Michael H., 2004):

$$a = \bar{Y} - b_1\bar{X}_1 - b_2\bar{X}_2 \quad (2.2)$$

$$b_1 = \frac{(\Sigma X_2^2)(\Sigma X_1 Y) - (\Sigma X_1 X_2)(\Sigma X_2 Y)}{(\Sigma X_1^2)(\Sigma X_2^2) - (\Sigma X_1 X_2)^2} \quad (2.3)$$

$$b_2 = \frac{(\Sigma X_1^2)(\Sigma X_2 Y) - (\Sigma X_1 X_2)(\Sigma X_1 Y)}{(\Sigma X_1^2)(\Sigma X_2^2) - (\Sigma X_1 X_2)^2} \quad (2.4)$$

$$\bar{Y} = \frac{\Sigma Y}{n} \quad (2.5)$$

$$\bar{X}_1 = \frac{\Sigma X_1}{n} \quad (2.6)$$

$$\bar{X}_2 = \frac{\Sigma X_2}{n} \quad (2.7)$$

dengan,

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

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

$n$  : Jumlah Data Observasi

#### II.4 Metode *Stepwise*

Dalam melakukan analisis *Multiple Regression* terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam mendukung kerja analisis, salah satunya adalah metode

*Stepwise*. Metode ini sendiri memungkinkan variabel independen yang paling berpengaruh terhadap variabel dependen muncul pada model regresi yang dianalisis. Dengan kata lain *Stepwise* akan menghilangkan variabel-variabel independen yang kurang berpengaruh terhadap dependen pada analisisnya. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa Metode *Stepwise* adalah sebuah metode yang digunakan dalam analisis statistik untuk memilih variabel independen yang paling penting dalam model regresi (Hanum, 2011).

## II.5 Korelasi Pearson

Korelasi pearson diketahui sebagai metode dalam mengukur hubungan linier antara dua variabel yakni variabel dependen dengan variabel independen. Metode ini menggunakan nilai koefisien korelasi yang berfungsi untuk mengukur kekuatan hubungan linier antara dua variabel tersebut. Namun, apabila jika korelasi antar variabel tersebut tidak linier, maka dapat dikatakan tidak adanya kekuatan korelasi. Adapun koefisien korelasi Pearson dapat dihitung melalui persamaan berikut (Jabnabillah, dkk., 2022):

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \quad (2.8)$$

dengan,

- $r$  : Koefisien Korelasi Pearson
- $n$  : Jumlah Data
- $x_i$  : Data Observasi
- $y_i$  : Data Prediksi

Nilai koefisien korelasi positif maupun negatif keduanya sama-sama menyatakan hubungan linear antara variabel-variabel. Koefisien korelasi positif menunjukkan hubungan di mana dua variabel bergerak ke arah yang sama, sementara nilai korelasi negatif menunjukkan hubungan di mana dua variabel bergerak ke arah yang berlawanan. Sedangkan jika koefisien korelasi bernilai 0, maka hubungan antara variabel tidak linier. Secara lengkap intepretasi koefisien korelasi berikut:

**Tabel 2.1** Intepretasi Koefisien Korelasi Pearson (Miftahuddin dkk., 2021)

<b>Koefisien Korelasi Pearson (<math>r</math>)</b>	<b>Interpretasi</b>
0,00 s/d 0,199	Sangat rendah
0,20 s/d 0,399	Rendah
0,40 s/d 0,599	Sedang
0,60 s/d 0,799	Kuat
0,80 s/d 1,000	Sangat kuat

## **II.6 Root Mean Square Error (RMSE)**

*Root Mean Square Error* (RMSE) adalah besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi. Nilai RMSE yang lebih kecil, biasanya mendekati nol, menunjukkan bahwa hasil prediksi lebih akurat. Jika nilai RMSE rendah, maka model prediksi yang digunakan adalah baik dan memiliki kesalahan prediksi yang kecil. Sedangkan, untuk nilai RMSE tinggi, maka model prediksi yang digunakan adalah buruk dan memiliki kesalahan prediksi yang besar (Parang dkk., 2012).

Adapun nilai RMSE dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Parang dkk., 2012):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_t)^2}{n}} \quad (2.9)$$

dengan,

$n$  : Jumlah Data

$Y_i$  : Nilai Data Prediksi

$Y_t$  : Nilai Data Observasi