



Penerapan Metode Monte Carlo dalam Memprediksi Suhu Daerah Perkotaan

Tulus Joseph Marpaung*, Rony Genevent Marpaung

Program Studi Statistika, Fakultas Vokasi, Universitas Sumatera Utara, Medan
Jalan Dr. T. Mansur No.9, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia

Email: ^{1,*}tj.marpaung@usu.ac.id, ²ronygenevent@gmail.com

Email Penulis Korespondensi: tj.marpaung@usu.ac.id

Submitted: 10/01/2025; Accepted: 31/01/2025; Published: 31/01/2025

Abstrak—Perubahan pola suhu akibat perubahan iklim merupakan tantangan global yang memerlukan analisis mendalam, khususnya di wilayah tropis seperti Kota Medan, Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk memproyeksikan pola suhu masa depan menggunakan metode simulasi Monte Carlo, dengan memanfaatkan data historis suhu rata-rata harian dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Metode Monte Carlo berbasis probabilitas digunakan untuk menganalisis distribusi suhu masa depan, dengan menerapkan distribusi normal sebagai model dasar. Parameter seperti rata-rata dan simpangan baku dihitung secara akurat, dan ribuan iterasi dilakukan untuk memastikan hasil simulasi yang stabil serta representatif. Proses analisis dilakukan menggunakan Python dan pustaka pendukung seperti NumPy, SciPy, dan Matplotlib, yang memberikan fleksibilitas dan efisiensi dalam pemrosesan data lingkungan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode Monte Carlo dapat menghasilkan distribusi suhu masa depan yang mencerminkan variasi suhu harian serta probabilitas kejadian ekstrem. Prediksi ini memberikan wawasan penting bagi berbagai sektor, termasuk kesehatan, energi, dan tata kota, dalam menyusun rencana strategis untuk menghadapi dampak perubahan iklim. Penelitian ini menegaskan bahwa simulasi Monte Carlo adalah pendekatan yang efektif untuk analisis data iklim di wilayah tropis. Selain itu, penelitian ini membuka peluang pengembangan lebih lanjut, seperti pengintegrasian data tambahan dan penyesuaian model untuk skenario lingkungan yang berbeda guna meningkatkan akurasi prediksi dan relevansi hasil.

Kata Kunci: Simulasi Monte Carlo; Suhu; Distribusi Normal; Analisis Deret Berkala; Prediksi

Abstract—Changes in temperature patterns due to climate change are a global challenge that requires in-depth analysis, especially in tropical regions such as the city of Medan, Indonesia. This research aims to project future temperature patterns using the Monte Carlo simulation method, utilizing historical data on daily average temperatures from the Meteorology, Climatology and Geophysics Agency (BMKG). A probability-based Monte Carlo method is used to analyze the future temperature distribution, applying the normal distribution as the basic model. Parameters such as mean and standard deviation are calculated accurately, and thousands of iterations are performed to ensure stable and representative simulation results. The analysis process is carried out using Python and supporting libraries such as NumPy, SciPy, and Matplotlib, which provide flexibility and efficiency in environmental data processing. The results of this study show that the Monte Carlo method can produce future temperature distributions that reflect daily temperature variations as well as the probability of extreme events. These predictions provide important insights for various sectors, including health, energy and urban planning, in developing strategic plans to deal with the impacts of climate change. This research confirms that Monte Carlo simulation is an effective approach for analyzing climate data in tropical regions. Additionally, this research opens up opportunities for further development, such as integrating additional data and adapting the model to different environmental scenarios to improve prediction accuracy and relevance of results.

Keywords: Monte Carlo Simulation; Temperature; Normal Distribution; Periodic Series Analysis; Prediction

1. PENDAHULUAN

Suhu udara adalah ukuran tingkat panas atau dingin suatu lingkungan atau atmosfer di sekitar kita [1]. Suhu udara merupakan salah satu elemen penting dalam kehidupan sehari-hari, terutama di wilayah tropis seperti Kota Medan, Indonesia. Sebagai pusat ekonomi dan salah satu kota dengan jumlah penduduk yang tinggi, perubahan suhu dapat memberikan dampak signifikan pada berbagai sektor, mulai dari kesehatan, energi, hingga kenyamanan hidup masyarakat. Fenomena perubahan suhu permukaan daratan telah menjadi isu global yang mendesak, karena dampaknya yang signifikan terhadap lingkungan dan kehidupan manusia. Perubahan suhu ini dapat mempengaruhi berbagai aspek kehidupan manusia, mulai dari kesehatan, pertanian, hingga keberlanjutan ekosistem [2].

Dengan tantangan seperti urbanisasi yang cepat dan perubahan lingkungan, pemahaman tentang pola suhu dan prediksi suhu masa depan menjadi semakin relevan untuk mendukung perencanaan strategis di masa mendatang. Berbeda dengan metode kompleks berbasis model fisik yang sering digunakan untuk analisis atmosfer, simulasi probabilistik seperti Monte Carlo memberikan pendekatan yang lebih sederhana namun tetap mampu menangkap variasi dalam data suhu. Metode Monte Carlo adalah suatu teknik statistik yang menggunakan kumpulan angka acak untuk memodelkan dan menganalisis sistem yang kompleks, serta untuk memperkirakan hasil dari berbagai kemungkinan peristiwa atau skenario [3].

Dengan banyaknya iterasi, metode ini dapat membantu memperkirakan pola suhu masa depan sekaligus mengeksplorasi ketidakpastian yang mungkin terjadi. Keunggulan dari metode Monte Carlo adalah sebagai alat perhitungan numerik yang kuat untuk mensimulasikan data statistik. Simulasi ini dapat menghasilkan nilai keakuratan yang tinggi dengan menggambarkan bentuk fisik sistem yang dapat diamati, serta memperkirakan hasil dari berbagai kemungkinan peristiwa dengan tingkat ketepatan yang baik [4]. Berbagai penelitian sebelumnya



telah mengaplikasikan simulasi Monte Carlo untuk mempelajari pola perubahan variabel lingkungan. Monte Carlo memanfaatkan untuk memprediksi perubahan suhu di lahan pertanian. Mereka menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam memproyeksikan suhu jangka panjang, terutama untuk mendukung pengambilan keputusan terkait pola tanam yang sesuai [5]. Namun, fokus penelitian ini lebih pada sektor agrikultur dan tidak mencakup kondisi perkotaan seperti Medan. Simulasi Monte Carlo menggunakan untuk mengevaluasi fluktuasi suhu di wilayah padang pasir [4]. Penelitian ini memberikan wawasan tentang prediksi suhu ekstrem di lingkungan yang kering, tetapi metode yang mereka terapkan belum diadaptasi untuk wilayah dengan iklim tropis. Mengaplikasikan Monte Carlo untuk analisis suhu di Indonesia. Studi mereka menggarisbawahi potensi Monte Carlo dalam memodelkan pola suhu lokal di berbagai wilayah nusantara, tetapi cakupan penelitian belum secara spesifik menyoroti karakteristik unik kota besar seperti Medan. Mengembangkan model berbasis Monte Carlo untuk memproyeksikan suhu di wilayah pesisir [6]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat digunakan untuk memahami pola suhu yang dipengaruhi oleh perubahan lingkungan lokal. Meski demikian, penelitian mereka lebih berfokus pada wilayah pesisir dan tidak mencakup kawasan urban dengan kepadatan tinggi. Mengeksplorasi pendekatan Monte Carlo untuk menganalisis pola suhu di kota metropolitan Asia Timur [7]. Penelitian ini menunjukkan efektivitas Monte Carlo dalam memproyeksikan variasi suhu akibat urbanisasi, namun karakteristik iklim wilayah Asia Timur berbeda dengan Medan yang beriklim tropis. Hasil dari penelitian-penelitian ini menunjukkan potensi besar Monte Carlo dalam analisis data suhu sederhana, khususnya ketika data yang tersedia terbatas dan kebutuhan prediksi berfokus pada satu variabel Tunggal.

Dalam penelitian ini, Monte Carlo akan diterapkan untuk memprediksi pola suhu di Kota Medan pada masa mendatang. Data historis suhu akan digunakan sebagai dasar untuk membangun simulasi yang menghasilkan distribusi suhu masa depan. Simulasi ini akan dilakukan dengan bantuan program Python, yang menyediakan alat analisis data yang efisien dan mampu menangani banyak iterasi dengan cepat. Simulasi Monte Carlo, yang juga dikenal dengan sebutan metode Monte Carlo, adalah suatu teknik yang melibatkan penggunaan bilangan acak untuk menghasilkan simulasi berdasarkan distribusi probabilitas yang diketahui dan dapat ditentukan. Dasar dari simulasi ini adalah melakukan percobaan pada elemen-elemen probabilitas melalui pengambilan sampel secara acak untuk memperkirakan hasil atau menguji kemungkinan hasil dalam suatu sistem atau model yang kompleks [6]. Simulasi memiliki berbagai tujuan, di antaranya untuk hiburan atau permainan, pelatihan, dan studi perilaku sistem. Simulasi ini dikembangkan dari model sistem nyata untuk menguji atau memahami bagaimana sistem berfungsi dalam kondisi tertentu tanpa harus melakukan eksperimen langsung pada sistem tersebut [7]. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan pemahaman lebih dalam tentang pola suhu di Kota Medan dengan menggunakan simulasi Monte Carlo.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan dalam penerapan montecarlo diberbagai permasalahan, diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Raihan Maulana pada tahun 2024. Penelitian tersebut membuat sebuah model peramalan yang tepat untuk impor beras dari Pakistan, dengan memanfaatkan teknik simulasi Monte Carlo. Hasil riset memperlihatkan bahwa teknik ini sangat mumpuni dengan tingkat ketepatan mencapai 98%. Tingkat ketepatan yang tinggi ini memungkinkan para pengambil kebijakan untuk merancang strategi impor yang lebih terarah dan efisien, menjamin ketersediaan stok beras yang stabil, meminimalkan potensi kekurangan atau kelebihan persediaan, serta mengoptimalkan pengeluaran dan pemanfaatan sumber daya[8].

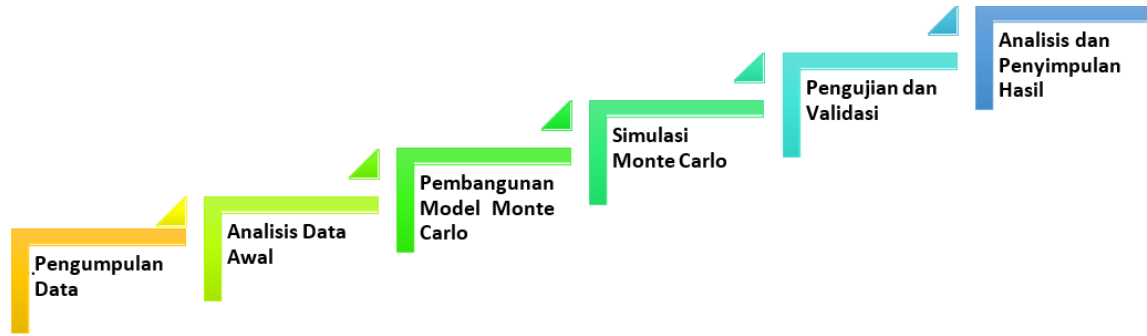
Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Raisya Dwi Zahra Putri pada tahun 2024, penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan teknik simulasi Monte Carlo mampu meningkatkan ketepatan perkiraan impor buah dari Australia hingga 98%. Tingkat keakuratan ini mengindikasikan bahwa metode tersebut sangat dapat diandalkan untuk meramalkan volume impor buah. Dengan prediksi yang cermat, para pelaku industri dapat menyusun rencana impor yang lebih optimal dan efektif, menjamin pasokan yang konsisten, meminimalkan potensi kelangkaan atau kelebihan persediaan, serta mengelola anggaran dan sumber daya dengan lebih baik[9].

Syarif Hidayatullah dan Anis Cherid pada tahun 2023 melakukan penelitian DAN membuktikan bahwa metode LSTM dapat diandalkan untuk meramalkan suhu minimum rata-rata berdasarkan data rangkaian waktu. Pengaturan data yang paling akurat terdiri dari 12 sampel uji dan 48 sampel latih, dijalankan selama 100 iterasi (epoch), yang menghasilkan kesalahan prediksi terendah. Algoritma ini mampu mengenali perubahan suhu setiap bulan dan memprediksi tren suhu jangka panjang dengan stabil [10].

Penelitian ini berupaya mengeksplorasi variasi suhu yang mungkin terjadi di masa mendatang, serta memberikan informasi yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung pengambilan keputusan dalam berbagai bidang yang terpengaruh oleh perubahan suhu. Dengan pendekatan berbasis simulasi ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang sederhana namun signifikan dalam memproyeksikan suhu di Kota Medan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan ini menggambarkan langkah-langkah sistematis yang dilakukan untuk memprediksi suhu di Kota Medan menggunakan pendekatan Monte Carlo Simulation. Setiap tahapan dijelaskan secara rinci untuk memberikan gambaran proses penelitian yang dilakukan. Berikut adalah gambar tahapan penelitian yang digunakan:



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.1 Analisis Data dengan Simulasi Monte Carlo

Tahap awal ini merupakan langkah awal dalam penelitian, di mana data suhu rata-rata harian (T_{avg}) dikumpulkan dari BMKG. Data diambil untuk periode 15 September 2024 hingga 15 November 2024. Data ini menjadi dasar untuk menganalisis pola historis suhu dan membangun simulasi Monte Carlo. Informasi terkait suhu rata-rata harian disusun dalam format yang sesuai untuk dianalisis menggunakan program Python. Tabel 1 berikut adalah data suhu rata-rata harian di Kota Medan yang diambil dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) tepatnya dari stasiun BMKG yaitu Stasiun Meteorologi Maritim Belawan.

Tabel 1. Data suhu rata-rata harian di Kota Medan

Tanggal	T_{avg} (°C)	Tanggal	T_{avg} (°C)
15/09/2024	27,6	16/10/2024	28
16/09/2024	28,9	17/10/2024	27,5
17/09/2024	27,4	18/10/2024	27,9
18/09/2024	28,8	19/10/2024	27,7
19/09/2024	28,8	20/10/2024	28,5
20/09/2024	29,4	21/10/2024	29,3
21/09/2024	29	22/10/2024	29,1
22/09/2024	29,4	23/10/2024	29,6
23/09/2024	29,1	24/10/2024	29
24/09/2024	26,5	25/10/2024	27,9
25/09/2024	28,7	26/10/2024	29,2
26/09/2024	27,7	27/10/2024	29
27/09/2024	29,2	28/10/2024	29,4
28/09/2024	27,8	29/10/2024	28,3
29/09/2024	28,7	30/10/2024	28,4
30/09/2024	27,6	31/10/2024	28,1
01/10/2024	28,5	01/11/2024	27,9
02/10/2024	28,9	02/11/2024	26,7
03/10/2024	27,3	03/11/2024	27,8
04/10/2024	28,5	04/11/2024	27,8
05/10/2024	27,4	05/11/2024	27,2
06/10/2024	27,1	06/11/2024	27,7
07/10/2024	28,3	07/11/2024	28,3
08/10/2024	28,6	08/11/2024	27,3
09/10/2024	28	09/11/2024	27,8
10/10/2024	28,3	10/11/2024	27,4
11/10/2024	27,5	11/11/2024	28,7
12/10/2024	28,1	12/11/2024	26,3
13/10/2024	27	13/11/2024	28,6
14/10/2024	28,4	14/11/2024	27,9
15/10/2024	27,6	15/11/2024	27,9

Setelah data terkumpul, dilakukan analisis awal untuk memahami karakteristik data historis. Tahapan ini melibatkan penghitungan statistik deskriptif, seperti rata-rata (mean), simpangan baku (standard deviation), nilai maksimum, dan minimum dari data [11]. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi distribusi data suhu dan mengetahui pola umum yang dapat digunakan sebagai dasar dalam simulasi Monte Carlo.

Pada langkah selanjutnya model Monte Carlo dibangun berdasarkan distribusi data suhu yang telah dianalisis. Distribusi probabilitas yang sesuai, seperti distribusi Normal, dipilih untuk merepresentasikan data suhu historis. Distribusi normal, atau distribusi Gauss, adalah distribusi probabilitas yang paling sering digunakan dalam



berbagai analisis statistik [12]. Parameter distribusi, seperti rata-rata (μ) dan simpangan baku (σ), dihitung dari data historis dan digunakan dalam model untuk menghasilkan variabel acak yang mencerminkan data suhu masa depan. Setelah model Monte Carlo selesai dibangun, simulasi dilakukan dengan menjalankan ribuan iterasi untuk menghasilkan prediksi suhu masa depan. Setiap perhitungan dilakukan melalui simulasi berulang (iterasi) untuk memperoleh hasil pendekatan yang optimal. Dalam proses ini, nilai acak dihasilkan dari distribusi probabilitas yang telah ditentukan, yang kemudian digunakan untuk mensimulasikan berbagai skenario suhu masa depan. Hasil simulasi memberikan distribusi suhu yang mencakup rentang kemungkinan berdasarkan data historis.

Hasil simulasi Monte Carlo diuji dan divalidasi untuk memastikan akurasi. Jika data validasi tersedia, hasil simulasi dibandingkan dengan data aktual untuk menghitung tingkat kesalahan prediksi menggunakan metrik seperti Mean Absolute Error (MAE) atau Root Mean Square Error (RMSE). Root Mean Square Error (RMSE) adalah ukuran tingkat kesalahan prediksi, di mana semakin kecil nilai RMSE (mendekati 0), semakin akurat hasil prediksi tersebut [13]. Jika data validasi tidak tersedia, hasil simulasi dievaluasi berdasarkan konsistensi pola dengan data historis.

Tahap terakhir adalah menganalisis hasil simulasi untuk mendapatkan wawasan tentang pola suhu masa depan di Kota Medan. Hasil analisis mencakup distribusi suhu masa depan, kemungkinan kejadian ekstrem, dan rentang suhu yang diantisipasi. Kesimpulan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan penting yang dapat digunakan untuk mendukung perencanaan strategis terkait perubahan suhu di Kota Medan.

2.2 Analisis Monte Carlo

Pendekatan Monte Carlo Simulation digunakan dalam penelitian ini sebagai metode untuk memprediksi pola suhu masa depan di Kota Medan. Monte Carlo adalah teknik simulasi stokastik yang menggunakan pengacakan untuk mencari solusi [14][15][16]. Pendekatan ini sangat cocok digunakan dalam penelitian ini karena fleksibilitasnya dalam menangani data historis suhu tanpa memerlukan asumsi kompleks tentang hubungan parameter tambahan. Dalam penelitian ini, Monte Carlo digunakan untuk mensimulasikan distribusi suhu masa depan berdasarkan data historis suhu rata-rata harian (Tavg) yang diambil dari BMKG selama periode 15 September 2024 hingga 15 November 2024.

Data suhu rata-rata harian dari periode penelitian dianalisis untuk menentukan parameter distribusi statistik yang akan digunakan dalam simulasi. Distribusi yang digunakan dalam penelitian ini adalah distribusi Normal, karena data suhu umumnya memiliki pola yang mendekati distribusi ini [14]. Parameter distribusi yang ditentukan dari data adalah rata-rata (μ) yaitu untuk representasi nilai tengah dari data suhu historis dan simpangan baku (σ) yaitu untuk ukuran seberapa besar data menyebar dari nilai rata-rata. Rumus distribusi Normal yang digunakan [15]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}} \quad (1)$$

dimana, $f(x)$ adalah probabilitas suatu suhu x ; untuk μ merupakan rata-rata suhu dan σ adalah simpangan baku suhu. Setelah parameter distribusi ditentukan, nilai acak (x) dihasilkan dari distribusi Normal menggunakan fungsi sampling. Dalam penelitian ini, proses sampling dilakukan ribuan kali (N) untuk memastikan bahwa distribusi hasil simulasi mencerminkan pola suhu masa depan yang realistis. Persamaan untuk random sampling:

$$x_i = \mu + \sigma \cdot Z_i \quad (2)$$

dimana, Z_i adalah nilai acak dari distribusi Standar Normal ($N(0,1)$) dan x_i adalah nilai suhu yang dihasilkan [16]. Simulasi dilakukan dengan menjalankan ribuan iterasi (N), di mana setiap iterasi menghasilkan satu nilai suhu masa depan. Hasil dari seluruh iterasi membentuk distribusi suhu masa depan. Semakin banyak iterasi, semakin stabil dan representatif hasil simulasi. Hasil simulasi dianalisis untuk menentukan rentang suhu masa depan, probabilitas kejadian ekstrem (misalnya, suhu tinggi atau rendah), dan pola distribusi suhu. Hasil ini memberikan wawasan tentang variasi suhu yang mungkin terjadi di Kota Medan.

Penerapan Monte Carlo Simulation dilakukan dengan bantuan bahasa pemrograman Python. Python adalah bahasa pemrograman yang banyak digunakan oleh perusahaan besar dan developer untuk mengembangkan aplikasi berbasis desktop, web, dan mobile [17]. Python dipilih dalam penelitian karena memiliki keunggulan seperti keterbacaan (readability), efisiensi, multifungsi, interoperabilitas, dan dukungan komunitas yang luas [18]. Untuk kebutuhan penelitian ini, beberapa pustaka utama yang digunakan adalah:

a. Numpy

NumPy adalah pustaka pemrograman yang digunakan untuk komputasi numerik, khususnya dalam visi komputer waktu nyata [19]. Pustaka ini digunakan untuk operasi numerik seperti menghitung rata-rata, simpangan baku, dan membuat nilai acak yang berasal dari distribusi tertentu (dalam hal ini distribusi Normal). numpy memungkinkan pengolahan data dalam skala besar dengan efisiensi tinggi.

b. scipy.stats

SciPy adalah pustaka Python untuk komputasi ilmiah, mencakup optimasi, integrasi, dan statistik [20]. Modul statistik dari pustaka scipy digunakan untuk menganalisis distribusi probabilitas data historis, seperti



menyesuaikan data dengan distribusi Normal. Pustaka ini menyediakan fungsi statistik lanjutan, termasuk pembuatan nilai acak dari distribusi yang lebih kompleks.

c. Matplotlib

Matplotlib adalah pustaka Python yang digunakan untuk membuat visualisasi data, seperti grafik dan plot [21].

Pustaka ini digunakan untuk visualisasi hasil simulasi. Grafik seperti histogram distribusi suhu masa depan dibuat menggunakan matplotlib untuk mempermudah interpretasi hasil dan memberikan gambaran visual yang jelas tentang prediksi suhu. Penggunaan ketiga pustaka ini memastikan proses simulasi Monte Carlo berjalan efisien, hasilnya dapat dianalisis dengan mudah, dan output yang dihasilkan memiliki visualisasi yang mendukung interpretasi data secara intuitif. Kombinasi pustaka ini juga memberikan fleksibilitas dalam menangani data yang kompleks dan melakukan iterasi dalam jumlah besar.

2.3 Algoritma Simulasi Monte Carlo untuk Prediksi Suhu Rata-Rata Harian

Berikut adalah algoritma keseluruhan untuk memprediksi suhu rata-rata harian (T_{avaa}) menggunakan simulasi Monte Carlo. Algoritma ini mencakup perhitungan statistik, simulasi, dan analisis hasil dengan implementasi Python.

1) Input Data

Masukkan data historis suhu rata-rata harian (T_{ava}) sebagai array atau list.

2) Hitung Statistik Data Hitung parameter distribusi:

a. Rata-rata (μ) menggunakan persamaan

$$\mu = \frac{\sum T_{ava,i}}{n} \tag{3}$$

b. Simpangan Baku (σ) menggunakan persamaan

$$\sigma = \frac{\sum T_{ava,i} - \mu}{n-1} \tag{4}$$

3) Lakukan Simulasi Monte Carlo

a. Tentukan jumlah iterasi simulasi (N , misalnya 1000).

b. Untuk setiap iterasi, hasilkan nilai suhu acak (x_i) dari distribusi Normal ($N(\mu, \sigma^2)$) menggunakan persamaan (2). Di mana Z_i adalah nilai acak dari distribusi Normal Standar

$$(N(\mu, \sigma^2)). \tag{5}$$

4) Analisis Hasil Simulasi

Hitung statistik dari hasil simulasi

a. Rata-rata hasil simulasi ($\mu_{simulasi}$)

b. Suhu minimum (T_{min}) dan maksimum (T_{max}).

5) Visualisasi Hasil

Membuat histogram untuk menunjukkan distribusi hasil simulasi.

6) Output

Tampilkan hasil utama, seperti rata-rata, simpangan baku, suhu minimum, maksimum, dan visualisasi distribusi hasil simulasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Simulasi Monte Carlo untuk Model Prediksi Suhu Rata-Rata

Metode Monte Carlo adalah teknik komputasi yang menggunakan pengambilan sampel acak secara berulang untuk menyelesaikan masalah yang kompleks. Dalam penelitian ini, metode Monte Carlo digunakan untuk memprediksi suhu rata-rata di Kota Medan berdasarkan data historis.

Langkah awal dalam penelitian ini adalah mendefinisikan secara jelas masalah yang akan diselesaikan serta tujuan yang ingin dicapai melalui pendekatan yang digunakan. Dalam konteks ini, variabel utama yang dianalisis adalah suhu rata-rata harian atau dikenal dengan istilah T_{avaa} . Variabel ini dipilih karena memiliki pengaruh yang signifikan terhadap berbagai aspek kehidupan masyarakat di Kota Medan, seperti kenyamanan, kebutuhan energi, dan kesehatan. Dengan mengacu pada data historis suhu rata-rata yang telah diperoleh dari BMKG, penelitian ini bertujuan untuk memproyeksikan bagaimana distribusi suhu rata-rata harian akan terbentuk di masa depan. Proyeksi ini dilakukan dengan mendasarkan simulasi pada pola statistik yang terdapat dalam data historis. Simulasi ini tidak hanya memberikan gambaran rata-rata suhu masa depan tetapi juga rentang kemungkinan nilai suhu yang mungkin terjadi, termasuk kejadian ekstrem seperti suhu yang sangat tinggi atau sangat rendah.

Data suhu rata-rata harian yang digunakan dalam penelitian ini dikumpulkan dari BMKG untuk periode 15 September 2024 hingga 15 November 2024. Data ini mencakup 61 observasi suhu rata-rata harian (T_{avaa}) yang akan digunakan untuk menganalisis pola distribusi suhu historis sebagai dasar simulasi Monte Carlo. Langkah menghitung statistik data dalam analisis data adalah menghitung parameter statistik utama, yaitu rata-rata (μ) dan

simpangan baku (σ), yang digunakan untuk menggambarkan pusat dan penyebaran data suhu tersebut. Nilai rata-rata suhu rata-rata harian (μ) yang dihitung menggunakan persamaan (3) yaitu:

$$\mu = \frac{1718,13}{61} = 28,17^{\circ}\text{C}$$

Hasil perhitungan rata-rata memberikan gambaran tentang suhu rata-rata yang cenderung terjadi selama periode pengamatan. Dalam penelitian ini, nilai rata-rata (μ) yang diperoleh dari data adalah $28,17^{\circ}\text{C}$, yang merepresentasikan suhu harian yang paling umum terjadi. Simpangan baku (σ) dihitung untuk mengukur seberapa jauh nilai data menyimpang dari rata-rata. Simpangan baku memberikan informasi tentang tingkat variasi atau penyebaran data suhu. Persamaan (4) untuk menghitung simpangan baku adalah

$$\sigma^2 = \frac{\sum T_{avai,i} - \mu}{n-1} = \frac{35,06}{60}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{0,591} = 0,77^{\circ}\text{C}$$

Hasil perhitungan simpangan baku memberikan nilai $0,77^{\circ}\text{C}$, yang menunjukkan bahwa penyebaran data suhu harian selama periode pengamatan relatif kecil, dengan mayoritas nilai berada dekat dengan rata-rata. Parameter statistik ini sangat penting karena menjadi dasar untuk menentukan distribusi probabilitas suhu yang digunakan dalam simulasi Monte Carlo. Dengan nilai rata-rata dan simpangan baku ini, distribusi Normal dapat dibangun untuk mensimulasikan suhu rata-rata masa depan. Langkah-langkah perhitungan ini memastikan bahwa simulasi didasarkan pada data historis yang representatif dan valid.

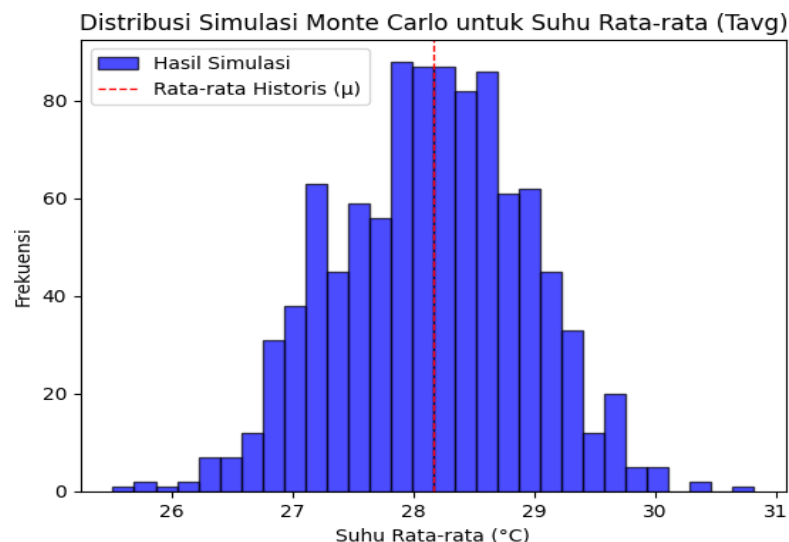
Selanjutnya untuk memproyeksikan distribusi suhu rata-rata masa depan di Kota Medan berdasarkan data historis menggunakan simulasi Monte Carlo. Dalam simulasi ini, distribusi probabilitas yang digunakan untuk memodelkan data adalah distribusi Normal ($N(\mu, \sigma^2)$), yang dipilih karena data suhu menunjukkan pola yang mendekati distribusi simetris dengan penyebaran relatif kecil di sekitar rata-rata. Namun, menghitung nilai-nilai probabilitas $f(x)$ dan menghasilkan nilai acak dari distribusi ini untuk ribuan iterasi bukanlah hal yang dapat dilakukan secara manual. Hal ini memerlukan proses komputasi yang kompleks, terutama untuk menghasilkan nilai acak x_i yang memenuhi distribusi Normal tersebut. Oleh karena itu, perhitungan ini dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python, yang mampu menyelesaikan perhitungan secara efisien. Dengan menggunakan Python, nilai x_i dihasilkan secara otomatis dalam setiap iterasi. Python memanfaatkan pustaka seperti numpy dan scipy.stats untuk menghasilkan nilai acak dari distribusi Normal, sehingga memungkinkan simulasi dilakukan dengan cepat dan efisien untuk ribuan iterasi. Berikut kode python yang digunakan dalam mensimulasikan monte carlo:

```
# Step 3: Simulasi Monte Carlo n_simulations
= 1000 # Jumlah iterasi
simulated_tavg = np.random.normal(mean_tavg, std_tavg, n_simulations) # Hasilkan nilai acak
```

Setelah simulasi dilakukan, nilai-nilai suhu acak yang dihasilkan dari 1000 iterasi membentuk distribusi yang mencerminkan kemungkinan suhu masa depan di Kota Medan. Dari hasil simulasi, didapatkan:

- Rata-rata simulasi: $28,14^{\circ}\text{C}$
- Suhu minimum: $25,51^{\circ}\text{C}$
- Suhu maksimum: $30,82^{\circ}\text{C}$

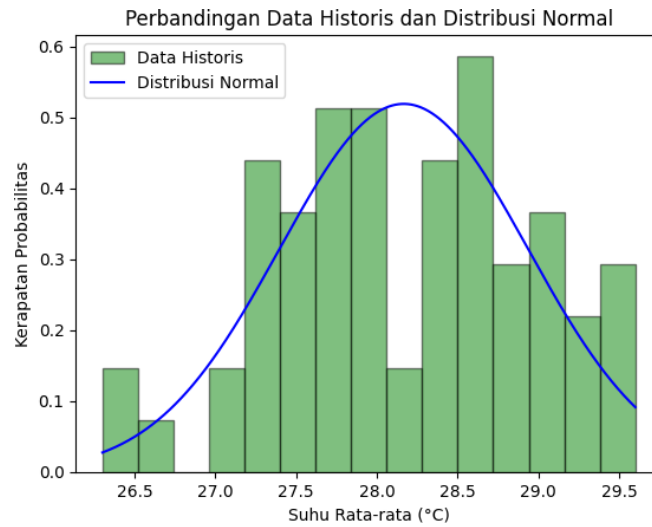
Distribusi hasil simulasi ini divisualisasikan dalam bentuk histogram, yang menunjukkan sebagian besar nilai suhu berkisar antara 27°C hingga 29°C , dengan probabilitas kecil untuk nilai ekstrem di bawah 26°C atau di atas 30°C . Histogram berikut menunjukkan distribusi hasil simulasi Monte Carlo yaitu sumbu horizontal merepresentasikan suhu rata-rata harian ($^{\circ}\text{C}$) dan sumbu vertikal menunjukkan frekuensi kemunculan nilai suhu ($f(x)$).



Gambar 2. Histogram distribusi simulasi monte carlo terhadap suhu rata-rata menggunakan pemrograman Python

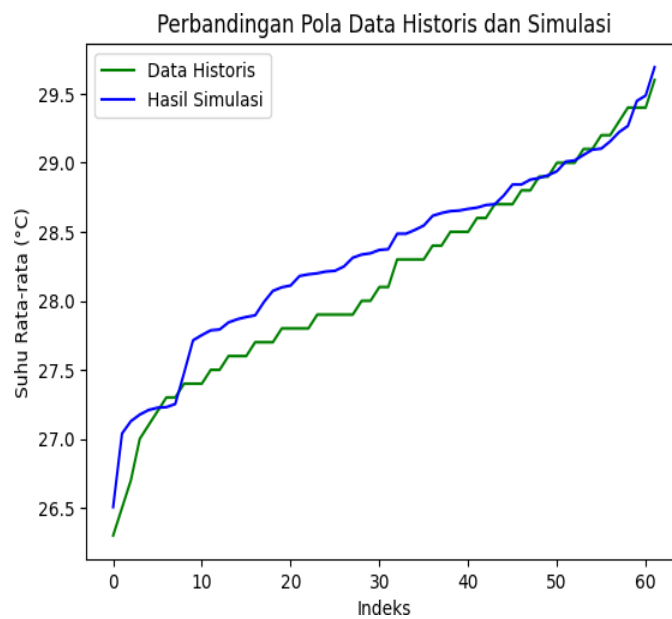
3.2 Uji Normalitas pada Data

Histogram berikut yang akan menampilkan data historis dan distribusi Normal memperlihatkan hubungan yang erat antara data aktual dan model distribusi yang digunakan dalam simulasi.



Gambar 3. Histogram Perbandingan data historis dan distribusi normal

Histogram Data Historis menunjukkan pola distribusi suhu rata-rata yang hampir simetris, dengan sebagian besar nilai berada di sekitar rata-rata. Pola ini mendukung asumsi bahwa data historis dapat dimodelkan dengan distribusi Normal. Kurva Distribusi Normal $N(28,17; 0,77^2)$ yang dihasilkan menunjukkan kecocokan yang baik dengan histogram data historis. Hal ini memperkuat keyakinan bahwa distribusi Normal adalah model yang sesuai untuk data suhu rata-rata harian. Selain itu, kerapatan probabilitas hasil simulasi, yang divisualisasikan melalui kurva Normal, memberikan wawasan tentang kemungkinan nilai suhu masa depan. Nilai-nilai ini cenderung berkisar di sekitar rata-rata dengan penyebaran yang kecil. Histogram tersebut menunjukkan bahwa simulasi berbasis distribusi Normal mampu merepresentasikan pola data historis secara akurat, sehingga valid untuk digunakan dalam prediksi suhu masa depan. Grafik Pola Data Historis dan Hasil Simulasi lebih lanjut memperkuat validitas simulasi. Grafik ini membandingkan data historis yang telah diurutkan dengan hasil simulasi yang diurutkan secara serupa.



Gambar 4. Perbandingan pola data historis dengan simulasi

Pola data historis (dilambangkan dengan warna hijau) menunjukkan kenaikan dan penurunan suhu yang stabil tanpa variasi ekstrem, mencerminkan konsistensi suhu rata-rata harian selama periode pengamatan. Sementara itu, pola hasil simulasi (dilambangkan dengan warna biru) mengikuti pola yang hampir identik dengan data historis, dengan sedikit perbedaan di nilai-nilai ekstrem. Kesamaan ini menunjukkan bahwa simulasi mampu merepresentasikan pola data historis secara akurat. Kesesuaian Pola terlihat sangat baik di bagian tengah distribusi, dengan perbedaan kecil di tepi distribusi yang disebabkan oleh ketidakpastian acak dalam simulasi Monte Carlo.



3.3 Validasi Simulasi Monte Carlo pada Suhu Rata-Rata

Untuk memastikan bahwa hasil simulasi Monte Carlo mencerminkan pola data historis secara akurat, dilakukan validasi menggunakan tiga metode utama: Kolmogorov-Smirnov Test (KS Test), Mean Absolute Error (MAE), dan Root Mean Square Error (RMSE). Hasil validasi memberikan gambaran tentang kesesuaian distribusi simulasi dengan data historis, serta tingkat kesalahan prediksi simulasi dibandingkan dengan data aktual.

a) Kolmogorov-Smirnov Test (KS Test)

Uji Kolmogorov-Smirnov dilakukan untuk mengevaluasi apakah distribusi hasil simulasi (*simulated_tavg*) sama dengan distribusi data historis (*tavg_data*). Hasil pengujian memberikan dua parameter:

1) KS Statistic yaitu mengukur perbedaan maksimum antara dua distribusi kumulatif.

2) P-Value yaitu memberikan probabilitas bahwa perbedaan yang diamati terjadi secara kebetulan. Hasil uji KS adalah:

$$KS\ Statistic = 0,0836, \quad P - Value = 0,7759$$

Nilai P-Value > 0.05 menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara distribusi hasil simulasi dan data historis, sehingga simulasi dapat dianggap valid dalam merepresentasikan data historis.

b) Mean Absolute Error (MAE)

Mean Absolute Error menghitung rata-rata kesalahan absolut antara hasil simulasi dan data historis:

Hasil perhitungan MAE menunjukkan $MAE = 0,82^{\circ}C$. Nilai MAE yang relatif kecil menunjukkan bahwa hasil simulasi memiliki kesalahan prediksi rata-rata yang rendah dibandingkan dengan data historis.

3.4 Validasi Simulasi Monte Carlo pada Suhu Rata-Rata

Untuk memastikan bahwa hasil simulasi Monte Carlo mencerminkan pola data historis secara akurat, dilakukan validasi menggunakan tiga metode utama: Kolmogorov-Smirnov Test (KS Test), Mean Absolute Error (MAE), dan Root Mean Square Error (RMSE). Hasil validasi memberikan gambaran tentang kesesuaian distribusi simulasi dengan data historis, serta tingkat kesalahan prediksi simulasi dibandingkan dengan data aktual.

a) Kolmogorov-Smirnov Test (KS Test)

Uji Kolmogorov-Smirnov dilakukan untuk mengevaluasi apakah distribusi hasil simulasi (*simulated_tavg*) sama dengan distribusi data historis (*tavg_data*). Hasil pengujian memberikan dua parameter:

1) KS Statistic yaitu mengukur perbedaan maksimum antara dua distribusi kumulatif.

2) P-Value yaitu memberikan probabilitas bahwa perbedaan yang diamati terjadi secara kebetulan. Hasil uji KS adalah:

$$KS\ Statistic = 0,0836, \quad P - Value = 0,7759$$

Nilai P-Value > 0.05 menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara distribusi hasil simulasi dan data historis, sehingga simulasi dapat dianggap valid dalam merepresentasikan data historis.

b) Mean Absolute Error (MAE)

Mean Absolute Error menghitung rata-rata kesalahan absolut antara hasil simulasi dan data historis:

Hasil perhitungan MAE menunjukkan $MAE = 0,82^{\circ}C$. Nilai MAE yang relatif kecil menunjukkan bahwa hasil simulasi memiliki kesalahan prediksi rata-rata yang rendah dibandingkan dengan data historis.

c) Root Mean Square Error (RMSE)

Root mean square error menghitung rata-rata kuadrat kesalahan antara hasil simulasi dan data historis:

Hasil perhitungan RMSE adalah $RMSE = 1,02^{\circ}C$. Nilai RMSE memberikan informasi tentang tingkat kesalahan prediksi secara kuadrat, dan hasilnya menunjukkan bahwa penyimpangan hasil simulasi terhadap data historis tetap berada dalam batas yang dapat diterima.

Berdasarkan hasil validasi Uji Kolmogorov-Smirnov menunjukkan bahwa distribusi hasil simulasi tidak berbeda secara signifikan dari data historis (P-Value= 0,7759) serta nilai MAE dan RMSE menunjukkan tingkat kesalahan prediksi yang rendah, masing-masing sebesar $0,82^{\circ}C$ dan $1,02^{\circ}C$. Dengan demikian, simulasi Monte Carlo dapat dianggap valid dan mampu merepresentasikan pola suhu masa lalu untuk prediksi suhu masa depan secara probabilistik. Validasi ini memperkuat kepercayaan pada hasil simulasi sebagai dasar untuk analisis lebih lanjut.

3.5 Uji Model untuk Prediksi Suhu Rata-Rata

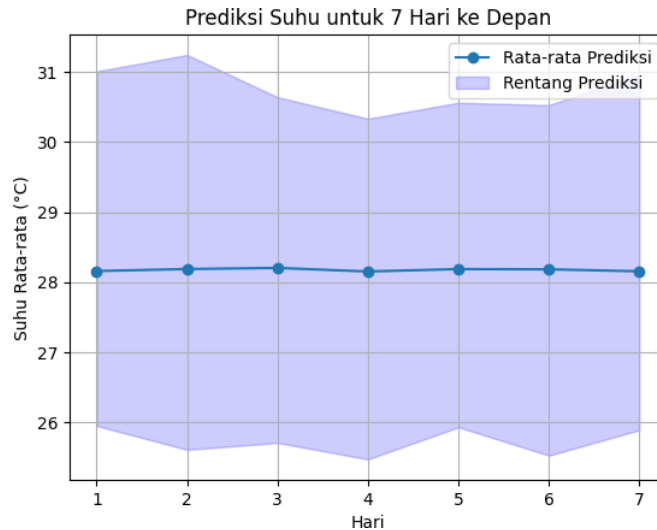
Setelah validasi hasil simulasi menunjukkan kesesuaian yang tinggi antara data historis dan hasil simulasi, model Monte Carlo diterapkan untuk memprediksi suhu rata-rata selama 7 hari ke depan. Menggunakan parameter distribusi Normal yang telah divalidasi, simulasi menghasilkan prediksi dengan rata-rata suhu berkisar antara $X^{\circ}C$ hingga $Y^{\circ}C$, yang mendekati pola historis. Prediksi ini dilakukan dengan menjalankan 1000 iterasi simulasi Monte Carlo untuk setiap hari dalam periode 7 hari ke depan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa suhu cenderung stabil di sekitar rata-rata historis dengan rentang variasi yang kecil. Nilai ekstrem, baik suhu minimum maupun maksimum, berada dalam interval yang telah diprediksi oleh simulasi awal.

Menggunakan parameter distribusi Normal dengan rata-rata ($\mu = 28,17^{\circ}C$) dan simpangan baku ($\sigma = 0,77^{\circ}C$), simulasi Monte Carlo dilakukan untuk menghasilkan 1000 nilai suhu acak untuk selama 7 hari ke depan dimulai tanggal 15 November 2024 kedepannya. Setiap iterasi simulasi dirancang untuk memprediksi suhu rata-rata harian, di mana setiap hasil merepresentasikan kemungkinan nilai suhu untuk satu hari tertentu berdasarkan

pola data historis. Pendekatan ini memungkinkan proyeksi yang probabilistik dan akurat terhadap suhu masa depan. Dengan menggunakan pemrograman python maka didapat prediksi 7 hari kedepannya adalah:

- a) Hari 1 (16 November 2024): Rata-rata = 28.16°C, Min = 25.50°C, Max = 30.55°C
- b) Hari 2 (17 November 2024): Rata-rata = 28.13°C, Min = 25.95°C, Max = 30.49°C
- c) Hari 3 (18 November 2024): Rata-rata = 28.15°C, Min = 25.18°C, Max = 30.41°C
- d) Hari 4 (19 November 2024): Rata-rata = 28.19°C, Min = 25.77°C, Max = 30.98°C
- e) Hari 5 (20 November 2024): Rata-rata = 28.14°C, Min = 25.81°C, Max = 30.61°C
- f) Hari 6 (21 November 2024): Rata-rata = 28.17°C, Min = 25.66°C, Max = 30.87°C
- g) Hari 7 (22 November 2024): Rata-rata = 28.16°C, Min = 25.53°C, Max = 30.62°C

Grafik berikut menampilkan prediksi suhu rata-rata untuk 7 hari ke depan, termasuk rentang prediksi (minimum dan maksimum) yang memberikan gambaran kemungkinan variasi suhu.



Gambar 5. Prediksi Suhu untuk 7 hari kedepan

Visualisasi prediksi suhu untuk 7 hari ke depan yaitu pada **Gambar 5** menunjukkan pola yang serupa dengan distribusi historis yaitu pada **Gambar 3**, yang mengindikasikan bahwa prediksi suhu masa depan mengikuti tren dan variasi yang sama dengan data suhu historis. Dalam hal ini, distribusi suhu untuk setiap hari yang diprediksi memiliki karakteristik yang hampir identik dengan distribusi suhu historis, di mana sebagian besar suhu terpusat di sekitar rata-rata dengan sedikit variasi ekstrem. Hal ini dapat dilihat dari histogram distribusi simulasi Monte Carlo, yang menggambarkan sebaran nilai suhu yang dihasilkan selama simulasi untuk setiap hari dalam periode 7 hari. Histogram distribusi tersebut memberikan gambaran probabilistik tentang suhu rata-rata harian yang mungkin terjadi, dengan rentang nilai yang tercatat dari suhu minimum hingga maksimum. Rentang ini menunjukkan kemungkinan variasi suhu yang dapat terjadi pada setiap hari, memperlihatkan prediksi yang lebih realistis daripada hanya menggunakan rata-rata saja. Histogram tersebut tidak hanya menunjukkan nilai suhu tunggal, tetapi juga menyajikan distribusi probabilitas yang mencerminkan ketidakpastian dalam prediksi suhu masa depan.

Selanjutnya dari suhu rata-rata untuk 7 hari ke depan dimulai dari tanggal 15 November 2024 akan dibandingkan juga dengan hasil suhu rata-rata BMKG dari tanggal 16 November 2024 sampai dengan 22 November 2024. Berikut adalah perbandingan data suhu rata-rata yang diperoleh dari simulasi monte carlo dengan data suhu rata-rata harian dari BMKG untuk periode 16 hingga 22 November 2024 sebagai berikut:

Tabel 2. Data Perbandingan Suhu Rata-Rata

Tanggal	Suhu Rata-Rata (T_{avg}) °C	
	Simulasi Monte Carlo	BMKG di Kota Medan
16 November 2024	28,16°C	28,6°C
17 November 2024	28,13°C	27,6°C
18 November 2024	28,15°C	28,1°C
19 November 2024	28,19°C	27,3°C
20 November 2024	28,14°C	27,5°C
21 November 2024	28,17°C	27,7°C
22 November 2024	28,16°C	27,5°C

Perbandingan antara hasil prediksi suhu untuk 7 hari ke depan menggunakan metode Monte Carlo dan data suhu rata-rata harian dari BMKG menunjukkan pola yang serupa dengan beberapa perbedaan kecil dalam nilai rata-rata dan rentang suhu. Prediksi suhu Monte Carlo untuk hari pertama hingga hari ketujuh memberikan rata-



rata suhu berkisar antara 28,13°C hingga 28,19°C, dengan rentang suhu minimum dan maksimum masing-masing berada pada 25,18°C hingga 30,98°C. Sebaliknya, data BMKG menunjukkan rata-rata suhu harian berkisar antara 27,3°C hingga 28,6°C, yang memiliki rentang variasi lebih sempit dibandingkan hasil prediksi simulasi. Perbedaan utama antara keduanya terletak pada rentang nilai ekstrem, di mana simulasi Monte Carlo menunjukkan variasi yang lebih luas, yang mencerminkan ketidakpastian yang diakomodasi dalam model probabilistik. Hasil prediksi Monte Carlo cenderung memberikan suhu rata-rata yang lebih stabil dengan fluktuasi kecil antarhari, sementara data BMKG menunjukkan adanya penurunan suhu yang lebih signifikan pada beberapa hari, seperti pada tanggal 19 November 2024 dengan rata-rata 27,3°C. Meskipun demikian, hasil prediksi Monte Carlo tetap mencakup nilai-nilai rata-rata yang mendekati data observasi, misalnya pada hari ketiga dan keenam, di mana suhu rata-rata simulasi masing-masing 28,15°C dan 28,17°C berada sangat dekat dengan hasil BMKG, yaitu 28,1°C dan 27,7°C.

Hubungan antara perbandingan ini dan nilai Mean Absolute Error (MAE) serta Root Mean Square Error (RMSE) terletak pada tingkat kesalahan prediksi yang rendah, masing-masing sebesar 0,82°C dan 1,02°C. Nilai MAE menunjukkan bahwa rata-rata perbedaan absolut antara hasil prediksi dan observasi hanya sebesar 0,82°C, yang mencerminkan bahwa model simulasi mampu menghasilkan prediksi yang konsisten dengan data aktual. Sementara itu, nilai RMSE yang sedikit lebih tinggi mengindikasikan bahwa terdapat beberapa penyimpangan kuadrat yang lebih besar dari rata-rata kesalahan absolut, tetapi masih dalam batas yang dapat diterima untuk analisis prediksi suhu. Kesesuaian antara hasil prediksi Monte Carlo dan data BMKG menunjukkan bahwa model ini cukup andal untuk memproyeksikan suhu masa depan, meskipun variasi nilai ekstrem yang lebih besar pada hasil simulasi mengindikasikan perlunya penyempurnaan lebih lanjut. Hal ini dapat mencakup integrasi faktor lingkungan lain, seperti kelembapan, tekanan udara, atau tren musiman, untuk mempersempit rentang ketidakpastian dan meningkatkan akurasi prediksi. Dengan demikian, meskipun ada beberapa perbedaan kecil, hasil ini menunjukkan bahwa simulasi Monte Carlo memberikan wawasan probabilistik yang relevan, mendukung analisis suhu masa depan, dan sesuai dengan tingkat kesalahan prediksi yang terukur dari validasi model.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil memproyeksikan distribusi suhu rata-rata masa depan di Kota Medan menggunakan simulasi Monte Carlo berbasis distribusi Normal. Dengan menggunakan data historis suhu rata-rata harian dari BMKG, penelitian ini menemukan bahwa data historis memiliki rata-rata sebesar 28,17°C dan simpangan baku sebesar 0,77°C. Distribusi Normal ($N(28,17; 0,77^2)$) digunakan untuk memodelkan pola suhu historis, yang terbukti valid berdasarkan analisis distribusi. Hasil simulasi Monte Carlo menghasilkan prediksi suhu rata-rata masa depan yang berada dalam rentang 25,51°C hingga 30,82°C, dengan rata-rata hasil simulasi sebesar 28,14°C. Validasi menggunakan Kolmogorov-Smirnov Test, MAE, dan RMSE menunjukkan bahwa hasil simulasi tidak berbeda signifikan dengan data historis, dengan nilai kesalahan yang rendah. Penelitian ini juga menghasilkan prediksi suhu rata-rata untuk 7 hari ke depan. Pada hari pertama, suhu rata-rata diprediksi sebesar 28,16°C dengan rentang antara 25,50°C hingga 30,55°C. Hari kedua menunjukkan rata-rata 28,13°C dengan suhu minimum 25,95°C dan maksimum 30,49°C. Pada hari ketiga, rata-rata prediksi adalah 28,15°C, dengan rentang antara 25,18°C dan 30,41°C. Hari keempat diprediksi memiliki suhu rata-rata 28,19°C, dengan minimum 25,77°C dan maksimum 30,98°C. Suhu pada hari kelima memiliki rata-rata 28,14°C, dengan rentang 25,81°C hingga 30,61°C. Hari keenam menunjukkan rata-rata 28,17°C, dengan suhu minimum 25,66°C dan maksimum 30,87°C. Akhirnya, pada hari ketujuh, suhu rata-rata diprediksi sebesar 28,16°C, dengan rentang antara 25,53°C dan 30,62°C. Simulasi Monte Carlo dapat menjadi alat yang andal untuk memprediksi pola suhu rata-rata masa depan, khususnya di wilayah seperti Kota Medan. Model ini memberikan hasil yang akurat dalam merepresentasikan pola data historis dan menawarkan wawasan probabilistik yang penting untuk memahami kemungkinan variasi suhu di masa depan. Prediksi untuk 7 hari ke depan menunjukkan bahwa suhu tetap cenderung stabil di sekitar rata-rata historis dengan variasi kecil, sehingga dapat digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan strategis, seperti mitigasi dampak suhu ekstrem, alokasi energi, atau perencanaan sektor lainnya. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan, yaitu tidak mempertimbangkan faktor eksternal seperti kelembapan, tekanan udara, atau pola musiman yang dapat memengaruhi hasil prediksi. Untuk penelitian mendatang, integrasi faktor lingkungan dan metode prediksi yang lebih kompleks, seperti model berbasis machine learning atau gabungan dengan data iklim, dapat meningkatkan akurasi prediksi dan memperluas penerapan model ini.

REFERENCES

- [1] S. M. Rohmah, Rachmaniyah, Rusmiati, Khambali, and I. Sulistio, "Kondisi Kualitas Udara dan Keluhan Kesehatan Masyarakat Akibat Paparan Gas Amonia Pada Lokasi Lumpur Lapindo," *J. Sanitasi Lingkungan*, vol. 3, no. 2, pp. 53–60, 2023, doi: <https://doi.org/10.36086/jsl.v3i2.1804>.
- [2] S. Liwan and P. C. Latue, "Analisis Spasial Perubahan Suhu Permukaan Daratan Kota Kupang Menggunakan Pendekatan Geospatial Artificial Intelligence (GeoAI)," *Buana J. Geogr. Ekol. dan Kebencanaan*, vol. 1, no. 1, pp. 14–20, 2023, doi: [10.56211/buana.v1i1.343](https://doi.org/10.56211/buana.v1i1.343).
- [3] Yovi, Ringgo Dwika, and Eka, "Penerapan Metode Monte Carlo pada Simulasi Prediksi Jumlah Calon Mahasiswa Baru Universitas Muhammadiyah Bengkulu," *J. Process.*, vol. 17, no. 2, pp. 74–81, 2022, doi: [10.33998/processor.2022.17.2.1224](https://doi.org/10.33998/processor.2022.17.2.1224).



- [4] D. C. Dewi, S. Sumijan, and G. W. Nurcahyo, “Simulasi Monte Carlo dalam Mengidentifikasi Peningkatan Penjualan Tanaman Mawar (Studi Kasus di Toko Bunga 5 Bersaudara Kota Solok),” *J. Inform. Ekon. Bisnis*, vol. 3, pp. 60–65, 2020, doi: 10.37034/infv3i2.67.
- [5] M. Seprima and D. Defrianto, “Prediksi Curah Hujan Dan Kelembaban Udara Kota Pekanbaru Menggunakan Metode Monte Carlo,” *Komun. Fis. Indones.*, vol. 17, no. 3, p. 134, 2020, doi: 10.31258/jkfi.17.3.134-138.
- [6] R. Lubis, “Simulasi Jenis Penyakit Pasien yang Berobat Menggunakan Metode Monte Carlo,” *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, vol. 4, no. 2, pp. 42–46, 2022, doi: 10.37034/jsisfotek.v4i2.121.
- [7] A. E. Syaputra, “Akumulasi Metode Monte Carlo dalam Memperkirakan Tingkat Penjualan Keripik Sanjai,” *J. Inform. Ekon. Bisnis*, vol. 5, pp. 209–216, 2023, doi: 10.37034/infv5i1.222.
- [8] R. Maulana, “Aplikasi metode monte carlo dalam analisis prediksi impor beras dari pakistan,” *JATI(Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 8, no. 4, 2024, doi: <https://doi.org/10.36040/jati.v8i4.10139>.
- [9] R. D. Z. Putri, “Optimalisasi Prediksi Impor Buah-Buahan Dari Negara Australia Menggunakan Simulasi Monte Carlo,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 8, no. 4, 2024, doi: <https://doi.org/10.36040/jati.v8i4.10136>.
- [10] S. Hidayatullah and A. Cherid, “Prediksi temperatur cuaca di negara norwegia menggunakan metode LSTM,” *J. Sist. Inf. dan Sist. Komput.*, vol. 8, no. 2, pp. 187–198, 2023, doi: 10.51717/simkom.v8i2.192.
- [11] A. Asari *et al.*, *Dasar penelitian kuantitatif*. Jawa Tengah: Lakeisha, 2023.
- [12] Musnaini, I. K. Mudhita, Asrini, and I. A. W. Laksmi, *Statistika Ekonomi : Metode Probabilitas*. Jambi, 2024.
- [13] R. Kurniawan, A. Halim, and H. Melisa, “Prediksi Hasil Panen Pertanian Salak di Daerah Tapanuli Selatan Menggunakan Algoritma SVM (Support Vector Machine),” *KLIK Kaji. Ilm. Inform. dan Komput.*, vol. 4, no. 2, pp. 903–912, 2023, doi: 10.30865/klik.v4i2.1246.
- [14] S. A. Maulana, “Penerapan Metode Monte Carlo Dalam Memprediksi Produksi Daging Sapi Di Provinsi Sulawesi Utara,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 8, no. 4, 2024.
- [15] V. R. A. Priyantono, I. M. Di Asih, and I. T. Utami, “Analisis Portofolio Optimal Menggunakan Model Indeks Tunggal dan Pengukuran Value at Risk dengan Simulasi Monte Carlo,” *J. Gaussian*, vol. 12, no. 2, pp. 158–165, 2023, doi: <https://doi.org/10.14710/j.gauss.12.2.158-165>.
- [16] T. Rahmawati, E. Y. Sari, A. Priyanto, I. Yasin, V. R. B. Kurniawan, and D. D. Jaya, “Analisis Prediksi Penjualan Wedang Uwuh Instan dengan Simulasi Algoritma Monte Carlo,” *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 1, pp. 615–623, 2024, doi: <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i1.3705>.
- [17] Muhammad Romzi and B. Kurniawan, “Pembelajaran Pemrograman Python Dengan Pendekatan Logika Algoritma,” *JTIM J. Tek. Inform. Mahakarya*, vol. 03, no. 2, pp. 37–44, 2020.
- [18] R. Adriansyah and M. S. Hadi, “Penentuan Volume Kerucut Elips Menggunakan Monte Carlo dengan Bantuan Python,” *J. Pembelajaran Dan Mat. Sigma*, vol. 9, no. 1, pp. 172–176, 2023, doi: 10.36987/jpms.v9i1.4069.
- [19] F. Fauziah and W. Wisanty, “Color Palette menggunakan Python cv2 dan NumPy,” *Semin. Nas. Tek. Elektro dan ...*, pp. 163–166, 2023.
- [20] T. Destiana, Y. Umidah, and U. Enri, “Penerapan Algoritma Gaussian Naive Bayes Dalam Penentuan Prioritas Rehabilitasi Daerah Aliran Sungai Berdasarkan Parameter Lahan Kritis,” *INFOTECH J.*, vol. 9, no. 2, pp. 507–513, 2023, doi: 10.31949/infotech.v9i2.6501.
- [21] R. Kaestria *et al.*, “Penerapan Matplotlib dalam Visualisasi Data untuk Analisis Hubungan Penggunaan Gadget dan Hasil Belajar,” *J. Digit. Bus. Inf. Technol.*, pp. 29–39, 2024, doi: 10.23971/jobit.v1i1.204.