

Peramalan Prakiraan Cuaca Setiap Hari di Kota Medan dengan Pendekatan Rantai Markov

Septia Cahaya Sari Sipayung¹, Thanaya Lovry Lastiar², Trinita Melyana Hutagalung³,
Sisti Nadia Amalia⁴

^{1,2,3,4}Universitas Negeri Medan

Email: septiasipayung@mhs.unimed.ac.id¹, thanayalovrylastiar@mhs.unimed.ac.id²,
trinitamelyana@mhs.unimed.ac.id³

Abstract. *This research utilizes the Markov Chain method to analyze daily weather data in the city of Medan. The main objective of this study is to forecast weather changes in the future based on the weather conditions of the previous day. Daily weather data was collected from the nearest weather station over a specific period of time. The analysis results indicate that the Markov Chain model provides good estimates of the likelihood of weather changes from one day to the next. The steady state probabilities demonstrate the dominance of partly cloudy and clear weather in the long term. This research provides valuable insights for various sectors related to weather, such as agriculture, transportation, and tourism.*

Keywords: *Markov Chain, Daily Weather, Prediction, Probability, Medan City.*

Abstrak. Penelitian ini menggunakan metode Rantai Markov untuk menganalisis data cuaca harian di Kota Medan. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk meramalkan perubahan cuaca di masa depan berdasarkan kondisi cuaca pada hari sebelumnya. Data cuaca harian dikumpulkan dari stasiun cuaca terdekat selama periode waktu tertentu. Hasil analisis menunjukkan bahwa model Rantai Markov memberikan perkiraan yang baik mengenai kemungkinan perubahan cuaca dari satu hari ke hari berikutnya. Probabilitas steady state menunjukkan dominasi cuaca berawan dan cerah berawan dalam jangka panjang. Penelitian ini memberikan wawasan yang berguna bagi berbagai sektor yang terkait dengan cuaca, seperti pertanian, transportasi, dan pariwisata.

Kata kunci: Rantai Markov, Cuaca Harian, Prediksi, Probabilitas, Kota Medan

LATAR BELAKANG

Cuaca memengaruhi beragam aktivitas manusia. Faktor-faktor seperti tekanan udara, suhu, kelembapan, dan curah hujan berkontribusi pada cuaca dan iklim. Dalam situasi ini, banyak pihak memerlukan informasi cuaca yang komprehensif, cepat, dan akurat (Simeonov, 2007).

Dalam realitas kehidupan, terdapat banyak fenomena alam yang ditandai dengan ketidakpastian atau sifat probabilistik, seperti pergerakan lempeng bumi yang memicu gempa, fluktuasi harga saham, kondisi cuaca, evolusi pasangan nukleotida, dan sebagainya. Salah satu model yang sedang banyak dikaji adalah model rantai Markov dalam penelitian Ihsan beserta teman-teman (2019). Dalam era kontemporer seperti saat ini, kebutuhan akan pemanfaatan data cuaca menjadi semakin penting dalam sektor transportasi darat, laut, dan udara. Observasi cuaca menjadi krusial dalam upaya memitigasi risiko bencana yang disebabkan oleh kondisi cuaca yang ekstrem, yang seringkali berpotensi menimbulkan kerugian yang besar (Asnida, 2015). Setiap tahun, curah hujan di Indonesia tidak stabil secara konsisten. Variabilitas yang

signifikan dalam jumlah hujan tergantung pada tempat dan waktu. Namun, baru-baru ini, terjadi transformasi fisik dalam atmosfer dari variasi cuaca yang biasa menjadi kondisi ekstrem dalam jangka waktu yang lebih panjang, yang memiliki dampak yang luas terhadap berbagai sektor kehidupan manusia terdapat penelitian Paيدا tentang deteksi perubahan pola curah hujan kota Makassar (2011).

Peramalan cuaca menjadi faktor krusial dalam kehidupan sehari-hari, karena dapat memengaruhi aktivitas masyarakat. Kemajuan teknologi memberikan peluang besar dalam pengembangan prakiraan cuaca. Dalam penentuannya, prakiraan cuaca dipengaruhi oleh berbagai parameter penting seperti suhu, curah hujan, penguapan, radiasi matahari, tekanan udara, kelembaban, dan arah angin. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) memperoleh nilai-nilai parameter ini dari alat pengukur seperti termometer, pengukur hujan, evaporation pan/open pan untuk penguapan, Radiameter Gun Bellani untuk radiasi matahari, barometer, higrometer, dan cup counter anemometer untuk mengukur kecepatan angin. Pertumbuhan besar dalam jumlah data yang terkumpul seringkali menghasilkan data yang tidak terkelola dengan baik, sehingga mengurangi kualitas informasi yang diperoleh terdapat dalam penelitian Nurhamiddin, dkk (2020).

Pada tahun 1907, Andrey A. Markov memperkenalkan konsep rantai Markov, yang terkait dengan serangkaian proses di mana hasil suatu percobaan hanya bergantung pada serangkaian peristiwa sebelumnya dan tidak tergantung pada peristiwa sebelumnya (Wusko dan Nizar, 2017). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sasake dan Wattimena pada tahun 2021, mereka menegaskan bahwa pendekatan ini berasal dari ide bahwa kondisi cuaca di masa depan dipengaruhi oleh kondisi cuaca sebelumnya. Dengan menggunakan data cuaca harian sebelumnya, model Rantai Markov dapat menggambarkan pola transisi cuaca dan mendukung dalam perkiraan kemungkinan cuaca di masa mendatang.

Rantai Markov adalah proses stokastik dengan distribusi bersyarat dari keadaan masa depan yang hanya dipengaruhi oleh keadaan terkini. Rantai Markov sering digunakan untuk memodelkan urutan observasi dan mempelajari bagaimana perubahan akan terjadi di masa mendatang (Rofiroh dkk, 2020).

Sebelum melakukan analisis rantai Markov, penting untuk memahami proses stokastik yang mempelajari urutan peristiwa yang terjadi berdasarkan probabilitas tertentu, yang sering direpresentasikan secara lebih sederhana dalam bentuk matriks yang disebut matriks probabilitas transisi (Nurjana dkk, 2016). Matriks probabilitas transisi berisi informasi yang mengatur perpindahan sistem dari satu keadaan ke keadaan lainnya. "Matriks peluang transisi juga dikenal sebagai matriks stokastik karena peluang transisinya tetap dan tidak bergantung

pada waktu t dimana P_{ij} , yang menggambarkan peluang transisi satu langkah dari satu keadaan ke keadaan lainnya” (Side dkk, 2014).

Penggunaan Analisis Rantai Markov dan waktu pertama lewat (First Passage Time) memiliki signifikansi yang besar dalam pemodelan berbagai sistem dan proses peramalan cuaca. “Pendekatan matematis ini memberikan cara untuk mengestimasi perubahan di masa depan dalam variabel-variabel dinamis, dengan merujuk pada perubahan yang terjadi pada variabel-variabel tersebut di masa lampau” (Subagyo dkk, 2018).

Peneliti pun tertarik dalam menggali lebih dalam mengenai perubahan cuaca, pengembangan metode prediksi yang dapat diandalkan menjadi sebuah kebutuhan mendesak. Dengan populasi yang terus bertumbuh dan urbanisasi yang pesat, Kota Medan menghadapi tantangan besar dalam mengelola risiko terkait cuaca ekstrem. Tambahannya, kemajuan dalam metode peramalan cuaca menggunakan Rantai Markov juga berpotensi memberikan sumbangan pada kemajuan bidang ilmu peramalan cuaca secara menyeluruh (Kadafi dkk, 2016). Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting untuk memberikan kontribusi yang signifikan dalam memahami pola cuaca kota ini dan menyediakan alat yang efektif bagi pihak-pihak terkait untuk mengambil tindakan preventif yang tepat waktu.

KAJIAN TEORITIS

Cuaca Harian

Peramalan cuaca harian merupakan aspek krusial dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam menanggapi dan menangani dampak dari perubahan cuaca yang dapat mempengaruhi berbagai sektor, termasuk pertanian, transportasi, pariwisata, dan kegiatan lainnya. Dalam konteks ini, pengembangan metode peramalan cuaca harian dapat membantu mengurangi risiko terhadap terjadinya bencana alam dan memberikan informasi yang tepat kepada para pemangku kepentingan di berbagai bidang (Winda Fransiska, 2022).

Cuaca ekstrem merupakan fenomena atau keadaan cuaca yang terjadi di luar kondisi normal dalam jangka pendek di suatu wilayah tertentu. Contohnya, ketika suhu rata-rata 33°C berubah menjadi $33-47^{\circ}\text{C}$, curah hujan melebihi 100 mm, atau angin berkecepatan lebih dari 34 knot. Meskipun Indonesia memiliki keuntungan geografis berada di garis khatulistiwa, negara ini juga memiliki potensi bencana yang sangat kompleks. Cuaca ekstrem dapat memicu bencana yang memerlukan antisipasi. Beberapa penelitian mengenai penggunaan jaringan saraf tiruan untuk peramalan cuaca telah dilakukan oleh Bambang dan rekan-rekannya (1999), Pratama (1999), serta Resmana dan Dwi Wiyanto (1997).

Prediksi Cuaca Kota Medan

Prediksi cuaca melibatkan serangkaian kegiatan yang bertujuan untuk mengumpulkan informasi tentang kondisi iklim dan elemen-elemennya. Informasi ini sangat berharga dalam berbagai aspek kehidupan, terutama dalam meramalkan curah hujan yang memiliki dampak signifikan pada berbagai aktivitas sehari-hari. Misalnya, petani sangat memerlukan informasi mengenai prakiraan musim hujan untuk menyusun jadwal tanam yang lebih efektif. “Selain itu, sektor-sektor seperti pariwisata, perikanan, pelayaran, pertanian, kehutanan, pembangunan, perencanaan wilayah, dan kesehatan juga sangat bergantung pada informasi atau prediksi cuaca dan iklim” (Dewi, 2019).

Kota Medan saat memasuki masa peralihan dari Musim Kemarau ke Musim Hujan biasanya mengalami kondisi cuaca yang tidak stabil. Pola cuaca yang menyimpang atau yang disebut sebagai cuaca ekstrem kini semakin sering terjadi dengan frekuensi yang cenderung meningkat. Cuaca ekstrem yang biasa terjadi meliputi: angin kencang, suhu udara tinggi dengan periode singkat, kadang disertai angin puting beliung, dan curah hujan intensitas tinggi yang dapat menyebabkan banjir dan longsor. Cuaca ekstrem ini dapat mengancam keselamatan manusia dan menyebabkan kerugian harta benda serta korban jiwa (Yeni Megalina, 2014).

Rantai Markov

Rantai Markov adalah suatu metode matematika yang umumnya digunakan untuk melakukan pemodelan berbagai sistem dan proses bisnis. Teknik ini berguna untuk memprediksi perubahan di masa depan dalam variabel-variabel dinamis berdasarkan perubahan yang terjadi pada variabel-variabel tersebut di masa lampau. Selain itu, teknik ini juga dapat digunakan untuk melakukan analisis terhadap peristiwa-peristiwa yang akan terjadi di masa depan secara matematis (Dwijanto, 2019). Isaacson and Madson (1976) menyatakan bahwa Rantai Markov adalah suatu teknik yang digunakan dalam menganalisis perilaku saat ini dari beberapa variabel dengan tujuan untuk memprediksi perilaku dari variabel yang sama pada masa mendatang.

Proses markov adalah suatu proses stokastik dengan sifat jika keadaan untuk saat sekarang diketahui atau diberikan maka peluang keadaan dari proses pada waktu yang akan datang tidak dipengaruhi oleh keadaan pada waktu sebelumnya. Rantai markov adalah proses Markov dengan peluang keadaan diskrit tetapi indeks parameternya dapat diskrit atau kontinu. Menurut Supandi (2010), Suatu proses stokastik $\{X(t), t \in [0, \infty), t \in R\}$ waktu kontinu disebut rantai markov waktu kontinu bila proses stokastik tersebut mempunyai sifat Markovian.

Rantai Markov (Markov Chains) adalah suatu teknik matematika yang biasa digunakan untuk melakukan pembuatan model (modelling) bermacam- macam sistem dan proses bisnis. Teknik ini dapat digunakan untuk meramalkan perubahan-perubahan di waktu yang akan datang pada variabel-variabel dinamis berdasarkan hasil pengamatan pada variabel-variabel tersebut di masa yang lalu. Model rantai Markov dikembangkan oleh seorang ahli Rusia bernama A.A.Markov, pada tahun 1906. Penerapan rantai Markov mula-mula adalah pada ilmu- ilmu pengetahuan fisik dan meteorologi. Teknik ini mula-mula digunakan untuk menganalisis dan memperkirakan perilaku partikel-partikel gas dalam suatu wadah (container) tertutup serta meramal keadaan cuaca. Sebagai suatu peralatan riset operasi dalam pengambilan keputusan manajerial, rantai Markov telah banyak diterapkan untuk menganalisis perpindahan merek (brand switching) dalam pemasaran, perhitungan rekening-rekening, jasa-jasa penyewaan mobil, perencanaan penjualan, masalah- masalah persediaan, pemeliharaan mesin, antrian, perubahan harga pasar saham, administrasi rumah sakit, dan sebagainya.

Prediksi kondisi masa depan dengan Markov Chain merupakan proses stokastik dan disusun berdasarkan 3 batasan (Ortiz-García et al., 2006), meliputi:

1. Batasan pertama adalah prosesnya diskrit terhadap waktu.
2. Proses harus memiliki state yang dapat dihitung atau terhingga.
3. Proses tersebut harus memenuhi properti Markov.

Dalam prediksi performa perkerasan jalan dengan model stokastik dapat dikatakan memenuhi properti Markov apabila kondisi perkerasan di masa mendatang bergantung pada kondisi perkerasan saat ini, bukan bergantung pada kondisi masa lampau. Kondisi perkerasan di masa mendatang dapat diprediksi menggunakan rumus (Ortiz-García et al. 2006; Panthi 2009), seperti ditampilkan pada Persamaan 1.

$$a_t = a_{t-1} \times P = a_0 \times P^t \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

a_t : distribusi kondisi pada waktu t

a_0 : distribusi kondisi pada waktu ke-0, yang merupakan vektor awal ($a_t - 1$)

P^t : MPT yang ditingkatkan dengan kontrol waktu t

t : waktu yang berlalu dalam satuan tahun

Dengan menggunakan vektor kondisi awal dan probabilitas transisi Markov, maka kondisi perkerasan di masa mendatang dapat diprediksi untuk waktu (t) kapan pun (Panthi, 2009)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data cuaca harian di Kota Medan selama periode 21 hingga 26 april 2024, yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Kota Medan. Penelitian ini menggunakan Metode Rantai Markov untuk menganalisis data tersebut. Metode ini digunakan untuk meramalkan atau memperkirakan perubahan yang akan terjadi di masa depan berdasarkan perubahan yang terjadi pada variabel-variabel dinamis sebelumnya (Ihsan, Sanusi, dan Hasriani, 2020). Fokus penelitian ini meliputi beberapa variabel seperti kondisi cuaca harian, yang mencakup berawan, cerah berawan, hujan ringan, hujan sedang, dan hujan lebat, serta waktu pengamatan yang dibagi menjadi pagi, siang, sore, dan malam hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Data

Dalam Penelitian ini, data yang dianalisis mencakup kondisi cuaca di Kota Medan dari tanggal 21 sampai 26 april 2024. Data ini diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika(BMKG). Pengelompokan data cuaca dilakukan berdasarkan kategori: Berawan, Cerah Berawan, Hujan ringan, Hujan Lebat, Hujan Sedang. Data yang dikumpulkan merupakan data perubahan cuaca pada empat periode waktu: pagi, siang, sore, malam. Data harian kota Medan disajikan pada tabel 1

Tabel 1. Cuaca Harian di Kota Medan, Tanggal 21 - 26 April 2024

April		Cuaca			
Hari	Tanggal	Pagi	Siang	Sore	Malam
Minggu	20/04/2024	Hujan Ringan	Hujan Ringan	Hujan Lebat	Hujan Ringan
Senin	21/04/2024	Berawan	Berawan	Hujan Ringan	Berawan
Selasa	22/04/2024	Cerah Berawan	Hujan sedang	Hujan Ringan	Berawan
Rabu	23/04/2024	Berawan	Cerah Berawan	Hujan Sedang	Hujan Sedang
Kamis	24/04/2024	Berawan	Cerah Berawan	Hujan Ringan	Hujan Sedang
Jum'at	25/04/2024	Berawan	Cerah Berawan	Hujan Ringan	Hujan Ringan

Berdasarkan Tabel 1, data cuaca harian menunjukkan variasi yang cukup besar. Namun, dari kolom cuaca untuk setiap periode waktu selama enam hari yang paling sering

muncul adalah “Berawan”. Cuaca berawan paling banyak terjadi pada pagi hari, siang dan malam hari pada periode tersebut

Menggambarkan Data Cuaca dalam Bentuk Matriks Transisi Model Rantai Markov

Dari data cuaca harian pada tabel 1, jumlah kejadian cuaca dalam satu hari dihitung berdasarkan kategori yang ada. Hasil perhitungan tersebut kemudian disajikan dalam Tabel 2, yang berisi data jumlah kejadian cuaca harian untuk setiap kategori dalam satu hari.

Tabel 2. Jumlah Perubahan Cuaca Harian

Perubahan	Berawan	Cerah Berawan	Hujan Ringan	Hujan Sedang	Hujan Lebat
Minggu	-	-	3	-	1
Senin	3	-	1	-	-
Selasa	1	1	1	1	-
Rabu	1	1	-	2	-
Kamis	1	1	1	1	-
Jum'at	1	1	2	-	-
Jumlah	7	4	9	4	1

Berdasarkan data cuaca, diperoleh probabilitas transisi p_{ij} dimana $i = 1,2,3,4,5$ dan $j = 1,2,3,4,5,6$ yaitu probabilitas peralihan dari kondisi i ke kondisi j . Untuk menghitung p_{ij} , dilakukan dengan membagi jumlah perubahan kondisi cuaca dari i ke j dengan total perubahan kondisi i . Perubahan cuaca dari i ke j dinotasikan sebagai t_{ij} dimana $i = 1,2,3,4,5$ dan $j = 1,2,3,4,5,6$

$$p_{ij} = \frac{t_{ij}}{\sum_{j=1}^5 t_{ij}} \quad (1)$$

Perubahan cuaca dapat terjadi dari berbagai kondisi, misalnya dari berawan ke berawan, berawan ke cerah berawan, berawan ke hujan lebat dan lain-lain. Berdasarkan data pengamatan cuaca pada pada tabel 2, diperoleh peluang peralihan kondisi cuaca yang ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Banyaknya Perubahan Cuaca Harian

Perubahan Cuaca	Berawan	Cerah Berawan	Hujan Ringan	Hujan Sedang	Hujan Lebat	Jumlah
Berawan	2	4	1	0	0	7
Cerah Berawan	0	0	2	2	0	4
Hujan Ringan	3	0	2	1	1	7
Hujan Sedang	2	0	1	1	0	4
Hujan Lebat	0	0	1	0	0	1

Proses dalam mengetahui jumlah perubahan state atau dengan kata lain transisi berdasarkan sifat rantai Markov. Hasil yang diperoleh pada tabel 3 diubah menjadi kedalam bentuk peluang yang disajikan pada tabel 4

Tabel 4. Bentuk Peluang

Perubahan Cuaca	Berawan	Cerah Berawan	Hujan Ringan	Hujan Sedang	Hujan Lebat	Jumlah
Berawan	$\frac{2}{7} = 0,29$	$\frac{4}{7} = 0,57$	$\frac{1}{7} = 0,14$	$\frac{0}{7} = 0$	$\frac{0}{7} = 0$	$\frac{7}{7} = 1$
Cerah Berawan	$\frac{0}{4} = 0$	$\frac{0}{4} = 0$	$\frac{2}{4} = 0,50$	$\frac{2}{4} = 0,50$	$\frac{0}{4} = 0$	$\frac{4}{4} = 1$
Hujan Ringan	$\frac{3}{7} = 0,42$	$\frac{0}{7} = 0$	$\frac{2}{7} = 0,29$	$\frac{1}{7} = 0,14$	$\frac{1}{7} = 0,14$	$\frac{7}{7} = 1$
Hujan Sedang	$\frac{2}{4} = 0,50$	$\frac{0}{4} = 0$	$\frac{1}{4} = 0,25$	$\frac{1}{4} = 0,25$	$\frac{0}{4} = 0$	$\frac{4}{4} = 1$
Hujan Lebat	0	0	$\frac{1}{1} = 1$	0	0	$\frac{1}{1} = 1$

Nilai peluang yang diperoleh pada tabel 4 dapat disusun dalam bentuk matriks berukuran 5×5 yang disebut matriks probabilitas transisi satu langkah(kadafi, Nugroho, dan Novianti,2016). Dengan demikian, diperoleh matriks probabilitas transisi yang terdiri dari 5 kondisi cuaca, yang menunjukkan peluang perubahan cuaca harian di Medan, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P = \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0,29 & 0,57 & 0,14 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,50 & 0,50 & 0,00 \\ 0,42 & 0,00 & 0,20 & 0,14 & 0,14 \\ 0,50 & 0,00 & 0,25 & 0,25 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 1,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix}$$

Keterangan:

0: Cuaca berawan

1: Cuaca cerah berawan

2: Cuaca hujan ringan

3: Cuaca hujan sedang

4: Cuaca hujan lebat

Berdasarkan matriks transisi di atas, dapat diprediksi cuaca di Kota Medan sebagai berikut:

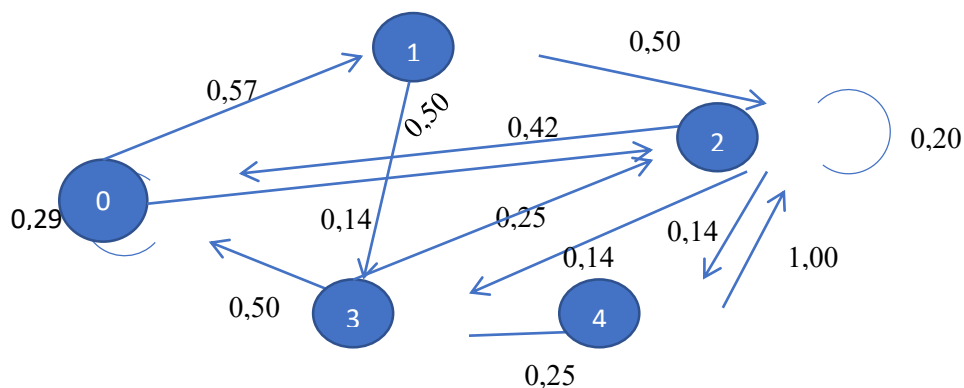
1. Jika hari ini cuaca berawan, besok berpeluang 29% berawan, 57% cerah berawan, 14% hujan ringan, dan tidak ada hujan sedang atau lebat.
2. Jika hari ini cerah berawan, besok berpeluang 50% hujan ringan, 50% hujan sedang, dan tidak ada cuaca berawan atau hujan lebat.

3. Jika hari ini hujan ringan, besok berpeluang 42% berawan, 20% hujan ringan, 14% hujan sedang, dan 14% hujan lebat.
4. Jika hari ini hujan lebat, besok berpeluang 50% berawan, 25% hujan ringan, dan 25% hujan sedang.
5. Jika hari ini hujan lebat, besok berpeluang 100% hujan ringan.

Matriks probabilitas transisi satu langkah dapat diilustrasikan menggunakan diagram transisi, di mana panah menunjukkan transisi dan lingkaran merepresentasikan state. Diagram transisi ini ditampilkan pada Gambar 1. Berdasarkan data probabilitas transisi satu langkah yang disebutkan di atas, dilakukan analisis untuk memprediksi perubahan cuaca hingga mencapai kondisi steady state. Dalam penelitian ini, untuk menentukan kondisi steady state, digunakan metode pemangkatan matriks probabilitas transisi P . Tujuan metode ini adalah untuk mendapatkan elemen pada satu kolom yang akan konvergen ke nilai yang sama dengan cara meningkatkan pangkat matriks probabilitas transisi secara bertahap (Hidayat, Sari, dan Azzery, 2020). Proses perhitungan dilakukan sebagai berikut:

$$P^2 = P \cdot P = \begin{bmatrix} 0,29 & 0,57 & 0,14 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,50 & 0,50 & 0,00 \\ 0,42 & 0,00 & 0,20 & 0,14 & 0,14 \\ 0,50 & 0,00 & 0,25 & 0,25 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 1,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,29 & 0,57 & 0,14 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,50 & 0,50 & 0,00 \\ 0,42 & 0,00 & 0,20 & 0,14 & 0,14 \\ 0,50 & 0,00 & 0,25 & 0,25 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 1,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix}$$

$$P^2 = \begin{bmatrix} 0,40 & 0,33 & 0,39 & 0,30 & 0,02 \\ 0,46 & 0,00 & 0,23 & 0,20 & 0,07 \\ 0,40 & 0,23 & 0,27 & 0,06 & 0,03 \\ 0,52 & 0,29 & 0,18 & 0,97 & 0,03 \\ 0,42 & 0,00 & 0,20 & 0,14 & 0,14 \end{bmatrix}$$



Gambar 1. Steady State

Karena kondisi steady state belum tercapai, perhitungan akan terus dilakukan untuk transisi selanjutnya hingga kondisi yang diharapkan tercapai.

$$P^4 = \begin{bmatrix} 0,65 & 0,31 & 0,40 & 0,24 & 0,05 \\ 0,40 & 0,26 & 0,29 & 0,18 & 0,03 \\ 0,42 & 0,21 & 0,30 & 0,19 & 0,03 \\ 0,48 & 0,24 & 0,34 & 0,24 & 0,04 \\ 0,38 & 0,22 & 0,27 & 0,17 & 0,03 \end{bmatrix}$$

Untuk mempermudah dilakukan menggunakan metode eliminasi dan substitusi untuk mencari nilai $\pi_0, \pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4$ dan peluang awal sebagai berikut:

$$[\pi_0 \quad \pi_1 \quad \pi_2 \quad \pi_3 \quad \pi_4] = [\pi_0 \quad \pi_1 \quad \pi_2 \quad \pi_3 \quad \pi_4] \begin{bmatrix} 0,29 & 0,57 & 0,14 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,50 & 0,50 & 0,00 \\ 0,42 & 0,00 & 0,20 & 0,14 & 0,14 \\ 0,50 & 0,00 & 0,25 & 0,25 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 1,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan perkalian matriks diatas diperoleh

$$\pi_0 = 0,29\pi_0 + 0,57\pi_1 + 0,14\pi_2$$

$$\pi_1 = 0,50\pi_2 + 0,50\pi_3$$

$$\pi_2 = 0,42\pi_0 + 0,20\pi_2 + 0,14\pi_3 + 0,14\pi_4$$

$$\pi_3 = 0,50\pi_0 + 0,25\pi_2 + 0,25\pi_3$$

$$\pi_4 = \pi_2$$

Hasil yang diperoleh sebagai berikut:

$$\pi_0 = 0,29$$

$$\pi_1 = 0,57$$

$$\pi_2 = 0,14$$

$$\pi_3 = 0$$

$$\pi_4 = 0$$

Artinya dalam jangka panjang, kemungkinan cuaca di Kota Medan akan berawan sebesar 29 %, kemungkinan cerah berawan sebesar 57%, kemungkinan cuaca hujan ringan sebesar 14 % dan untuk cuaca hujan sedang dan hujan lebat kemungkinan sebesar 0%

Peramalan Cuaca dengan Menggunakan Model Rantai Markov

Dalam Discrete Time Markov Chain ini, terdapat 5 kategori cuaca yang digunakan, yaitu:

- 0: Cuaca berawan
- 1: Cuaca cerah berawan
- 2: Cuaca hujan ringan
- 3: Cuaca hujan sedang
- 4: Cuaca hujan lebat

Untuk memprediksi cuaca yang akan terjadi selama satu minggu kedepan dapat dihitung menggunakan matriks steady state $\pi(0)$.

$$\pi_j = \sum_{i=1}^6 \pi_i P_{ij}, i = j = 1,2,3,4,5 \quad (2)$$

Kondisi cuaca berawan direpresentasikan oleh [1 0 0 0 0], Kondisi cuaca cerah berawan direpresentasikan oleh [0 1 0 0 0], Kondisi cuaca hujan ringan direpresentasikan oleh [0 0 1 0 0], Kondisi cuaca hujan sedang direpresentasikan oleh [0 0 0 1 0], Kondisi cuaca hujan lebat direpresentasikan oleh [0 0 0 0 1].

Tabel 5. Prediksi Perubahan Cuaca Harian dengan Kondisi Sebelumnya Berawan

Probabilitas Perubahan	Berawan	Cerah Berawan	Hujan Ringan	Hujan Sedang	Hujan Lebat
Minggu	0,29	0,57	0,14	0,00	0,00
Senin	0,14	0,17	0,35	0,30	0,02
Selasa	0,34	0,08	0,27	0,21	0,05
Rabu	0,29	0,14	0,23	0,13	0,04
Kamis	0,25	0,17	0,23	0,13	0,03
Jum'at	0,23	0,14	0,23	0,15	0,03
Rata-rata	0,26	0,21	0,24	0,15	0,03

Tabel 5 menyajikan prediksi perubahan cuaca harian dengan kondisi sebelumnya berawan. Dari data tersebut, terlihat bahwa cuaca berawan memiliki probabilitas tetap yang relatif tinggi, sekitar 26%. Sedangkan perubahan cuaca ke cerah berawan memiliki probabilitas sekitar 21%. Perubahan menuju cuaca hujan ringan memiliki probabilitas sekitar 24%, sementara peluang untuk cuaca hujan sedang atau hujan lebat cenderung lebih rendah, yaitu masing-masing sekitar 15% dan 3%.

Tabel 6. Prediksi Perubahan Cuaca Harian dengan Kondisi Sebelumnya Cerah Berawan

Probabilitas Perubahan	Berawan	Cerah Berawan	Hujan Ringan	Hujan Sedang	Hujan Lebat
Minggu	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00
Senin	0,46	0,00	0,23	0,20	0,07
Selasa	0,33	0,26	0,23	0,08	0,03
Rabu	0,15	0,02	0,23	0,18	0,03
Kamis	0,23	0,09	0,15	0,09	0,03
Jum'at	0,17	0,13	0,16	0,09	0,02
Rata-rata	0,22	0,08	0,25	0,19	0,03

Dalam Tabel 6, fokusnya adalah pada prediksi perubahan cuaca harian dengan kondisi sebelumnya cerah berawan. Dalam situasi ini, cuaca cerah berawan memiliki probabilitas tetap yang relatif rendah, kira-kira 8%. Probabilitas perubahan cuaca menuju cuaca berawan sekitar

22%, sedangkan perubahan ke cuaca hujan ringan atau hujan sedang masing-masing sekitar 25% dan 19%. Peluang untuk cuaca hujan lebat cenderung lebih rendah, yaitu sekitar 3%.

Tabel 7. Prediksi Perubahan Cuaca Harian dengan Kondisi Sebelumnya Hujan Ringan

Probabilitas Perubahan	Berawan	Cerah Berawan	Hujan Ringan	Hujan Sedang	Hujan Lebat
Minggu	0,42	0,00	0,20	0,14	0,14
Senin	0,28	0,24	0,27	0,06	0,03
Selasa	0,22	0,16	0,26	0,17	0,04
Rabu	0,26	0,13	0,25	0,16	0,04
Kamis	0,26	0,15	0,23	0,14	0,04
Jum'at	0,24	0,15	0,23	0,14	0,03
Rata-rata	0,28	0,14	0,24	0,14	0,05

Tabel 7 menggambarkan prediksi perubahan cuaca harian dengan kondisi sebelumnya hujan ringan. Dalam situasi ini, cuaca hujan ringan memiliki probabilitas tetap yang relatif rendah, sekitar 14%. Perubahan cuaca menuju cuaca berawan memiliki probabilitas sekitar 28%, sedangkan perubahan ke cuaca cerah berawan atau hujan sedang masing-masing sekitar 14% dan 24%. Peluang untuk cuaca hujan lebat cenderung lebih tinggi daripada kondisi sebelumnya, yaitu sekitar 5%.

Tabel 8. Prediksi Perubahan Cuaca Harian dengan Kondisi Sebelumnya Hujan Sedang

Probabilitas Perubahan	Berawan	Cerah Berawan	Hujan Ringan	Hujan Sedang	Hujan Lebat
Minggu	0,50	0,00	0,25	0,25	0,00
Senin	0,38	0,28	0,18	0,10	0,04
Selasa	0,24	0,22	0,29	0,19	0,03
Rabu	0,29	0,14	0,28	0,20	0,04
Kamis	0,30	0,17	0,26	0,16	0,04
Jum'at	0,28	0,17	0,26	0,16	0,04
Rata-rata	0,33	0,16	0,25	0,18	0,03

Dari Tabel 8, dapat dilihat prediksi perubahan cuaca harian dengan kondisi sebelumnya hujan sedang. Cuaca hujan sedang memiliki probabilitas tetap yang relatif rendah, sekitar 16%. Perubahan cuaca menuju cuaca berawan atau cerah berawan memiliki probabilitas sekitar 33% dan 16%, sedangkan perubahan ke cuaca hujan ringan atau hujan lebat masing-masing sekitar 25% dan 3%.

Tabel 9. Prediksi Perubahan Cuaca Harian dengan Kondisi Sebelumnya Hujan Lebat

Probabilitas Perubahan	Berawan	Cerah Berawan	Hujan Ringan	Hujan Sedang	Hujan Lebat
Minggu	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
Senin	0,42	0,00	0,20	0,14	0,14
Selasa	0,28	0,24	0,27	0,06	0,03
Rabu	0,22	0,16	0,26	0,17	0,04
Kamis	0,26	0,13	0,25	0,16	0,04
Jum'at	0,26	0,15	0,23	0,14	0,04
Rata-rata	0,24	0,11	0,37	0,11	0,05

Tabel 9 memberikan prediksi perubahan cuaca harian dengan kondisi sebelumnya hujan lebat. Cuaca hujan lebat memiliki probabilitas tetap yang relatif rendah, sekitar 11%. Perubahan cuaca menuju cuaca berawan atau cerah berawan memiliki probabilitas rendah, yaitu sekitar 24% dan 11%, sedangkan perubahan ke cuaca hujan ringan, hujan sedang, atau cuaca lebat yang lain memiliki kemungkinan masing-masing sekitar 37%, 11%, dan 5%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis menggunakan metode Rantai Markov terhadap data cuaca harian di Kota Medan, model ini memberikan gambaran komprehensif mengenai kemungkinan perubahan cuaca dari hari ke hari. Data cuaca harian yang dianalisis memungkinkan estimasi kondisi cuaca di masa depan dengan baik. Matriks probabilitas transisi digunakan untuk memperkirakan peluang perubahan cuaca dari satu kondisi ke kondisi lainnya, berdasarkan cuaca hari sebelumnya. Hal ini penting untuk perencanaan aktivitas terkait cuaca seperti pertanian, transportasi, dan pariwisata.

Metode Rantai Markov juga menunjukkan probabilitas stabil atau "steady state" dari kondisi cuaca, dengan cuaca berawan dan cerah berawan memiliki probabilitas tinggi dalam jangka panjang, sementara hujan ringan, sedang, dan lebat cenderung lebih rendah. Prediksi cuaca harian menggunakan model ini memberikan pandangan terperinci mengenai perubahan cuaca, membantu pengambilan keputusan terkait aktivitas masa depan. Namun, prediksi cuaca memiliki ketidakpastian, terutama dalam jangka panjang, karena faktor alamiah yang kompleks. Oleh karena itu, meskipun model ini memberikan perkiraan yang baik, pemantauan dan evaluasi berkelanjutan terhadap kondisi cuaca aktual tetap diperlukan untuk mengantisipasi perubahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penelitian ini. Terima kasih kepada rekan-rekan sejawat, keluarga, dan semua pihak yang telah memberikan bantuan, saran, dan motivasi selama proses penelitian. Semoga kerjasama dan kontribusi dari semua pihak dapat membawa manfaat yang berkelanjutan bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan kebermanfaatannya bagi masyarakat luas.

DAFTAR REFERENSI

- Asnida, B. (2015). Model vektor autoregressive untuk peramalan curah hujan di Kota Makassar (Unpublished undergraduate thesis). Universitas Negeri Makassar.
- Bambang, D. P., Budi, et al. (1999). Teknik jaringan syaraf tiruan feedforward untuk prediksi harga saham pada pasar modal Indonesia. *Jurnal Informatika*, 1(1), 33–37. Program Pascasarjana Peran Teknik Kendali, Institut Teknologi Bandung.
- Dewi, R. (2009). Memprediksi curah hujan (data spatio-temporal) dengan metode bayesian networks. Jurusan Matematika, FMIPA UNS.
- Dwijanto. (2012). Retrieved from <http://masdwijanto.files.wordpress.com/bab-7.pdf>.
- Ihsan, H., Sanusi, W., & Hasriani, H. (2019). Peramalan pola curah hujan di Kota Makassar menggunakan model rantai Markov. *Journal of Mathematics, Computations, and Statistics*, 2(1), 19–30.
- Isaacson, D. L., & Madson, R. W. (1976). *Markov chains: Theory and applications*. New York: John Wiley and Sons.
- Kadafi, I., Nugroho, S., & Novianti, P. (2016). Aplikasi rantai Markov untuk menentukan peluang transisi curah hujan. *Jurnal MIPA Universitas Bengkulu*, 1–4.
- Kemendikbud. (2014). *Matematika SMA/MA SMK/MAK Kelas X Semester 2*.
- Megalina, Y. (2014). Prediksi cuaca ekstrim dengan model jaringan syaraf tiruan menggunakan program Matlab. *EINSTEIN EJ*, 2.
- Nurhamiddin, F., & Sulisa, F. M. (2020). Peramalan cuaca menggunakan metode rantai Markov. *Jurnal Biosainstek*, 2(01), 16–22.
- Nurjana, S., Paendong, M., & Langi, Y. (2016). Penerapan rantai Markov dalam pemilihan minat masuk siswa SMA ke universitas di Indonesia. *D’CARTESIAN*, 5(1), 50. <https://doi.org/10.35799/dc.5.1.2016.12733>
- Ortiz-García, J. J., Costello, S. B., & Snaith, M. S. (2006). Derivation of transition probability matrices for pavement deterioration modeling. *Journal of Transportation Engineering*, 132(2), 141–161. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2006\)132:2\(141\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2006)132:2(141))

- Paida. (2011). Deteksi perubahan pola curah hujan Kota Makassar (Unpublished undergraduate thesis). Universitas Hasanuddin Makassar.
- Panthi, K. (2009). A methodological framework for modeling pavement maintenance costs for projects with performance-based contracts (Doctoral dissertation). Florida International University. <https://doi.org/10.25148/etd.FI09120824>
- Pratama, T. I. B. (1999). Metode peramalan memakai jaringan saraf buatan dengan cara backpropagation. *Jurnal Teknologi Industri*, 3(2), 109–116.
- Resmana, D. W. (1997). Prediksi nilai tukar valuta asing: Sebuah studi kasus penggunaan jaringan syaraf tiruan untuk peramalan. Surabaya: Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Kristen Petra.
- Rofiroh, F. D. N. F., & Salim. (2020). Aplikasi rantai Markov pada prediksi hari bersalju di beberapa kota Amerika Serikat. *STATMAT (Jurnal Statistika dan Matematika)*, 2(2), 131–141.
- Sasake, S., Lesnussa, Y. A., & Wattimena, A. Z. (2021). Peramalan cuaca menggunakan metode rantai Markov (Studi Kasus: Cuaca harian di Kota Ambon). *Jurnal Matematika*, 11(1), 1. <https://doi.org/10.24843/jmat.2021.v11.i01.p131>
- Side, S., Irma, S., & Sukarna. (2014). Aplikasi analisis rantai Markov untuk memprediksi status pasien rumah sakit umum daerah Kabupaten Barru. *Online Journal of Natural Science*.
- Simeonov, I., Kilivarev, H., & Ilarionov, R. (2007). Algorithmic realization of system for short-term weather forecasting. *Proceedings of The 2007 International Conference on Computer Systems and Technologies, CompSysTech '07*, 1.
- Subagyo, A. M., Jayadi, O., & Dewi, A. C. (2018). Analisis strategi bersaing perusahaan bus menggunakan teknik rantai Markov, game theory, dan short route models. *Jiems (Journal of Industrial Engineering and Management Systems)*. <https://doi.org/10.30813/jiems.v11i2.1180>
- Winda Fransiska, et al. (2022). Penerapan rantai Markov dalam peramalan cuaca (Studi Kasus: Cuaca harian di Kota Padang). *Buana Matematika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Pendidikan Matematika*, 12(2), 117–126. <https://doi.org/10.36456/buanamatematika.v12i2.6374>
- Wusko, A. M., & Nizar, M. (2017). Pendekatan rantai Markov dalam penelitian universitas di Pasuruan. *Jurnal Knowledge Industrial Engineering*, 4(1), 63–70.