

Received 11th March 2026
Accepted 30th April 2026
Published 30th April 2026

Open Access

DOI

<https://doi.org/10.35472/indojam.v6i1.2728>

Dinamika dan Probabilitas Transisi Curah Hujan Harian di MKG Itera Menggunakan Model Rantai Markov

Triyana Muliawati^{*a}, Angela Putri Larasati^a, Desi Wulandari^a, Rebecca Miranda Agustina Gultom^a, Setia Hot Dameria Purba^a, Suci Ayu Pangestuti^a

^a Department of Mathematics, Faculty of Sciences, Institut Teknologi Sumatera, Lampung, 35365, Indonesia

^{*} Koresponden E-mail: triyana.muliawati@ma.itera.ac.id

Abstract: This study aims to analyze the characteristics of daily rainfall in the Meteorology, Climatology, and Geophysics (MKG) Itera region during the period from January to October 2025 using a Markov Chain model. Daily rainfall data are classified into four states based on rainfall intensity, namely No Rain, Light Rain, Moderate Rain, and Heavy Rain. The analysis begins with descriptive statistics to identify general characteristics of the data. The average daily rainfall is 6.50 mm/day, with the highest recorded intensity reaching 82.8 mm on February 21, 2025, and a rainfall variance of 195.68 mm². Subsequently, a transition probability matrix is constructed to model the dynamics of rainfall condition changes between states from day to day. In addition, the steady-state probabilities are calculated to determine the long-term tendencies of rainfall conditions. The results indicate that daily rainfall exhibits a fluctuating pattern with relatively high variability. Most observations fall into the No Rain (48%) and Light Rain (40%) states, indicating that more than 88% of rainfall conditions are of low intensity. The transition probability matrix shows that the highest transition probability occurs from Moderate Rain to Light Rain at 66.7%, suggesting that moderate rainfall tends to decrease to light rainfall on the following day. Furthermore, the probabilities of remaining in the No Rain and Light Rain states are relatively high, at 61.1% and 46.7%, respectively, indicating persistence in dry or low-intensity rainfall conditions. The steady-state distribution shows that, in the long run, the probabilities are 47.6% for No Rain, 40.4% for Light Rain, 8.9% for Moderate Rain, and 3.0% for Heavy Rain. These findings suggest that rainfall patterns in the MKG Itera region are predominantly characterized by dry to low-intensity conditions. Overall, the Markov Chain model is capable of effectively representing the dynamics of daily rainfall and provides a comprehensive description of long-term rainfall characteristics in the MKG Itera region.

Keywords: rainfall, markov chain, transition probability, steady-state probability.

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik curah hujan harian di wilayah Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (MKG) Itera pada periode Januari hingga Oktober 2025 menggunakan model Rantai Markov. Data curah hujan harian diklasifikasikan ke dalam empat *state* berdasarkan intensitas curah hujan, yaitu Tidak Hujan, Hujan Ringan, Hujan Sedang, dan Hujan Lebat. Analisis dimulai dengan statistika deskriptif untuk mengidentifikasi karakteristik umum. Rata-rata curah hujan harian sebesar 6.50 mm/hari dan intensitas tertinggi mencapai 82.8 mm pada 21 Februari 2025 serta memiliki tingkat variasi data curah hujan sebesar 195.68 mm². Selanjutnya, matriks peluang transisi dibentuk untuk memodelkan dinamika perpindahan kondisi curah hujan antar *state* dari hari ke hari. Selain itu, peluang keadaan jangka panjang (*steady-state probability*) dihitung untuk mengetahui kecenderungan kondisi curah hujan dalam jangka panjang. Hasil analisis menunjukkan bahwa curah hujan harian memiliki pola yang fluktuatif dengan tingkat keragaman yang cukup tinggi. Sebagian besar data terkategori pada

state Tidak Hujan sebesar 48% dan Hujan Ringan sebesar 40%, sehingga lebih dari 88% kondisi curah hujan berada pada intensitas rendah. Matriks peluang transisi menunjukkan bahwa peluang transisi terbesar terjadi pada perpindahan dari Hujan Sedang ke Hujan Ringan sebesar 66.7%, yang mengindikasikan bahwa hujan dengan intensitas sedang cenderung menurun menjadi hujan ringan pada hari berikutnya. Selain itu, peluang bertahan pada state Tidak Hujan dan Hujan Ringan relatif tinggi, masing-masing sebesar 61.1% dan 46.7%, yang menunjukkan adanya persistensi kondisi kering atau hujan ringan. Distribusi *steady-state* menunjukkan bahwa dalam jangka panjang peluang Tidak Hujan sebesar 47.6%, Hujan Ringan 40.4%, Hujan Sedang 8.9%, dan Hujan Lebat 3.0%. Hasil ini menunjukkan bahwa pola curah hujan di wilayah MKG Itera didominasi oleh kondisi kering hingga hujan berintensitas rendah. Model Rantai Markov mampu merepresentasikan dinamika curah hujan harian secara efektif serta memberikan gambaran karakteristik curah hujan dalam jangka panjang di wilayah MKG Itera.

Kata Kunci: *curah hujan, rantai Markov, peluang transisi, steady-state probability.*

Pendahuluan

Curah hujan merupakan salah satu variabel meteorologi yang berperan penting dalam menentukan karakteristik iklim suatu wilayah, serta memengaruhi berbagai aspek lingkungan dan aktivitas manusia. Pada skala harian, data curah hujan menunjukkan pola yang bersifat acak, berfluktuasi, dan memiliki ketergantungan antarwaktu, sehingga memerlukan pendekatan matematis yang mampu menangkap dinamika temporal tersebut secara memadai [1].

Wilayah Lampung, khususnya kawasan Institut Teknologi Sumatera (Itera), memiliki karakteristik curah hujan yang dipengaruhi oleh kondisi topografi lokal, sirkulasi monsun, serta keberadaan Pegunungan Bukit Barisan. Kombinasi faktor-faktor tersebut menyebabkan pola curah hujan yang beragam sepanjang tahun. Namun, hingga saat ini masih terdapat keterbatasan dalam memahami pola transisi curah hujan harian secara kuantitatif, terutama dalam mengidentifikasi perubahan antar kategori intensitas hujan dari hari ke hari. Kondisi ini dapat menimbulkan ketidakpastian dalam perencanaan kegiatan kampus, pengelolaan sumber daya air, serta mitigasi risiko bencana hidrometeorologi seperti genangan dan banjir lokal di lingkungan Itera. Oleh karena itu, analisis curah hujan harian di wilayah ini menjadi penting sebagai dasar pengembangan kajian klimatologi lokal, perencanaan wilayah, serta mitigasi bencana hidrometeorologi di lingkungan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (MKG) Itera.

Dalam analisis curah hujan harian, intensitas hujan umumnya diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori untuk mempermudah pengamatan pola dan

variabilitasnya, seperti hari tidak hujan, hujan ringan, hujan sedang, dan hujan lebat [2]. Pendekatan kategorikal ini memungkinkan pemodelan transisi antar kondisi hujan dari waktu ke waktu. Salah satu pendekatan matematis yang efektif untuk memodelkan fenomena tersebut adalah model Rantai Markov. Rantai Markov merupakan proses stokastik waktu-diskrit yang menggambarkan perpindahan suatu sistem antar ruang keadaan (*state*) berdasarkan probabilitas transisi yang hanya bergantung pada keadaan sebelumnya [3]. Model ini telah banyak digunakan dalam analisis curah hujan di berbagai wilayah tropis karena kemampuannya dalam merepresentasikan ketergantungan temporal serta mengevaluasi peluang terjadinya rangkaian kondisi hujan tertentu [4].

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan penerapan model Rantai Markov dalam kajian curah hujan. Stern dan Coe (1984) menggunakan model Rantai Markov untuk menganalisis kejadian hujan harian di Afrika tropis dan menemukan bahwa model tersebut mampu menangkap pola ketergantungan antarahari secara baik [5]. Wilks (1999) mengembangkan model Markov untuk simulasi curah hujan harian dalam kajian klimatologi terapan [6]. Di wilayah Asia tropis, Zhang dan Singh (2006) menunjukkan bahwa model ini efektif dalam menganalisis probabilitas transisi curah hujan di daerah beriklim monsun [7]. Selain itu, penelitian di Malaysia oleh Yusof dkk. (2016) menunjukkan bahwa model Rantai Markov mampu menghasilkan simulasi curah hujan harian yang menyerupai data observasi [8], sementara studi di Ghana oleh Tettey dkk (2017) membuktikan efektivitas model ini dalam menganalisis pola transisi hujan harian [9]. Di Indonesia, beberapa

penelitian juga telah dilakukan, seperti analisis curah hujan harian di wilayah Bengkulu yang menunjukkan bahwa model Rantai Markov mampu menggambarkan peluang kejadian hujan serta transisi antar kategori intensitas hujan secara cukup baik[10].

Sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada skala wilayah yang luas atau menggunakan data jangka panjang, sehingga belum secara spesifik mengkaji dinamika curah hujan pada skala lokal dengan karakteristik topografi yang kompleks. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini menggunakan data curah hujan harian terbaru tahun 2025 di kawasan Institut Teknologi Sumatera, Lampung, yang dipengaruhi oleh interaksi antara topografi lokal, keberadaan Pegunungan Bukit Barisan, serta dinamika monsun. Kondisi ini berpotensi menghasilkan pola transisi curah hujan yang lebih variatif dan dinamis, terutama dalam konteks variabilitas iklim terkini. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik curah hujan harian di Itera menggunakan model Rantai Markov berdasarkan data periode Januari hingga Oktober 2025. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran pola transisi intensitas hujan harian yang lebih spesifik dan kontekstual sebagai dasar pengembangan analisis klimatologi terapan di wilayah Lampung.

Metode

Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data curah hujan harian yang diperoleh dari UPT MKG Itera. Data yang dianalisis mencakup periode Januari hingga Oktober 2025 dan digunakan sebagai dasar dalam pembentukan ruang keadaan serta estimasi peluang transisi pada model Rantai Markov.

Rantai Markov

Rantai Markov merupakan suatu metode matematika yang digunakan untuk memodelkan sistem atau proses stokastik yang mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Model ini digunakan untuk memperkirakan keadaan suatu variabel di masa mendatang berdasarkan keadaan sebelumnya dengan asumsi bahwa peluang transisi antar keadaan bersifat

tetap dan memenuhi sifat Markov, yaitu ketergantungan hanya pada keadaan saat ini [13]. Dalam konteks analisis curah hujan, Rantai Markov digunakan untuk memodelkan transisi antar kategori intensitas hujan dari satu hari ke hari berikutnya.

Asumsi dasar dalam model Rantai Markov adalah sebagai berikut:

1. Jumlah peluang transisi dari suatu keadaan ke seluruh keadaan lain adalah satu.
2. Peluang transisi bersifat stasioner dan tidak berubah terhadap waktu.
3. Peluang transisi hanya bergantung pada keadaan saat ini dan tidak dipengaruhi oleh keadaan sebelumnya.
4. Keadaan-keadaan dalam proses bersifat independen sepanjang waktu.

Orde Rantai Markov

Dalam pemodelan Rantai Markov, orde menyatakan tingkat ketergantungan suatu keadaan terhadap keadaan pada waktu-waktu sebelumnya. Pada Rantai Markov orde pertama, peluang suatu proses berada pada keadaan j pada waktu X_n hanya bergantung pada keadaan i pada waktu sebelumnya, yaitu X_{n-1} , sehingga berlaku sifat Markov [14]

$$P(X_n = j | X_{n-1} = i, X_{n-2}, \dots, X_0) = P(X_n = j | X_{n-1} = i)$$

$$P(X_n = j | X_{n-1} = i) = p_{ij}. \quad (1)$$

dengan p_{ij} menyatakan peluang transisi dari keadaan ke- i ke keadaan ke- j .

Pada Rantai Markov berorde lebih tinggi, peluang keadaan pada waktu X_n tidak hanya bergantung pada satu keadaan sebelumnya, melainkan juga pada beberapa keadaan waktu terdahulu, seperti X_{n-2}, X_{n-3} , dan seterusnya [15]. Secara umum, Rantai Markov berorde k memenuhi

$$P(X_n | X_{n-1}, X_{n-2}, \dots, X_{n-k}). \quad (2)$$

Dalam penelitian ini digunakan Rantai Markov orde pertama. Pemilihan orde pertama didasarkan pada pertimbangan kesederhanaan model serta karakteristik data curah hujan harian yang menunjukkan ketergantungan dominan pada kondisi hari sebelumnya. Selain itu, penggunaan orde pertama memungkinkan estimasi peluang transisi yang lebih stabil mengingat jumlah data yang terbatas dan jumlah

ruang keadaan yang digunakan. Pemilihan orde rantai Markov bergantung pada karakteristik data serta tingkat ketergantungan antar waktu yang ingin dimodelkan.

Matriks Peluang Transisi

Suatu proses Markov didefinisikan oleh matriks peluang transisi yang menggambarkan probabilitas perpindahan dari satu keadaan ke keadaan lainnya. Matriks peluang transisi dinyatakan sebagai

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} & \cdots & p_{0n} \\ p_{10} & p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n0} & p_{n1} & \cdots & p_{nn} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

Matriks peluang transisi memenuhi sifat:

$$p_{ij} \geq 0 \text{ dan } \sum_{j=0}^n p_{ij} = 1, i = 0, 1, 2, \dots, n.$$

Karena setiap elemen matriks bernilai tidak negatif dan jumlah peluang pada setiap baris sama dengan satu, maka matriks $\mathbf{P}$ merupakan matriks stokastik. Matriks ini, bersama dengan keadaan awal, secara lengkap mendefinisikan suatu proses Markov dan memungkinkan penentuan distribusi peluang keadaan pada waktu ke- n [16] [17].

Dalam jangka panjang, perilaku proses Markov tidak lagi bergantung pada keadaan awal. Sistem akan terus berpindah antar keadaan, namun dengan pola transisi yang konstan, hingga mencapai kondisi keadaan tetap (*steady state*) [18].

Peluang Keadaan (*State probability*)

Peluang keadaan (*state probability*) dalam model Rantai Markov menyatakan peluang suatu proses berada pada suatu keadaan tertentu dalam jangka panjang tanpa dipengaruhi oleh kondisi awal. Peluang ini diperoleh dari distribusi keadaan tetap (*steady-state distribution*) yang dihasilkan oleh matriks peluang transisi. Secara matematis, vektor peluang keadaan tetap $\boldsymbol{\pi} = (\pi_0, \pi_1, \dots)$ memenuhi sistem persamaan

$$\boldsymbol{\pi} = \boldsymbol{\pi}\mathbf{P} \text{ dengan } \sum_{i=0}^{\infty} \pi_i = 1, \quad (4)$$

dengan $\mathbf{P}$ menyatakan matriks peluang transisi dan π_i merupakan peluang jangka panjang sistem berada pada state ke- i [18].

Keberadaan dan keunikan distribusi keadaan tetap ini bergantung pada sifat rantai Markov yang

digunakan. Secara khusus, distribusi $\boldsymbol{\pi}$ akan ada dan bersifat unik apabila rantai Markov memenuhi kondisi ergodik, yaitu *irreducible* (setiap *state* dapat dicapai dari *state* lainnya) dan *aperiodic* (tidak memiliki pola siklus tertentu). Jika kedua kondisi ini terpenuhi, maka distribusi keadaan tetap tidak bergantung pada kondisi awal dan dapat digunakan untuk merepresentasikan perilaku jangka panjang sistem secara stabil.

Dalam konteks analisis curah hujan, peluang keadaan digunakan untuk menggambarkan kecenderungan jangka panjang wilayah pengukuran MKG Itera mengalami kondisi Tidak Hujan (*state* 0), Hujan Ringan (*state* 1), Hujan Sedang (*state* 2), dan Hujan Lebat (*state* 3). Nilai peluang keadaan mencerminkan probabilitas jangka panjang masing-masing kategori hujan terjadi secara berulang, sehingga dapat mengidentifikasi pola dominan curah hujan harian [19].

Berdasarkan peluang keadaan yang dihasilkan, karakteristik iklim lokal di wilayah Itera dapat diinterpretasikan dengan lebih jelas. *State* dengan peluang terbesar menunjukkan kondisi curah hujan yang paling sering terjadi dalam jangka panjang, sedangkan *state* dengan peluang yang lebih kecil menunjukkan kondisi yang relatif jarang terjadi. Dengan demikian, analisis peluang keadaan memberikan informasi penting mengenai kecenderungan periode kering dan basah serta stabilitas pola curah hujan harian di wilayah kajian [10].

Hasil dan Diskusi

Statistika Deskriptif

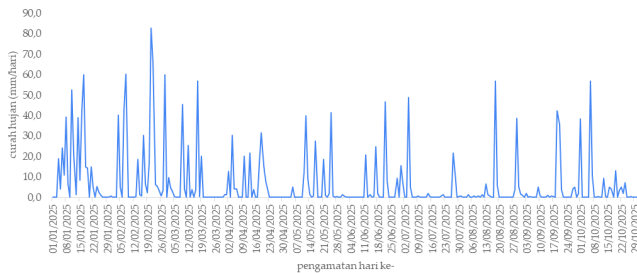
Data yang dianalisis merupakan data curah hujan harian di Itera sebanyak 304 observasi yang diperoleh dari UPT MKG Itera pada periode Januari hingga Oktober 2025. Data ini membentuk suatu runtun waktu (*time series*) yang merepresentasikan dinamika curah hujan harian di wilayah pengamatan.

TABEL 1. Data Harian Curah Hujan Januari hingga Oktober 2025

No	Waktu Pengamatan	Curah Hujan (mm/hari)
1	01/01/2025	0,0
2	02/01/2025	0,0
3	03/01/2025	0,0
4	04/01/2025	18,8

No	Waktu Pengamatan	Curah Hujan (mm/hari)
5	05/01/2025	4,2
⋮	⋮	⋮
300	27/10/2025	0,4
301	28/10/2025	0,0
302	29/10/2025	0,0
303	30/10/2025	0,0
304	31/10/2025	0,0

Data harian curah hujan MKG Itera Januari hingga Oktober 2025 digambarkan dalam grafik **Gambar 1**.



Gambar 1. Pola Curah Hujan Harian MKG Itera Periode Januari hingga Oktober 2025.

Pola curah hujan harian menunjukkan karakteristik yang fluktuatif. Sebagian besar hari didominasi oleh kondisi tanpa hujan atau hujan dengan intensitas rendah, namun pada beberapa periode tertentu terjadi lonjakan curah hujan dengan intensitas sedang hingga tinggi. Pola tersebut mengindikasikan adanya variasi temporal yang cukup signifikan antar hari pengamatan, sebagaimana ditunjukkan pada

Gambar 1.

Secara statistik, rata-rata curah hujan harian tercatat sebesar 6,50 mm/hari, dengan varians sebesar 195,68 dan standar deviasi sebesar 13,99 mm. Nilai varians dan standar deviasi yang relatif besar dibandingkan nilai rata-ratanya menunjukkan bahwa data memiliki tingkat dispersi yang tinggi. Hal ini menandakan bahwa curah hujan harian tidak terkonsentrasi di sekitar nilai rata-rata, melainkan sering mengalami deviasi yang cukup jauh. Nilai minimum sebesar 0 mm menunjukkan adanya sejumlah hari tanpa hujan, sedangkan nilai maksimum sebesar 82,8 mm menunjukkan terjadinya kejadian hujan dengan intensitas tinggi selama periode pengamatan. Rentang nilai yang lebar ini memperkuat

indikasi bahwa data curah hujan harian memiliki karakteristik yang tidak stabil dan cenderung bersifat acak. Karakteristik fluktuatif tersebut mendukung penggunaan pendekatan stokastik untuk memodelkan dinamika perubahan intensitas hujan antar hari. Oleh karena itu, model Rantai Markov dipilih untuk merepresentasikan probabilitas transisi antar kategori curah hujan secara matematis.

Kategorisasi Data Berdasarkan Pembagian State

Dalam penelitian ini, ruang keadaan (*state space*) didefinisikan menjadi empat kategori berdasarkan klasifikasi intensitas curah hujan harian yang digunakan oleh BMKG dan mengacu pada standar World Meteorological Organization (WMO). Pembagian ini bertujuan untuk mentransformasikan data curah hujan kontinu menjadi data kategorikal sehingga dapat dimodelkan menggunakan Rantai Markov. Klasifikasi ruang keadaan (*state*) disajikan pada

TABEL 2.

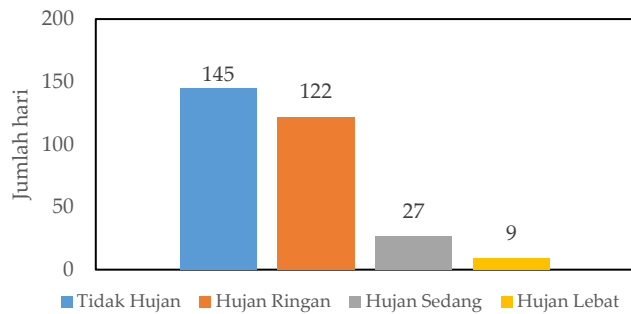
TABEL 2. Kategori *State* Berdasarkan Intensitas Curah Hujan

<i>State</i>	Kategori	Rentang Curah Hujan (mm/24 jam)
0	Tidak Hujan	0.0
1	Hujan Ringan	0.1 – 20.0
2	Hujan Sedang	20.1 – 50.0
3	Hujan Lebat	50.1 – 100.0

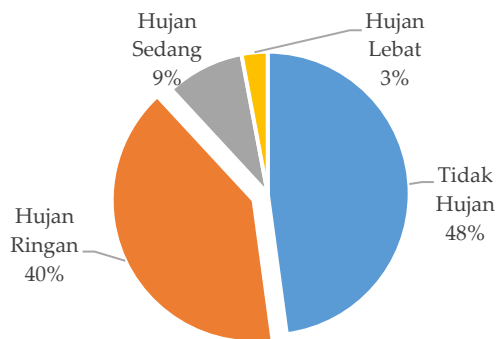
Kategori hujan sangat lebat atau ekstrem (lebih dari 100.0 mm) tidak dimasukkan ke dalam ruang keadaan karena selama periode pengamatan tidak ditemukan curah hujan melebihi 100 mm.

Distribusi Frekuensi pada Setiap State

Berdasarkan pembagian ruang keadaan tersebut, selanjutnya dihitung jumlah kejadian pada masing-masing state. Hasil perhitungan frekuensi dan persentase ditampilkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Distribusi Jumlah Hari pada Setiap State.



Gambar 3. Proporsi Jumlah Hari pada Setiap State.

Gambar 3 menunjukkan bahwa mayoritas hari pengamatan berada pada *state 0* (tidak hujan) sebesar 48%, diikuti oleh *state 1* (hujan ringan) sebesar 40%. Dengan demikian, 88% periode pengamatan didominasi oleh kondisi tanpa hujan dan hujan ringan. Sebaliknya, kejadian hujan dengan intensitas lebih tinggi relatif jarang terjadi. Hujan sedang (*state 2*) hanya terjadi pada 9% hari pengamatan, sedangkan hujan lebat (*state 3*) merupakan kejadian paling sedikit, yaitu sebesar 3%. Distribusi ini menunjukkan bahwa wilayah pengukuran MKG Itera selama periode Januari hingga Oktober 2025 cenderung memiliki karakteristik curah hujan rendah hingga sedang, dengan dominasi periode kering atau hujan berintensitas ringan. Pola distribusi state ini menjadi dasar dalam pembentukan matriks peluang transisi pada model Rantai Markov.

Matriks Peluang Transisi

Setelah melakukan klasifikasi data berdasarkan *state*, dibuat matriks peluang transisi yang diperoleh dari perhitungan jumlah transisi setiap *state*. Sebelum

menghitung peluang transisinya, ditentukan terlebih dahulu frekuensi transisi dari *state i* ke *state j*.

TABEL 3. Frekuensi Transisi *State i* ke *State j*

State (i)	State (j)				Jumlah
	0	1	2	3	
0	89	42	11	3	145
1	48	57	14	3	122
2	6	18	1	2	27
3	2	5	1	1	9

Setelah menentukan frekuensi transisi dari *state i* ke *state j*, maka dapat dibentuk matriks peluang transisinya.

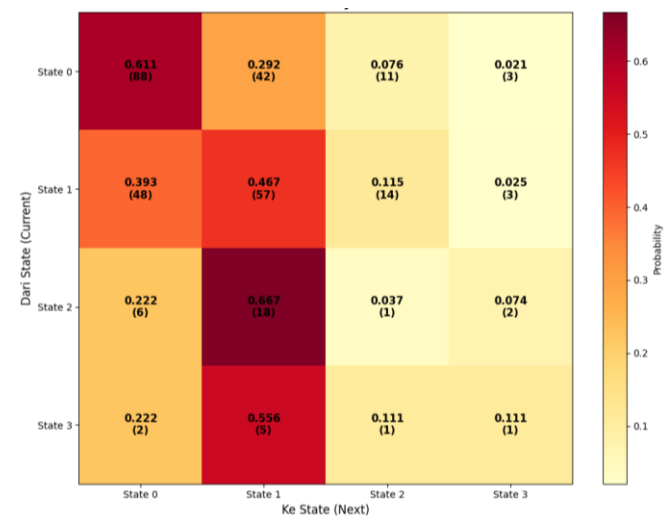
TABEL 4. Peluang Transisi *State i* ke *State j*

State (i)	State (j)				Jumlah
	0	1	2	3	
0	0.611	0.292	0.076	0.021	1
1	0.393	0.467	0.115	0.025	1
2	0.222	0.667	0.037	0.074	1
3	0.222	0.556	0.111	0.111	1

Matriks probabilitas transisi yang terbentuk

$$P = \begin{pmatrix} 0.611 & 0.292 & 0.076 & 0.021 \\ 0.393 & 0.467 & 0.115 & 0.025 \\ 0.222 & 0.667 & 0.037 & 0.074 \\ 0.222 & 0.556 & 0.111 & 0.111 \end{pmatrix},$$

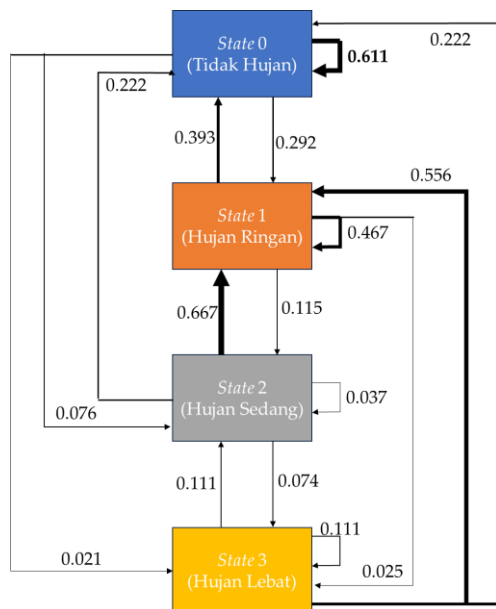
Berikut tampilan *heatmap* matriks probabilitas transisi data curah hujan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. *Heatmap* Matriks Probabilitas Transisi

Matriks peluang transisi curah hujan harian MKG Itera menunjukkan peluang transisi tertinggi adalah p_{21} atau

peluang transisi dari kondisi hujan sedang ke kondisi hujan ringan lebih besar daripada peluang menuju kondisi lain (tidak hujan, hujan sedang, hujan lebat) yaitu sebesar 66.7%. Peluang tersebut mengindikasikan bahwa curah hujan harian pada wilayah pengukuran MKG Itera pada saat kondisi curah hujan sedang akan berpeluang paling besar untuk kembali ke kondisi curah hujan yang ringan pada hari selanjutnya.



Gambar 5. Diagram Transisi Curah Hujan harian Rantai Markov

Peluang transisi pada diagram transisi (Gambar 5) menunjukkan bahwa kondisi Tidak Hujan ($p_{00} = 0.611$) dan Hujan Ringan ($p_{11} = 0.467$) memiliki kecenderungan tinggi untuk bertahan pada kondisi yang sama. Artinya, wilayah Itera lebih sering mengalami periode kering atau hujan ringan yang berlangsung cukup lama karena peluang berpindah ke kondisi hujan dengan intensitas lebih tinggi relatif kecil. Sebaliknya, kondisi Hujan Sedang dan Hujan Lebat memiliki peluang bertahan yang jauh lebih rendah. Ini menyebabkan hujan dengan intensitas tinggi cenderung tidak berlangsung lama dan biasanya segera kembali ke kondisi yang lebih ringan yaitu pada kondisi Hujan Ringan (state 1). Dengan demikian, hujan ekstrem atau sangat lebat di wilayah Itera relatif jarang terjadi dan cepat mereda.

Peluang Keadaan (State probability)

Berdasarkan matriks peluang transisi yang diperoleh, selanjutnya dihitung distribusi peluang keadaan tetap (*steady-state probability*) untuk mengetahui kecenderungan sistem dalam jangka panjang. Peluang keadaan tetap diperoleh dari solusi persamaan (4) yaitu $\pi = \pi P$ dengan syarat $\sum_{i=0}^3 \pi_i = 1$, di mana P merupakan matriks peluang transisi dan $\pi = (\pi_0, \pi_1, \pi_2, \pi_3)$ adalah vektor peluang keadaan jangka panjang. Diperoleh hasil peluang *steady state*:

$$\pi \approx (0.476, 0.404, 0.089, 0.030).$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa peluang keadaan tetap masing-masing *state* adalah $\pi_0 = 0,476$, $\pi_1 = 0,404$, $\pi_2 = 0,089$, dan $\pi_3 = 0,030$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa dalam jangka panjang kondisi Tidak Hujan (state 0) memiliki peluang terbesar, yaitu sekitar 47,6%, diikuti oleh Hujan Ringan (state 1) sebesar 40,4%. Sementara itu, peluang terjadinya Hujan Sedang (state 2) relatif kecil yaitu sekitar 8,9%, dan Hujan Lebat (state 3) memiliki peluang paling rendah yaitu sekitar 3,0%.

Interpretasi Iklim Jangka Panjang di Itera

1. Dominasi kondisi kering-hujan ringan. Nilai $\pi_0 + \pi_1 \approx 0.8806$ berarti sekitar 88,06% hari dalam jangka panjang berada pada kondisi tidak hujan atau hujan ringan. Ini menunjukkan karakteristik wilayah Itera (periode Januari hingga Oktober 2025) cenderung didominasi hari kering dan hujan berintensitas rendah.
2. Hujan intensitas lebih tinggi relatif jarang dan tidak persisten. Peluang jangka panjang untuk hujan sedang sekitar 8,93% dan hujan lebat sekitar 3,01%. Artinya, kejadian hujan yang lebih intens merupakan bagian kecil dari keseluruhan pola harian.
3. Konsisten dengan distribusi data aktual. Persentase *steady-state* sangat dekat dengan persentase empiris yang dihitung (sekitar 47,85%; 40,26%; 8,91%; 2,97%).

Persistensi Durasi Kejadian

Persistensi durasi kejadian pada setiap *state* dapat diestimasi menggunakan pendekatan rata-rata panjang rangkaian (*expected run length*) [17][15], yang dinyatakan dengan rumus:

$$E(L_i) = \frac{1}{1 - p_{ii}} \quad (5)$$

dengan p_{ii} merupakan peluang transisi dari *state* ke-*i* kembali ke *state* yang sama, yaitu elemen diagonal pada matriks peluang transisi. Nilai p_{ii} ini mencerminkan tingkat persistensi suatu kondisi, di mana semakin besar nilainya, semakin tinggi kecenderungan sistem untuk tetap berada pada *state* tersebut dari satu waktu ke waktu berikutnya.

Berdasarkan nilai peluang transisi yang telah diperoleh sebelumnya, rata-rata lama bertahan untuk *state* Tidak Hujan (*state* 0) adalah sekitar 2,57 hari, sedangkan untuk Hujan Ringan (*state* 1) sekitar 1,88 hari. Sementara itu, Hujan Sedang (*state* 2) memiliki rata-rata durasi sekitar 1,04 hari dan Hujan Lebat (*state* 3) sekitar 1,12 hari. Hasil ini sejalan dengan nilai peluang transisi diagonal yang relatif lebih besar pada *state* Tidak Hujan dan Hujan Ringan, yang menunjukkan bahwa kedua kondisi tersebut memiliki kecenderungan untuk bertahan lebih lama dibandingkan *state* lainnya. Sebaliknya, nilai p_{ii} yang lebih kecil pada *state* Hujan Sedang dan Hujan Lebat mengindikasikan bahwa kedua kondisi ini kurang persisten dan cenderung segera berubah ke *state* lain. Dengan demikian, periode kering cenderung berlangsung selama beberapa hari berturut-turut, sedangkan kejadian hujan dengan intensitas sedang maupun lebat umumnya bersifat singkat dan sering kali hanya berlangsung sekitar satu hari sebelum bertransisi ke kondisi lain, yang dalam banyak kasus kembali menjadi hujan ringan atau bahkan tidak hujan.

Hasil distribusi *steady-state* yang diperoleh juga konsisten dengan distribusi frekuensi empiris dari data curah hujan harian yang menunjukkan dominasi kondisi tidak hujan dan hujan ringan di wilayah pengamatan MKG Itera selama periode Januari hingga Oktober 2025. Keselarasan antara distribusi peluang jangka panjang dan distribusi data aktual ini menunjukkan bahwa model Rantai Markov yang digunakan mampu merepresentasikan pola dinamika

curah hujan harian di wilayah penelitian dengan cukup baik.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis curah hujan harian di MKG Itera menggunakan model Rantai Markov, dapat disimpulkan bahwa pola curah hujan pada periode Januari hingga Oktober 2025 menunjukkan karakteristik yang fluktuatif dengan tingkat variasi yang cukup tinggi. Distribusi frekuensi menunjukkan bahwa kondisi Tidak Hujan dan Hujan Ringan mendominasi 88% hari pengamatan, sedangkan kejadian hujan sedang dan hujan lebat relatif jarang terjadi. Matriks peluang transisi memperlihatkan bahwa peluang transisi terbesar terjadi pada perpindahan dari Hujan Sedang ke Hujan Ringan, sementara peluang bertahan tertinggi terdapat pada kondisi Tidak Hujan dan Hujan Ringan. Hal ini menunjukkan adanya kecenderungan persistensi kondisi kering atau hujan ringan dalam beberapa hari berturut-turut. Analisis peluang keadaan jangka panjang (*steady-state probability*) menunjukkan bahwa dalam jangka panjang kondisi Tidak Hujan memiliki peluang terbesar, diikuti oleh Hujan Ringan, Hujan Sedang, dan Hujan Lebat. Hasil tersebut konsisten dengan distribusi empiris data pengamatan, sehingga matriks peluang transisi yang diperoleh mampu merepresentasikan dinamika curah hujan harian dengan baik. Secara keseluruhan, model Rantai Markov efektif digunakan untuk menggambarkan pola transisi intensitas curah hujan harian di wilayah MKG Itera serta memberikan gambaran mengenai kecenderungan kondisi iklim lokal dalam jangka panjang.

Konflik Kepentingan

Tidak ada konflik kepentingan yang dinyatakan.

Referensi

- [1] N. Sunarmi *et al.*, "Analisis faktor unsur cuaca terhadap perubahan iklim di Kabupaten Pasuruan pada tahun 2021 dengan metode Principal Component Analysis," *Newton-*

- Maxwell J. Phys., vol. 3, no. 2, hal. 56–64, 2022.
- [2] T. Zera, A. R. Fauziah, M. Nafian, dan A. Ramadhani, "Mapping of Peak Ground Acceleration (PGA) Values using the Donovan Model for Sumatran," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2243, no. 1, hal. 012031, Jun 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2243/1/012031.
- [3] R. Sandi, B. Sujatmoko, dan M. Sebayang, "Simulasi Data Curah Hujan Harian Menggunakan Stokastik Rantai MARKov dengan Orde 3 X 3 (Studi Kasus: Daerah Aliran Sungai Kampar)." Riau University.
- [4] S. K. Nasib, N. Nurwan, E. D. D. Yanuari, dan T. Macmud, "Karakteristik rantai markov pada data curah hujan bulanan stasiun djalaluddin," *JMPM J. Mat. dan Pendidik. Mat.*, vol. 7, no. 2, hal. 81–89, 2022.
- [5] R. D. Stern dan R. Coe, "A model fitting analysis of daily rainfall data," *J. R. Stat. Soc. Ser. A Stat. Soc.*, vol. 147, no. 1, hal. 1–18, 1984.
- [6] D. S. Wilks, "Interannual variability and extreme-value characteristics of several stochastic daily precipitation models," *Agric. For. Meteorol.*, vol. 93, no. 3, hal. 153–169, 1999.
- [7] L. Zhang dan V. P. Singh, "Bivariate flood frequency analysis using the copula method," *J. Hydrol. Eng.*, vol. 11, no. 2, hal. 150–164, 2006.
- [8] F. Yusof, L. M. Yung, dan Z. Yusop, "Tropical daily rainfall amount modelling using Markov Chain-Mixed Exponential (MCME)," *J. Teknol. (Sciences Eng.)*, vol. 74, no. 11, 2015.
- [9] M. Tettey, F. T. Oduro, D. Adedia, dan D. A. Abaye, "Markov chain analysis of the rainfall patterns of five geographical locations in the south eastern coast of Ghana," *Earth Perspect.*, vol. 4, no. 1, hal. 6, 2017.
- [10] N. Mawaddah, D. Permana, N. Amalia, dan A. Salma, "Analisis Pola Curah Hujan Di Kota Bengkulu Menggunakan Model Rantai Markov," *Imajiner J. Mat. dan Pendidik. Mat.*, vol. 7, no. 4, hal. 352–359, 2025.
- [11] E. M. Wimalasiri dan A. D. Ampitiyawatta, "Markov chain probability models to describe bi-modal rainfall pattern in Sri Lanka," *J. Agric. Sci. Lanka*, vol. 17, no. 2, 2022.
- [12] D. S. Wilks, *Statistical methods in the atmospheric sciences*, vol. 100. Academic press, 2011.
- [13] H. Ihsan, W. Sanusi, dan H. Hasriani, "Peramalan Pola Curah Hujan di kota makassar menggunakan model rantai markov," *J. Math. Comput. Stat.*, vol. 2, no. 1, hal. 19–30, 2019.
- [14] R. Douc, E. Moulines, P. Priouret, dan P. Soulier, *Markov chains*, vol. 4. Springer, 2018.
- [15] M. Charles, J. Grinstead, dan L. Snell, "Introduction to probability," *Am. Math. Soc.*, 1997.
- [16] U. F. Arshintan dan D. Ahmad, "Analisis Curah Hujan di Kota Padang dengan Menggunakan Rantai Markov," *J. Math. UNP*, vol. 2, no. 4, hal. 45–50, 2019.
- [17] S. M. Ross, *Introduction to probability models*. Academic press, 2014.
- [18] R. Michels dan R. Langrock, "Nonparametric estimation of bivariate hidden Markov models using tensor-product B-splines," *Stat. Modelling*, hal. 1471082X251335431, 2025.
- [19] P. C. Stern, B. K. Sovacool, dan T. Dietz, "Towards a science of climate and energy choices," *Nat. Clim. Chang.*, vol. 6, no. 6, hal. 547–555, 2016.