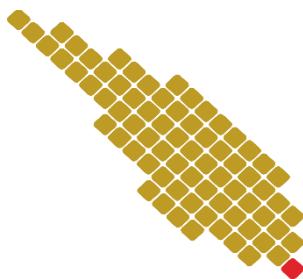


**PEMODELAN POLA CUACA DI ITERA MENGGUNAKAN
RANTAI MARKOV**



ITERA

Disusun Oleh Kelompok 5

Khaalishah Zuhra Alyaa Vanefi : 122450034

Najla Juwairia : 122450037

Abit Ahmad Oktarian : 122450042

Johannes Krisjon Silitonga : 122450043

**PROGRAM STUDI SAINS DATA
FAKULTAS SAINS
INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA
2025**

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik pola cuaca harian di kawasan ITERA, membangun model Rantai Markov untuk prediksi, menentukan matriks probabilitas transisi, serta menghitung peluang steady state kondisi cuaca jangka panjang. Data utama berupa hasil observasi langsung kondisi cuaca harian selama 14 hari di lingkungan kampus ITERA, dengan tiga state, yaitu Cerah, Berawan, dan Hujan. Analisis deskriptif menunjukkan dominasi kondisi cerah dan rendahnya frekuensi hujan di kawasan penelitian. Matriks probabilitas transisi diperoleh dari frekuensi perubahan state antar hari, dan validitas model diuji menggunakan uji Chi-square serta perhitungan steady state. Hasil analisis menunjukkan state cerah memiliki peluang persistence dan steady state tertinggi, dengan prediksi cuaca jangka pendek yang stabil pada kondisi cerah. Model Rantai Markov orde satu terbukti efisien, dengan distribusi steady state yang konsisten terhadap data empiris harian. Penerapan model ini dapat digunakan untuk mendukung perencanaan aktivitas kampus dan mitigasi risiko cuaca, serta layak untuk dikembangkan pada studi musiman dengan periode data lebih panjang.

Kata kunci: Rantai Markov, pola cuaca harian, matriks probabilitas transisi, steady state, ITERA.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cuaca merupakan keadaan atmosfer pada waktu tertentu di wilayah tertentu yang relatif sempit dan dalam jangka waktu singkat. Di Indonesia, khususnya di kawasan tropis seperti Provinsi Lampung, cuaca sangat tinggi dipengaruhi oleh berbagai fenomena atmosfer regional maupun global seperti *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) [1]. Institut Teknologi Sumatera (ITERA) yang berlokasi di Lampung Selatan memiliki karakteristik iklim dengan dua musim utama yaitu musim hujan dan musim kemarau, namun distribusi curah hujan menunjukkan fluktuasi signifikan dari tahun ke tahun [2].

Pemahaman pola cuaca sangat penting untuk berbagai aspek kehidupan kampus, termasuk perencanaan kegiatan akademik, non-akademik, pengelolaan infrastruktur, serta mendukung kegiatan pertanian dan pariwisata di sekitar wilayah ITERA [2]. Dampak dari keragaman curah hujan yang tinggi seringkali menimbulkan permasalahan serius seperti banjir, kekeringan, dan gangguan aktivitas sehari-hari [3]. Oleh karena itu, diperlukan metode peramalan cuaca yang dapat memberikan informasi prediktif untuk antisipasi dan perencanaan yang lebih baik [4].

Salah satu metode yang efektif untuk memodelkan perubahan cuaca adalah Rantai Markov (Markov Chain). Rantai Markov merupakan proses stokastik di mana probabilitas kejadian di masa depan hanya bergantung pada kondisi saat ini dan tidak bergantung pada kejadian sebelumnya [5]. Metode ini telah banyak digunakan dalam pemodelan cuaca harian di berbagai wilayah Indonesia seperti di Kota Ternate, Ambon, Bengkulu, dan Kabupaten Karo dengan hasil yang cukup akurat [6][7].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana karakteristik pola cuaca harian di kawasan ITERA?
- 2) Bagaimana bentuk matriks probabilitas transisi cuaca harian di ITERA menggunakan model Rantai Markov?
- 3) Apakah data cuaca harian di ITERA memenuhi sifat Markov?
- 4) Bagaimana peluang kondisi cuaca dalam jangka panjang (steady state) di kawasan ITERA?

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah:

- 1) Menganalisis karakteristik pola cuaca harian di kawasan ITERA
- 2) Membangun model Rantai Markov untuk memprediksi pola cuaca harian di ITERA
- 3) Menentukan matriks probabilitas transisi antar kondisi cuaca
- 4) Menghitung peluang steady state untuk kondisi cuaca jangka panjang

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

- 1) Manfaat Akademis: Memberikan kontribusi pada pengembangan aplikasi metode Rantai Markov dalam pemodelan cuaca di wilayah tropis Indonesia, khususnya di kawasan kampus.
- 2) Manfaat Praktis: Memberikan informasi prediktif mengenai pola cuaca yang dapat digunakan untuk Perencanaan kegiatan akademik dan non-akademik di kampus ITERA.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa batasan:

- 1) Periode pengamatan terbatas, yang mana data hanya mencakup 14 hari, belum merepresentasikan pola musiman tahunan.
- 2) Observasi hanya di satu titik area kampus, belum mencakup variasi mikroklimat di seluruh area ITERA
- 3) State sederhana, hanya 3 kategori state, tanpa perbedaan intensitas hujan atau tingkat berawan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan tabel penelitian terdahulu tentang pemodelan cuaca menggunakan rantai markov di Indonesia:

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Penulis	Objek/Metode	Hasil Utama
1.	Peramalan Cuaca Menggunakan Metode Rantai Markov (Studi Kasus Rekaman Cuaca Di Kantor BMKG Kota Ternate)	F. Nurhami ddin, F. M. Sulisa (2019)	Data harian, Markov	Hujan ringan dominan (>43%). Markov efektif prediksi cuaca harian.
2.	Model Rantai Markov dan Model ARIMA serta Kombinasinya dalam Memprediksi Curah Hujan di Kota Makassar	Syamsud din, Fachrudd in S. Nursam (2019)	Markov, ARIMA	Kolaborasi Markov+ARI MA tingkatkan akurasi prediksi curah hujan harian.
3.	Analisis Pola Curah Hujan di Kota Bengkulu Menggunakan Model Rantai Markov	N. Mawadd ah, D. Permana, N. Amalita, A. Salma (2025)	Data harian, Markov	Transisi state basah paling stabil, Markov cocok untuk analisis pola musiman Bengkulu.

2.2 Proses Stokastik

Proses stokastik adalah suatu keluarga variabel acak X_t , $t \in T$ di mana T merupakan himpunan indeks waktu. Semua kemungkinan nilai yang dapat terjadi pada variabel acak X_t disebut ruang keadaan (state space). Berdasarkan parameter waktunya, proses stokastik dibedakan menjadi

proses stokastik waktu diskrit jika $T=\{0,1,2,3,\dots\}$ dan proses stokastik waktu kontinu jika $T=[0,\infty)$ [8].

2.3 Rantai Markov

Rantai Markov adalah bentuk khusus dari proses stokastik yang memenuhi sifat Markov, yaitu probabilitas kejadian pada waktu $t+1$ hanya dipengaruhi oleh kejadian pada waktu t dan tidak dipengaruhi oleh kejadian sebelumnya. Secara matematis, Rantai Markov didefinisikan sebagai:

$$P(X_0 = i_0, \dots, X_{n-1} = i_{n-1}, X_n = i) = P(X_n = i) \quad (2.1)$$

Untuk semua $i, j, i_0, \dots, i_{n-1}$ dalam ruang state S dan semua n [6].

2.4 Matriks Probabilitas Transisi

Matriks probabilitas transisi adalah matriks yang memuat informasi perpindahan sistem dari suatu state ke state lainnya [9]. Elemen matriks P_{ij} menyatakan probabilitas transisi dari state i ke state j , dengan sifat:

$$P_{ij} \geq 0 \text{ untuk semua } i, j$$

$$\sum_j P_{ij} = 1 \text{ untuk semua } i$$

Matriks probabilitas transisi untuk sistem dengan n state dapat dituliskan sebagai:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

2.5 Peluang Steady State

Peluang steady state atau peluang keadaan tetap adalah kondisi di mana peluang pada setiap state tetap atau tidak berubah lagi seiring berjalannya waktu [6]. Vektor peluang steady state $\pi = [\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n]$ memenuhi persamaan:

$$\pi P = \pi \quad (2.3)$$

Dengan constraint:

$$\sum_{i=1}^n \pi_i = 1 \quad (2.4)$$

2.6 Metode Maximum Likelihood

Metode Maximum Likelihood digunakan untuk mengestimasi parameter matriks transisi berdasarkan data observasi [10]. Estimator untuk P_{ij} adalah:

$$\widehat{P}_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_k n_{ik}} \quad (2.5)$$

Di mana n_{ij} adalah jumlah transisi dari state i ke state j .

2.7 Uji Chi-Square

Uji Chi-Square digunakan untuk menguji apakah data cuaca memenuhi sifat Markov [8]. Statistik uji Chi-Square didefinisikan sebagai:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.6)$$

Di mana O_i adalah frekuensi observasi dan E_i adalah frekuensi yang diharapkan. Hipotesis nol ditolak jika $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{tabel}$ pada tingkat signifikan α .

2.8 Kategorisasi Cuaca

Berdasarkan standar BMKG, cuaca dikategorikan berdasarkan intensitas curah hujan harian:

Tabel 2.1 Kategorisasi Cuaca

Kategori Cuaca	Rentang Curah Hujan
Tidak Hujan	0 mm
Hujan Ringan	0.1 – 20 mm
Hujan Sedang	21 – 50 mm
Hujan Lebat	51 – 100 mm
Hujan Sangat Lebat	> 100 mm

Dalam pemodelan cuaca, kondisi dapat disederhanakan menjadi 3-4 state seperti Cerah, Berawan, Hujan Ringan, dan Hujan Lebat. Kategorisasi ini sangat penting dalam pemodelan cuaca karena memungkinkan penyederhanaan data hujan yang bersifat kontinu menjadi beberapa state yang mudah dianalisis [11]. Dengan memetakan curah hujan ke dalam kategori seperti Tidak Hujan, Hujan Ringan, Hujan Sedang, Hujan Lebat,

dan Hujan Sangat Lebat, kita dapat lebih mudah membangun model prediksi cuaca, misalnya menggunakan Markov Chain atau algoritma probabilistik lainnya. Selain itu, dalam praktik pemodelan cuaca, beberapa state bisa digabung agar model menjadi lebih sederhana dan lebih stabil [12]. Misalnya, Hujan Sedang dan Hujan Ringan bisa digabung menjadi satu state "Hujan Ringan-Sedang", sedangkan Hujan Lebat dan Hujan Sangat Lebat digabung menjadi "Hujan Lebat". Pendekatan ini membantu mengurangi kompleksitas model tanpa mengorbankan akurasi prediksi secara signifikan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Data dan Waktu Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif yang memanfaatkan data primer sebagai sumber utama. Data primer tersebut berupa hasil observasi kondisi cuaca yang dilakukan secara langsung di lingkungan kampus Institut Teknologi Sumatera (ITERA), Lampung Selatan. Pengumpulan data dilakukan selama 14 hari, yakni sejak 27 Oktober 2025 hingga 9 November 2025. Periode tersebut dipilih untuk mewakili kondisi cuaca pada masa peralihan musim, sehingga hasil pengamatan diharapkan memberikan gambaran yang lebih variatif mengenai fluktuasi cuaca harian. Observasi dilakukan secara rutin pada jam-jam tertentu setiap hari untuk memastikan konsistensi pencatatan dan mengurangi bias akibat perubahan kondisi lingkungan. Proses pengamatan dilakukan secara rutin empat kali dalam satu hari, yaitu pada pukul 07.00, 11.00, 15.00, dan 19.00 WIB. Pembagian waktu tersebut bertujuan untuk mewakili kondisi cuaca pada pagi, siang, sore, dan malam hari, sehingga data yang dihasilkan lebih komprehensif dan dapat menggambarkan pola harian perubahan cuaca di lingkungan kampus ITERA.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang diamati adalah kondisi cuaca harian berdasarkan pengamatan pada waktu observasi. Kondisi cuaca diklasifikasikan ke dalam tiga state cuaca yang umum digunakan, dimana setiap state memiliki kriteria yang menjadi acuan dalam menentukan kondisi cuaca pada saat pengamatan. Beberapa kategori state cuaca yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

State	Kode	Deskripsi	Kriteria Observasi
Cerah	C	Langit cerah, panas	Langit dominan biru, sinar matahari terang.
Berawan	B	Langit tertutup awan	Sinar matahari terhalang sebagian atau penuh
Hujan	H	Gerimis, hujan lebat	Adanya presipitasi (hujan ringan hingga lebat)

Pada Tabel 3.1 menunjukkan tiga kategori utama kondisi cuaca yang digunakan dalam penelitian, masing-masing direpresentasikan oleh kode tertentu untuk memudahkan pencatatan data. State Cerah (C) menggambarkan kondisi langit yang didominasi warna biru dengan paparan sinar matahari yang terang, menandakan minimnya tutupan awan. State Berawan (B) mengacu pada kondisi ketika langit tertutup awan sehingga sinar matahari terhalang sebagian atau sepenuhnya. Sementara itu, state Hujan (H) mencakup seluruh kondisi presipitasi, mulai dari gerimis hingga hujan lebat.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data cuaca dalam penelitian ini dilakukan menggunakan tahapan observasi yang disusun untuk memastikan konsistensi antar pengamat. Data cuaca dikumpulkan melalui tahapan berikut:

1) Penyusunan Protokol Observasi

Sebelum pengamatan dilakukan, peneliti merancang protokol observasi yang berisi definisi operasional tiap state cuaca serta format pencatatan. Protokol ini bertujuan menyamakan persepsi seluruh observer dalam menilai kondisi cuaca.

2) Penjadwalan dan Penugasan Pengamat

Setiap pengamat diberi jadwal observasi untuk menjaga objektivitas data.

3) Observasi Lapangan

Pengamatan dilakukan secara langsung pada area terbuka di lingkungan kampus ITERA. Observasi dilakukan empat kali sehari pada jam seragam, yaitu pukul 07:00, 11:00, 15:00, dan 19:00 WIB.

4) Pencatatan Hasil Observasi

Setiap hasil pengamatan dicatat dalam lembar observasi harian yang berisi informasi tanggal, waktu pengamatan, deskripsi cuaca, klasifikasi state (C/B/H), serta nama pengamat yang bertugas.

5) Verifikasi Data

Data diperiksa kelengkapan dan konsistensinya sebelum dilakukan analisis.

3.4 Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah yang tersusun secara sistematis, mulai dari pengolahan data awal hingga penyusunan model transisi cuaca. Langkah-langkah analisis tersebut meliputi:

- ### 1) Analisis Deskriptif

Pada tahap ini, semua observasi dihitung frekuensinya untuk mengetahui proporsi munculnya state cerah, berawan, dan hujan. Kemudian hasilnya disajikan dalam bentuk tabel distribusi.

- ## 2) Agregasi

Data

Harian

Menentukan state cuaca harian berdasarkan state dominan dari 4 waktu pengamatan per hari. Jika terdapat frekuensi yang sama, dipilih state dengan tingkat keparahan lebih tinggi (Hujan > Berawan > Cerah)

- ### 3) Penyusunan Tabel Frekuensi Transisi

Data harian selanjutnya digunakan untuk menghitung berapa kali suatu state berubah menjadi state lain pada hari berikutnya. Perhitungan ini menghasilkan matriks frekuensi transisi berukuran 3×3 .

- #### 4) Perhitungan Matriks Probabilitas Transisi

Probabilitas transisi dihitung menggunakan metode *Maximum Likelihood*, yaitu dengan membagi frekuensi transisi dari state i ke state j dengan total frekuensi perpindahan dari state i .

- ### 5) Validasi Model Rantai Markov

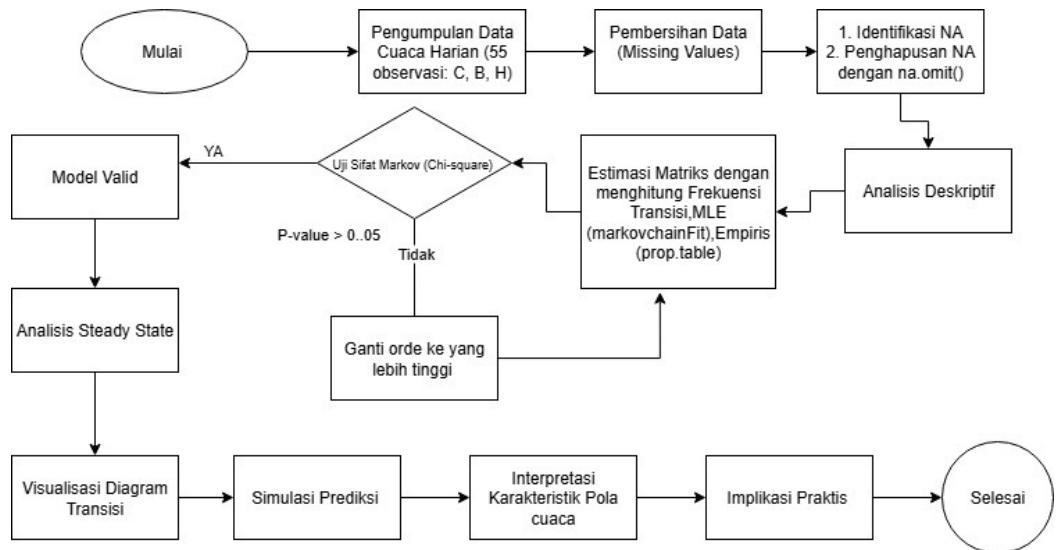
Memeriksa apakah matriks transisi memenuhi sifat stokastik dengan jumlah baris = 1 dan menganalisis pola transisi untuk memastikan konsistensi dengan teori.

- #### 6) Interpretasi Hasil

Menganalisis probabilitas transisi tertinggi dan terendah dan menghubungkan hasil dengan kondisi perubahan cuaca dari hari ke hari serta implikasinya terhadap pola cuaca di ITERA.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini menjelaskan tahapan-tahapan yang dilakukan mulai dari pengumpulan data hingga interpretasi hasil untuk membangun model rantai Markov pada pola cuaca.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

1) Pengumpulan Data

Proses dimulai dari pengumpulan data cuaca harian sebanyak 55 observasi, dengan kategori kondisi C (Cerah), B (Berawan), dan H (Hujan).

2) Pembersihan Data

Data yang telah dikumpulkan diperiksa dari nilai yang hilang (*missing values*). Identifikasi nilai NA dilakukan, lalu penghapusan missing values menggunakan fungsi `na.omit()`, sehingga hanya data bersih yang dianalisis.

3) Analisis Deskriptif

Data yang bersih kemudian dianalisis secara deskriptif untuk mendapatkan gambaran statistik dasar seperti frekuensi setiap state, pola umum, dan distribusi kejadian.

4) Estimasi Matriks Transisi

Estimasi matriks dilakukan dengan menghitung frekuensi transisi antar state, lalu menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) melalui fungsi seperti `markovchainFit` atau secara empiris memakai `prop.table`.

5) Uji Sifat Markov (*Chi-square*)

Keakuratan model diuji dengan uji sifat Markov (*Chi-square*) untuk menilai apakah transisi sehari sebelumnya sudah cukup untuk memprediksi kejadian berikutnya (*memoryless property*). Jika $p\text{-value} > 0.05$ (tidak signifikan), artinya model orde-1 valid diterapkan. Jika $p\text{-value} \leq 0.05$ (signifikan), maka model kurang tepat dan perlu dinaikkan tingkat orde (orde lebih tinggi, seperti orde-2) agar dapat menangkap dependensi lebih panjang antar hari.

6) Analisis Steady State dan Simulasi

Jika model valid, analisis steady state dilakukan untuk mengetahui probabilitas jangka panjang setiap kondisi cuaca. Simulasi prediksi dibuat berdasarkan model Markov yang telah valid.

7) Visualisasi, Interpretasi, dan Implikasi

Hasil analisis divisualisasikan dalam diagram transisi untuk membantu memahami pola perpindahan antar kondisi cuaca. Karakteristik pola cuaca diinterpretasi secara kualitatif, misalnya tentang dominasi kondisi cerah/berawan dan risiko kejadian hujan. Implikasi praktis model diberikan untuk mendukung perencanaan aktivitas kampus, mitigasi risiko, dan pengambilan keputusan berbasis data.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Pola Cuaca Harian di Kawasan ITERA

Analisis deskriptif menunjukkan distribusi kondisi cuaca harian di kawasan ITERA.

Tabel 4.1 Analisis Deskriptif

Kondisi Cuaca	Frekuensi	Proporsi
Cerah (C)	35 hari	63.60%
Berawan (B)	15 hari	27.30%
Hujan (H)	5 hari	9.10%
Total	55 hari	100%

Analisis deskriptif menunjukkan dominasi pola cuaca cerah di kawasan ITERA (Institut Teknologi Sumatera) , merefleksikan 63,6% dari total hari pengamatan. Sebagian besar aktivitas kampus diwarnai oleh kondisi cerah ini. Sementara itu, cuaca berawan tercatat menempati porsi signifikan kedua, yakni 27,3%. Sebaliknya, intensitas hujan tergolong sangat rendah, hanya membentuk 9,1% dari keseluruhan periode studi. Karakteristik iklim yang relatif kering dan rendahnya curah hujan ini memberikan keuntungan besar bagi perencanaan dan pelaksanaan kegiatan luar ruangan di lingkungan kampus. Meskipun demikian, kewaspadaan tetap harus ditingkatkan terhadap potensi perubahan cuaca mendadak untuk memastikan keberlanjutan dan keamanan semua aktivitas.

4.2 Matriks Probabilitas Transisi

Matriks Probabilitas Transisi (MPT) menggunakan Model Rantai Markov, yang secara kuantitatif memetakan kemungkinan perubahan status cuaca dari satu kondisi ke kondisi berikutnya.

Tabel 4.2 Matriks Probabilitas Transisi

	B	C	H
B	0.357	0.500	0.143
C	0.229	0.714	0.057
H	0.400	0.400	0.200

Tabel 4.3 Matriks Frekuensi Transisi

	B	C	H
B	5	7	2
C	8	25	2
H	2	2	1

Dalam penelitian ini, matriks probabilitas transisi dihitung menggunakan dua cara, yaitu metode Maximum Likelihood Estimation (MLE) melalui fungsi markov chain Fit dan metode empiris yang dihitung langsung dari frekuensi transisi. Kedua pendekatan tersebut menghasilkan nilai yang sama persis (Tabel 4.1 dan 4.2). Kesamaan ini menunjukkan bahwa perhitungan yang dilakukan sudah konsisten dan dapat dipercaya. Dasar dari kedua metode tersebut adalah matriks frekuensi transisi (Tabel 4.1), yang berisi jumlah kejadian nyata dari setiap perpindahan kondisi cuaca. Angka-angka ini kemudian diubah menjadi probabilitas dengan membagi setiap nilai pada baris tertentu dengan total frekuensi baris tersebut. Beberapa contoh perhitungan sederhana dapat menggambarkan proses ini. Misalnya, peluang cuaca Berawan berubah menjadi Cerah adalah $7 / 14 = 0.500$ $7/14=0.500$. Cuaca Cerah memiliki peluang $25 / 35 = 0.714$ $25/35=0.714$ untuk tetap Cerah keesokan harinya. Sedangkan dari Hujan ke Berawan memiliki peluang $2 / 5 = 0.400$ $2/5=0.400$.

Contoh-contoh ini membantu memperlihatkan bagaimana data mentah diterjemahkan menjadi angka probabilitas yang lebih informatif. Hasil matriks probabilitas transisi ini memberikan gambaran yang cukup jelas mengenai pola perubahan cuaca di kawasan ITERA. Kondisi Cerah, misalnya, menunjukkan sifat yang sangat stabil. Ada peluang 71.4% bahwa cuaca akan tetap Cerah pada hari berikutnya, dengan kemungkinan berubah menjadi Berawan sebesar 22.9% dan menjadi Hujan hanya 5.7%. Artinya, jika hari ini cerah, besar kemungkinan kondisi tersebut akan bertahan. Untuk cuaca Berawan, peluangnya cukup menarik. Kemungkinan berubah menjadi Cerah mencapai 50%, yang lebih tinggi daripada peluang tetap Berawan (35.7%) maupun berubah menjadi Hujan (14.3%). Pola ini menunjukkan bahwa kondisi berawan di wilayah ini cenderung membaik, bukan memburuk. Sementara itu, cuaca Hujan justru memperlihatkan kecenderungan untuk segera berubah. Baik menuju Cerah maupun Berawan memiliki peluang yang sama besar, yaitu 40%. Hanya 20% kemungkinan hujan akan berlanjut pada hari berikutnya. Dengan kata lain, hujan di

kawasan ini cenderung cepat mereda dan berganti dengan cuaca yang lebih baik.

Secara keseluruhan, matriks probabilitas transisi ini tidak hanya memberikan angka, tetapi juga membantu memahami bagaimana cuaca di ITERA berubah dari hari ke hari. Pola-pola ini penting karena dapat menjadi dasar dalam memodelkan, memprediksi, dan menginterpretasikan dinamika kondisi cuaca di masa mendatang.

4.3 Uji Sifat *Marcov*

Tabel 4.4 Parameter Marcov

Parameter	Nilai
Chi-square Statistic	4.997
Degrees of Freedom	11
P-value	0.931

Hasil uji Chi-square dengan p-value = 0.931 (jauh lebih besar dari $\alpha = 0.05$) menunjukkan bahwa data cuaca harian di kawasan ITERA memenuhi sifat Markov. Berdasarkan hasil uji sifat Markov, diperoleh bahwa hipotesis nol yang menyatakan bahwa data memenuhi sifat Markov tidak dapat ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa proses cuaca harian pada data ini dapat dianggap mengikuti sifat Markov, di mana kondisi cuaca pada hari ini sudah cukup untuk memprediksi kondisi cuaca pada hari berikutnya. Dengan demikian, informasi cuaca lebih dari satu hari sebelumnya tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap prediksi, sehingga tidak perlu dimasukkan dalam model. Temuan ini menegaskan bahwa model Rantai Markov orde pertama valid dan layak digunakan untuk memodelkan pola transisi cuaca harian di kawasan ITERA.

4.4 Analisis Steady State

Tabel 4.5 Probabilitas Kondisi Cuaca

Kondisi Cuaca	Probabilitas Steady State
Berawan (B)	28.1%
Cerah (C)	62.4%
Hujan (H)	9.5%

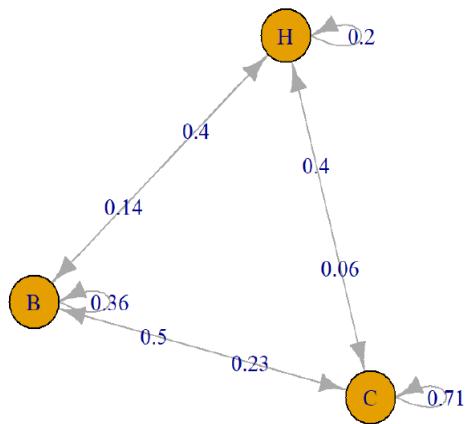
Steady state menggambarkan distribusi probabilitas jangka panjang dari setiap kondisi cuaca yang tidak lagi dipengaruhi oleh kondisi awal sistem. Berdasarkan hasil perhitungan, distribusi steady state menunjukkan bahwa dalam jangka panjang kawasan ITERA akan mengalami cuaca cerah sekitar 62,4% dari waktu pengamatan. Sementara itu, kondisi berawan muncul sekitar 28,1%, dan hujan hanya terjadi sekitar 9,5%. Nilai-nilai ini mencerminkan kecenderungan alami sistem cuaca di kawasan tersebut ketika proses telah mencapai keseimbangan.

Jika dibandingkan dengan data empiris, distribusi steady state menunjukkan konsistensi yang kuat. Proporsi cerah sebesar 62,4% sangat mendekati proporsi aktual yaitu 63,6%. Demikian pula, kondisi berawan pada steady state (28,1%) hampir identik dengan frekuensi empirisnya (27,3%), dan probabilitas hujan sebesar 9,5% juga selaras dengan data asli sebesar 9,1%. Kedekatan antara hasil model dan kondisi aktual ini mengindikasikan bahwa sistem cuaca telah berada dalam kondisi equilibrium dan model Rantai Markov yang digunakan mampu merepresentasikan dinamika cuaca dengan baik.

Secara praktis, temuan ini memberikan implikasi penting bagi perencanaan aktivitas di kampus ITERA. Dominasi probabilitas cuaca cerah memungkinkan perencanaan kegiatan luar ruang secara lebih optimal. Meski demikian, keberadaan peluang hujan, meskipun rendah, tetap perlu diperhitungkan terutama untuk kegiatan yang sensitif terhadap kondisi cuaca. Dengan demikian, model steady state ini berfungsi sebagai alat bantu prediktif yang efektif untuk mendukung pengambilan keputusan jangka panjang terkait aktivitas akademik maupun non-akademik.

4.5 Diagram Transisi State

Model Rantai Markov Pola Cuaca Harian ITERA



Gambar 4.1 Diagram Transisi State

Hasil analisis terhadap diagram transisi menunjukkan bahwa state Cerah (C) memiliki tingkat persistensi tertinggi, ditandai dengan probabilitas self-transition sebesar 0.714. Hal ini berarti kondisi cerah sangat cenderung bertahan ke hari berikutnya. State Berawan (B) juga memiliki peluang mempertahankan keadaannya, meskipun lebih rendah, yaitu 0.357. Sementara itu, state Hujan (H) menunjukkan persistensi paling lemah dengan probabilitas hanya 0.200, mengindikasikan bahwa kondisi hujan cenderung cepat berubah. Dominasi loop pada state Cerah memperlihatkan bahwa cuaca cerah merupakan kondisi yang paling stabil di kawasan ITERA. Dilihat dari transisi dominan, panah dengan bobot terbesar adalah transisi Cerah → Cerah sebesar 0.714, yang semakin menegaskan stabilitas cuaca cerah. Transisi Berawan → Cerah yang mencapai 0.500 menjadi transisi terbesar kedua, menggambarkan kecenderungan cuaca berawan untuk beralih menuju kondisi yang lebih baik. Menariknya, seluruh state memiliki probabilitas transisi menuju Cerah, sehingga state Cerah dapat dikategorikan sebagai attractor state dalam sistem. Pola transisi juga memperlihatkan asimetri yang jelas. Probabilitas Cerah → Berawan (0.229) jauh lebih kecil dibanding Berawan → Cerah (0.500), dan probabilitas Cerah → Hujan (0.057) sangat rendah bila dibandingkan Hujan → Cerah (0.400).

Asimetri ini mencerminkan bahwa cuaca lebih sering mengalami perbaikan daripada memburuk. Selain itu, state Hujan dapat dikategorikan sebagai

state transien karena probabilitas bertahannya rendah (0.200) dan probabilitas keluarnya tinggi (0.800), dengan peluang beralih ke Cerah atau Berawan masing-masing sebesar 0.400. Struktur sistem ini juga menunjukkan sifat irreducible chain, dimana setiap state dapat dicapai dari state lainnya. Tidak ada state yang terisolasi, sehingga sistem dijamin memiliki steady state yang unik. Secara praktis, kondisi ini memberikan beberapa implikasi penting. Jika hari ini cerah, kemungkinan besar (71,4%) cuaca akan tetap cerah esok hari. Cuaca berawan dapat dipandang sebagai kondisi peringatan karena masih terdapat peluang hujan sebesar 14,3%. Setelah hujan, cuaca sangat mungkin membaik dalam satu hari karena probabilitas keluar dari state Hujan mencapai 80%. Dominasi transisi menuju kondisi cerah dan tingginya peluang mempertahankan state ini juga menjelaskan mengapa steady state menunjukkan bahwa sekitar 62,4% hari di kawasan ITERA akan berada dalam kondisi cerah.

4.5 Prediksi Cuaca

Simulasi prediksi cuaca selama sepuluh hari ke depan dengan kondisi awal Cerah (C) menghasilkan urutan transisi berikut: C → C → B → C → B → B → B → B → C → C. Pola prediksi ini menggambarkan variasi kondisi cuaca yang realistik, dengan dominasi keadaan cerah dan berawan sebagaimana yang tercermin dalam karakteristik cuaca kawasan ITERA. Hasil ini juga konsisten dengan matriks probabilitas transisi dan distribusi steady state, sehingga memperkuat validitas model Rantai Markov dalam memproyeksikan pola cuaca jangka pendek.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- 1) Analisis karakteristik pola cuaca harian di ITERA menunjukkan dominasi kondisi cerah, dengan proporsi terbanyak sepanjang periode pengamatan dan tingkat state cerah yang paling tinggi.
- 2) Model Rantai Markov yang dibangun berdasarkan data observasi harian di ITERA valid digunakan untuk memprediksi pola transisi cuaca jangka pendek; uji Chi-square membuktikan data memenuhi sifat Markov sehingga model orde-1 sudah tepat.
- 3) Matriks probabilitas transisi antar kondisi cuaca memberikan gambaran kuantitatif bahwa peluang bertahan pada state cerah sangat tinggi, sedangkan state hujan dan berawan cenderung lebih mudah beralih ke cerah, mendukung pola cuaca lokal yang relatif stabil tanpa hujan berkepanjangan.
- 4) Perhitungan peluang steady state menunjukkan bahwa dalam jangka panjang kawasan ITERA cenderung mengalami cuaca cerah selama sekitar 62,4% waktu pengamatan.

5.2 Saran

- 1) Perlu dilakukan pengamatan data cuaca harian dalam periode lebih panjang (minimal satu tahun) agar model dapat menangkap variasi dan pola musiman secara lebih akurat serta meningkatkan validitas analisis karakteristik cuaca jangka panjang di ITERA.
- 2) Pengembangan model dapat dilakukan dengan menambah jumlah kategori state, misalnya dengan memisahkan intensitas hujan, atau menggabungkan data instrumental seperti curah hujan dan kelembaban untuk meningkatkan keakuratan dan objektivitas model transisi cuaca.
- 3) Sebaiknya model Rantai Markov diintegrasikan dengan pendekatan lain seperti ARIMA atau Markov orde lebih tinggi, terutama jika pola transisi lebih kompleks ditemukan pada data periode mendatang, sehingga hasil prediksi menjadi lebih optimal sesuai studi sebelumnya.
- 4) Hasil model sebaiknya diimplementasikan dalam sistem informasi prediksi cuaca kampus berbasis web dan digunakan sebagai alat bantu perencanaan kegiatan civitas akademika, serta dikoordinasikan dengan BMKG untuk memperkuat validasi data sekaligus memperluas pemanfaatan model.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Fadila, N. Y. Sudiar, P. Razi, and Z. Zulhendra, “Pengaruh ENSO dan IOD Terhadap Curah Hujan di Indonesia,” *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 9, no. 1, pp. 2507–2516, Jan. 2025, Accessed: Nov. 26, 2025. [Online]. Available: <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/24829>
- [2] “Repository Institut teknologi Sumatera.” Accessed: Nov. 26, 2025. [Online]. Available: <https://repo.itera.ac.id/depan/submit/SB2507150006>
- [3] E. Efendi and A. Purwandani, “KORELASI ASIAN MONSOON, EL NINO SOUTH OSCILATION DAN INDIAN OCEAN DIPOLE TERHADAP VARIABILITAS CURAH HUJAN DI PROPINSI LAMPUNG,” *Aqusains: Jurnal Ilmu Perikanan dan Sumberdaya Perairan*, vol. 2, no. 1, pp. 107–112, Aug. 2013, Accessed: Nov. 26, 2025. [Online]. Available: <https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JPB/ARTICLE/view/213>
- [4] S. Sasake, Y. A. Lesnussa, and A. Z. Wattimena, “Peramalan Cuaca Menggunakan Metode Rantai Markov (Studi Kasus : Cuaca Harian Di Kota Ambon),” *Jurnal Matematika*, vol. 11, no. 1, p. 1, Jun. 2021, doi: 10.24843/JMAT.2021.V11.I01.P131.
- [5] “View of ANALISIS PREDIKSI CURAH HUJAN DI KOTA METRO DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY MARKOV CHAIN.” Accessed: Nov. 26, 2025. [Online]. Available: <https://journal.unpas.ac.id/index.php/pendas/article/view/34672/17934>
- [6] S. Sasake, Y. A. Lesnussa, and A. Z. Wattimena, “Peramalan Cuaca Menggunakan Metode Rantai Markov (Studi Kasus : Cuaca Harian Di Kota Ambon),” *Jurnal Matematika*, vol. 11, no. 1, p. 1, Jun. 2021, doi: 10.24843/JMAT.2021.V11.I01.P131.
- [7] K. Rantai Markov Pada Data Curah Hujan Bulanan Stasiun Djalaludin *et al.*, “Karakteristik Rantai Markov pada Data Curah Hujan Bulanan Stasiun Djalaluddin,” *JMPM: Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika*, vol. 7, no. 2, pp. 81–89, Sep. 2022, doi: 10.26594/JMPM.V7I2.2654.
- [8] S. R. Wahyudi, R. F. SARI, and R. WIDYASARI, “PENENTUAN POLA PENYEBARAN CURAH HUJAN HARIAN KABUPATEN KARO DENGAN MENGGUNAKAN RANTAI MARKOV ORDE-N,” *Jurnal Riset dan Aplikasi Matematika (JRAM)*, vol. 5, no. 2, pp. 144–157, Oct. 2021, doi: 10.26740/JRAM.V5N2.P144-157.
- [9] “View of PENENTUAN CURAH HUJAN MENGGUNAKAN RANTAI MARKOV DI BEBERAPA DAERAH PROVINSI BANTEN.” Accessed: Nov. 26, 2025. [Online]. Available: <https://openjournal.unpam.ac.id/index.php/sm/article/view/28077/13393>
- [10] F. Sains and D. Teknologi, “PENERAPAN TEORI RANTAI MARKOV PADA DATA PROGRAM STUDI MATEMATIKA”.
- [11] “Penerapan Estimasi Curah Hujan Dengan Me | PDF.” Accessed: Nov. 26, 2025. [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/509505120/PENERAPAN-ESTIMASI-CURAH-HUJAN-DENGAN-ME>

- [12] I. G. J. A. PUTRA and I. M. A. O. GUNAWAN, “KLASIFIKASI CURAH HUJAN HARIAN MENGGUNAKAN LEARNING VECTOR QUANTIZATION (STUDI KASUS : STASIUN PENGAMATAN NGURAH RAI),” *Majalah Ilmiah Universitas Tabanan*, vol. 19, no. 2, pp. 183–187, 2022, Accessed: Nov. 26, 2025. [Online]. Available: <https://ejournal.universitastabanan.ac.id/index.php/majalah-ilmiah-untab/article/view/208>