

Markov Chain Application to Daily Rainfall Data in Semarang City

Nahda Maesya Tsani, Dony Permana*, Yenni Kurniawati, Admi Salma

Departemen Statistika, Universitas Negeri Padang, Indonesia

*Corresponding author: donypermana@fmipa.unp.ac.id

Submitted : 05 Juli 2024
Revised : 02 Agustus 2024
Accepted : 12 Agustus 2024

ABSTRACT

Rainfall is a measure of the amount of water that falls on the earth's surface in a given period of time. High rainfall can cause flooding in certain areas, while low rainfall can leave areas vulnerable to drought. Semarang City is one of the largest cities in Java Island that is often hit by floods. Efforts can be made to anticipate the risk of flooding, one of which is by studying the pattern of rainfall. This study will determine the chances of rainfall transition in Semarang City in steady state conditions using Markov chains. The results are expected to be used to anticipate the risk of flooding in Semarang City. The probability of daily rainfall transition in Semarang City in each state for the next period of time is 90.5% chance of staying in the light rain state, 7.97% chance of staying in the medium rain state and 1.50% chance of staying in the heavy rain state.

Keywords: Markov Chains, Rainfall, Steady State



This is an open access article under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2022 by author and Universitas Negeri Padang.

I. PENDAHULUAN

Curah hujan adalah ukuran banyaknya air jatuh ke permukaan bumi selama rentang waktu tertentu. Intensitas hujan yang tinggi pada beberapa wilayah dapat menyebabkan banjir, sementara yang rendah dapat membuat suatu wilayah rentan terhadap kekeringan. Fenomena ini berkaitan dengan perubahan pada cuaca dan juga iklim. Akibat dari perubahan pada cuaca dan iklim ini menjadi semakin parah pada wilayah yang memiliki kerentanan yang tinggi. Menurut Suryadi dkk (2017), kawasan perkotaan adalah suatu wilayah yang rentan terhadap perubahan cuaca dan iklim.

Umumnya, di kota besar yang berada di wilayah pesisir pantai mudah terkena dampak dari perubahan iklim berupa banjir dan rob. Rob adalah banjir karena pasangannya air laut yang menimpa daerah dengan ketinggian lebih rendah di sekitar pantai (Kurniawan, 2003). Di Indonesia, salah satu wilayah yang ada mengalami banjir rob yaitu Kota Semarang.

Kota Semarang ialah ibukota dari Provinsi Jawa Tengah dan juga termasuk kota besar yang ada di Pulau Jawa. Kota ini berada di pesisir utaranya Pulau Jawa dengan topografi wilayah pantai yang tidak terlalu curam dan kebanyakan wilayahnya itu memiliki tinggi yang hampir sama dengan permukaan laut. Kondisi ini memungkinkan sering terjadinya banjir di Kota Semarang (Handoyo dkk, 2016). Selain itu, penyebab terjadinya banjir di Kota Semarang adalah buruknya sistem drainase di kota tersebut. Hal ini sebagian besar disebabkan oleh tidak adanya saluran air, sampah serta bangunan yang menghalangi saluran (Wismarini dan Ningsih, 2010). Menurut Fertrisinanda dan Wahyono (2012) sistem drainase adalah sekumpulan bangunan air yang dirancang untuk mengurangi kelebihan air pada suatu kawasan agar dapat berfungsi secara optimal. Pemanfaatan lahan yang tidak tertib ini sangat memperumit masalah drainase di wilayah perkotaan.

Banjir menimbulkan banyak dampak negatif diantaranya kerugian materi, rusaknya sarana dan prasarana, tersebarnya berbagai penyakit dan terganggunya aktivitas masyarakat di luar ruangan (Arshinta dan Ahmad, 2019). Upaya yang dapat dilakukan dalam mengantisipasi resiko terjadinya banjir salah satunya dengan mempelajari pola curah hujan yang turun. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan rantai markov untuk menghitung prediksi curah hujan berdasarkan pola perubahannya dalam historis waktu yang lalu adalah model stokastik rantai Markov. Rantai Markov sudah pernah digunakan untuk mensimulasikan terjadinya curah hujan di Kota Padang dalam penelitian yang dilakukan oleh Arshinta dan Ahmad, penelitian tersebut menggunakan data curah hujan dasarian di delapan stasiun pengamatan curah hujan di Kota Padang (Arshinta dan Ahmad, 2019). Penelitian lain menggunakan rantai Markov untuk mensimulasikan curah hujan juga pernah dilakukan oleh Ihsan dengan data curah hujan bulanan di tiga stasiun penakar curah hujan yang diperoleh dari BMKG wilayah IV Makassar (Ihsan, 2019). Rantai Markov ini digambarkan oleh

matriks peluang transisinya. Matriks peluang transisi adalah suatu matriks yang memuat informasi perpindahan sistem dari satu keadaan ke keadaan lainnya. Peluang untuk berada pada keadaan tertentu di masa depan tidak bergantung pada keadaan awal disebut sebagai peluang keadaan tetap (*steady state*).

Pada penelitian ini dilakukan analisis dengan metode rantai Markov untuk memperoleh peluang transisi curah hujan yang turun di Kota Semarang. Dengan begitu, dapat diketahui pola curah hujan harian yang terjadi di Kota Semarang. Sehingga dapat mengurangi resiko terjadinya banjir di Kota Semarang.

II. METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian dan Sumber Data

Data dalam penelitian ini yaitu data sekunder yang diambil dari *website* Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), yaitu data curah hujan harian di Kota Semarang pada tiga stasiun yaitu Stasiun Klimatologi Jawa Tengah, Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Emas, dan Stasiun Meteorologi Ahmad Yani. Periode data pada penelitian ini dimulai dari 1 Januari 2022 sampai 31 Desember 2023.

B. Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode analisis rantai Markov dengan bantuan *software* R Studio. Tahapan analisisnya adalah sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data sekunder curah hujan harian di Kota Semarang periode 1 Januari 2022 sampai 31 Desember 2023 dari *website* BMKG.
2. Melakukan analisis deskriptif untuk melihat gambaran awal pola curah hujan harian di Kota Semarang.
3. Memberi label pada data berdasarkan sifat hujan, yaitu “hujan kecil” diberi label satu, “hujan sedang” diberi label dua dan “hujan lebat” diberi label tiga.
4. Menentukan peluang transisi P_{ij} dengan cara setiap elemen perpindahan curah hujan dibagi dengan jumlah perpindahan elemen pada baris.

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=0}^m a_{ij}} \quad (1)$$

5. Membuat matriks peluang transisi satu langkah $P = [P_{ij}]$
6. Membuat bagan transisi satu langkah.
7. Menggunakan persamaan Chapman Kolmogorov, ditentukan matriks peluang transisi n langkah $P^{(n)}$ dari matriks peluang transisi satu langkah.

$$\begin{aligned} P_{ij}^{n+m} &= P\{X_{n+m} = j | X_0 = i\} \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} P\{X_{n+m} = j, X_n = k | X_0 = i\} \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} P\{X_{n+m} = j | X_n = k, X_0 = i\} P\{X_n = k | X_0 = i\} \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} P_{ik}^n P_{kj}^m \end{aligned} \quad (2)$$

dimana:

P_{ij} : Peluang dari state i ke state j

P_{ik} : Peluang dari state i ke state k.

P_{kj} : Peluang dari state k ke state j.

i, j : 1, 2, ..., M

m : 1, 2, ..., n - 1

n : m + 1, m + 2, ...

8. Menghitung peluang *steady state* menggunakan persamaan *steady state* berikut

$$\lim_{n \rightarrow \infty} p_{ij}^{(n)} = \pi_j > 0 \quad (3)$$

Dimana π_j harus memenuhi persamaan *steady state* yaitu:

$\pi_j = \sum_{i=0}^M \pi_j p_{ij}$; $j = 0, 1, \dots, M$ dengan $\sum_{i=0}^M \pi_j = 1$. π_j merupakan peluang keadaan tetap dari rantai Markov.

9. Membuat kesimpulan peluang curah hujan yang akan datang di Kota Semarang.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

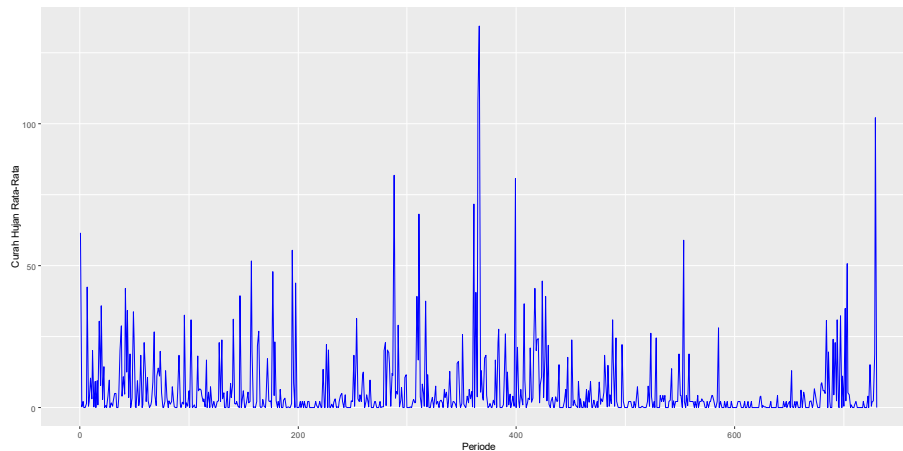
A. Eksplorasi Data

Pada analisis ini menggunakan data curah hujan harian di Kota Semarang dari 1 Januari 2022 hingga 31 Desember 2023 yang diperoleh dari tiga stasiun pengamatan curah hujan yaitu Stasiun Klimatologi Jawa Tengah, Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Emas Semarang, dan Stasiun Meteorologi Ahmad Yani Semarang.

Tabel 1. Statistik Deskriptif

N	Mean	Varians	Std. Dev.	Min	Max
730	6,125	167,5536	12,94425	0,000	134,433

Kolom N pada Tabel 1 menunjukkan data sebanyak 730 hari. Selanjutnya rata-rata curah hujan harian Kota Semarang selama dua tahun (2022-2023) sebesar 6,125 mm, artinya kondisi curah hujan harian Kota Semarang tergolong hujan ringan atau bisa dikatakan curah hujan harian di Kota Semarang rendah. Data curah hujan harian ini sangat beragam karena memiliki nilai variansi sebesar 167,5536. Kondisi curah hujan berada dalam rentang 0 mm hingga 134,433 mm. Statistik deskriptif tersebut menunjukkan bahwa curah hujan harian di Kota Semarang memiliki pola yang tidak teratur dan sulit diprediksi karena data sangat beragam dan sebarannya luas. Hal ini digambarkan menggunakan diagram garis pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Garis Curah Hujan Harian di Kota Semarang

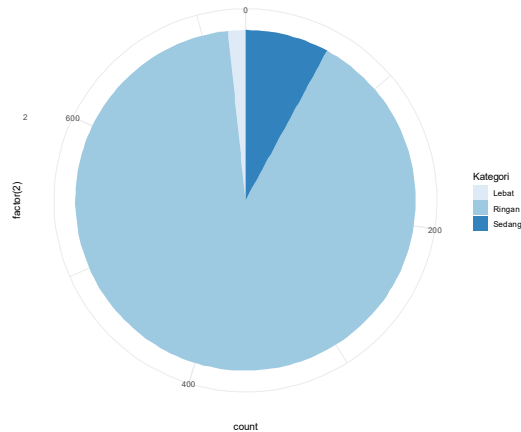
B. Analisis Data

Curah hujan harian di Kota Semarang dibagi ke dalam tiga keadaan (*state*) yaitu 1,2 dan 3 yang menyatakan curah hujan dengan *state* ringan, sedang dan besar. BMKG mengelompokkan curah hujan dengan intensitas dimana *state* 1 untuk hujan ringan berada pada rentang nilai 0-20 milimeter per hari, *state* 2 untuk hujan sedang berada pada rentang nilai 21-50 milimeter per hari, dan *state* 3 untuk hujan lebat dengan nilai berada diatas 50 milimeter per hari.

Tabel 2. Kategori *State* Curah Hujan Harian di Kota Semarang

<i>State</i>	Kategori	Intensitas Curah Hujan (mm)	Jumlah (hari)
1	Hujan Ringan	0-20	660
2	Hujan Sedang	21-50	58
3	Hujan Lebat	>50	12

Berdasarkan Tabel 2 diketahui sebagian besar data terkategori pada *state* 1 yaitu kondisi hujan ringan dengan jumlah hari sebanyak 660 hari. Artinya di Kota Semarang sebagian besar mengalami kondisi hujan ringan pada rentang waktu dua tahun (2022-2023). Sedangkan pada *state* 2 dan 3 memiliki jumlah hari yang sangat kecil yaitu 58 dan 12 hari. Berdasarkan pembagian tersebut, dapat dilihat bahwa Kota Semarang merupakan daerah dengan curah hujan cukup rendah. Tabel 2 dapat digambarkan dengan diagram batang seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Lingkaran Pembagian *State* Curah Hujan Harian di Kota Semarang

Intensitas hujan bervariasi setiap hari ada beberapa yang tetap di *state* semula, sementara yang lain berubah ke *state* lain. Perpindahan dari satu *state* ke *state* lainnya dapat dihitung nilai peluangnya menggunakan persamaan (1) seperti pada Tabel 3.

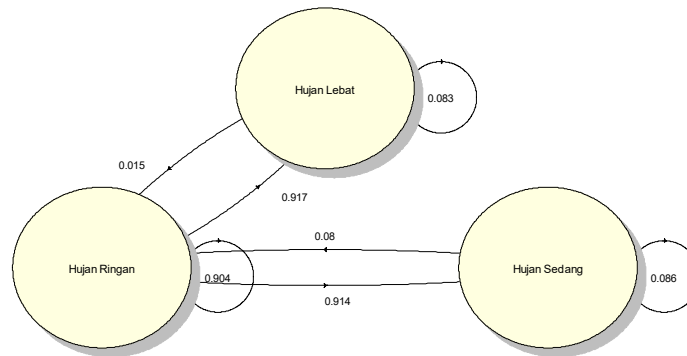
Tabel 3. Peluang Transisi *State* *i* ke *State*

<i>State</i> (i)	<i>State</i> (j)		
	1	2	3
1	0,9044006	0,08042489	0,01517451
2	0,9137931	0,08620690	0,00000000
3	0,9166667	0,00000000	0,08333333

Nilai peluang transisi curah hujan harian di Kota Semarang pada Tabel 3 yang tertinggi adalah P_{31} atau peluang transisi keadaan hujan lebat pada hari ini dan hujan ringan pada hari berikutnya yaitu sebesar 91,6%. Peluang tersebut mengindikasikan bahwa curah hujan harian di Kota Semarang pada saat kondisi hujan lebat akan berpeluang paling besar untuk kembali ke kondisi hujan ringan pada hari selanjutnya. Nilai peluang pada Tabel 3 dapat disajikan ke dalam bentuk matriks berukuran 3×3 disebut sebagai matriks peluang transisi satu langkah sebagai berikut.

$$P^{(1)} = \begin{bmatrix} 0,9044006 & 0,08042489 & 0,01517451 \\ 0,9137931 & 0,08620690 & 0,00000000 \\ 0,9166667 & 0,00000000 & 0,08333333 \end{bmatrix}$$

Diagram transisi pada Gambar 3 menyajikan matriks peluang transisi satu langkah, dimana transisi ditunjukkan oleh tanda panah dan *state* ditunjukkan oleh lingkaran.



Gambar 3. Diagram Transisi

$$P^{(1)} = \begin{bmatrix} 0,9044006 & 0,08042489 & 0,01517451 \\ 0,9137931 & 0,08620690 & 0,00000000 \\ 0,9166667 & 0,00000000 & 0,08333333 \end{bmatrix}$$

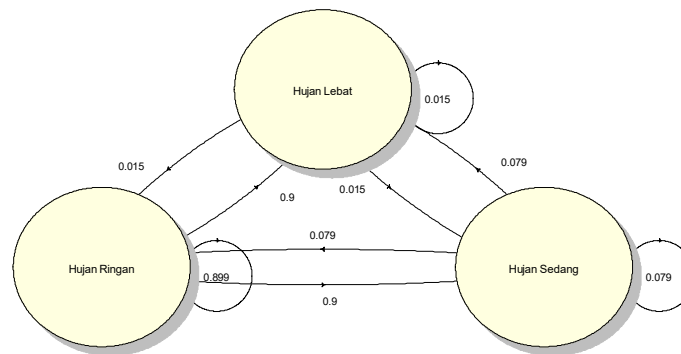
$$P^{(2)} = P^{(1)} \cdot P^{(1)} = \begin{bmatrix} 0,9053421 & 0,07966950 & 0,01498838 \\ 0,9052103 & 0,08092334 & 0,01386636 \\ 0,9054228 & 0,07372281 & 0,02085441 \end{bmatrix}$$

$$P^{(3)} = P^{(2)} \cdot P^{(1)} = \begin{bmatrix} 0,9053328 & 0,07968010 & 0,01498715 \\ 0,9053308 & 0,07977759 & 0,01489165 \\ 0,9053388 & 0,07917394 & 0,01547721 \end{bmatrix}$$

⋮

$$P^{(8)} = P^{(7)} \cdot P^{(1)} = \begin{bmatrix} 0,9053328 & 0,07968028 & 0,01498689 \\ 0,9053328 & 0,07968028 & 0,01498689 \\ 0,9053328 & 0,07968028 & 0,01498689 \end{bmatrix}$$

Dengan menggunakan persamaan Chapman-Kolmogorov pada persamaan (2), diperoleh bahwa pada n-langkah yang ke-8 ($P^{(8)}$) terjadi *steady state*, karena matriks peluang transisi berikutnya tidak bergantung pada matriks peluang transisi sebelumnya. Dengan begitu, peluang *steady state* diperoleh dengan melakukan iterasi peluang transisi n-langkah hingga tercapai kondisi seimbang.



Gambar 4. Diagram Transisi pada Kondisi *Steady State*

Berdasarkan matriks peluang transisi sudah mencapai kondisi seimbang dan berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa peluang *steady state* curah hujan harian di Kota Semarang untuk keadaan hujan ringan sebesar 0,9053328 atau 90,5%, hujan sedang sebesar 0,07968028 atau 7,97%, dan hujan lebat sebesar 0,01498689 atau 1,50%.

IV. KESIMPULAN

Hasil analisis menggunakan metode rantai Markov untuk menentukan peluang transisi curah hujan harian di Kota Semarang menunjukkan bahwa peluang transisi tertinggi adalah dari kondisi hujan lebat ke hujan ringan, yaitu sebesar 91,6%. Hal ini mengindikasikan bahwa saat curah hujan harian di Kota Semarang sedang dalam kondisi hujan lebat, kemungkinan besar akan berubah menjadi hujan ringan pada hari berikutnya. Dalam kondisi *steady state*, peluang untuk berada dalam masing-masing keadaan adalah 90,5% untuk tetap berada dalam keadaan hujan ringan, 7,97% untuk hujan sedang, dan 1,50% untuk hujan lebat dalam jangka waktu ke depan. Hal ini memberikan gambaran tentang pola curah hujan yang dapat diharapkan di Kota Semarang dalam jangka waktu tertentu, serta membantu dalam mengantisipasi risiko banjir yang mungkin terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arshinta, U. F., dan Ahmad, D. (2019). Analisis Curah Hujan di Kota Padang dengan Menggunakan Rantai Markov. *Journal of Mathematics UNP*, 4(4).
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2024). data online – pusat database – bmkgs. https://dataonline.bmkg.go.id/data_iklim. Diakses online pada tanggal 25 Januari 2024.

- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2024). Probabilistik Curah Hujan 20mm (tiap 24 jam). <https://www.bmkg.go.id/cuaca/probabilistik-curah-hujan.bmkg>. Diakses online pada tanggal 29 Februari 2024.
- Fertrisinanda, F., dan Wahyono, H. (2012). Pengaruh Saluran Drainase Terhadap Pencemaran Lingkungan Permukiman Di Sekitar Kawasan Industri Genuk Kota Semarang (The Influences of Drainage to Residential Pollution Surrounding of Industrial Area Genuk-Semarang City). *Jurnal Teknik PWK*, 1(1).
- Handoyo, G., Suryoputro, A. A., dan Subardjo, P. (2016). Genangan Banjir Rob Di Kecamatan Semarang Utara. *Jurnal Kelautan Tropis*, 19(1), 55-59.
- Hillier, F.S. dan Lieberman, G.J. (2010). *Introduction to Operation Research, Ninth Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Ihsan, H., Sanusi, W., dan Hasriani, H. (2019). Peramalan Pola Curah Hujan Di Kota Makassar Menggunakan Model Rantai Markov. *Journal of Mathematics, Computations, and Statistics*, 2(1), 19-30.
- Kurniawan, L. (2003). Kajian Banjir Rob di Kota Semarang (Kasus Dadapsari). *Alami: Jurnal Teknologi Reduksi Risiko Bencana*, 8(2), 195594.
- Ross, S.M. (2019). *Introduction to Probability Models Twelfth Edition*. Academic Press, Inc. New York.
- Suryadi, Y., Sugianto, D. N., dan Hadiyanto, H. (2017). "Identifikasi Perubahan Suhu dan Curah Hujan serta Proyeksinya di Kota Semarang". In *Proceeding Biology Education Conference: Biology, Science, Enviromental, and Learning* (Vol. 14, No. 1, pp. 241-246).
- Wisnarini, T. D., dan Ningsih, D. H. U. (2010). Analisis Sistem Drainase Kota Semarang Berbasis Sistem Informasi Geografi dalam Membantu Pengambilan Keputusan bagi Penanganan Banjir. *Dinamik*, 15(1).