

Prediksi Frekuensi Probabilitas Curah Hujan di Jambi Menggunakan Rantai Markov serta *Modul Tree Forecasting* Berbantuan *Software Qm-V5*

Prediction of Rainfall Probability Frequency in Jambi by Markov Chain and Tree Forecasting Module Using Qm-V5 Software

Nyimas Nina Alyarahma^{1*}, M. Rizki Alfaris², Silvia Nur'Adilah³

^{1,2,3} Prodi Matematika, Universitas Jambi Indonesia

*email: ninaalvarahma@gmail.com

Abstrak

Curah hujan merupakan salah satu unsur cuaca yang datanya diperoleh dengan cara menghitung jumlah air yang jatuh di permukaan tanah datar selama periode tertentu. Kondisi ketidak pastian curah hujan setiap harinya terjadi karena mengalami perpindahan dari kondisi yang berbeda. Oleh karena itu, perlu adanya teori untuk menentukan peluang curah hujan pada waktu yang akan datang. Data terdiri dari 3 stasiun BMKG yang ada di Provinsi Jambi dengan selang waktu 11 tahun, yaitu tahun 2007 hingga 2017. Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan Rantai Markov dan *Modul Tree Forecasting (Time Series Analysis)* didapatkanlah hasil bahwa jumlah rata-rata curah hujan di Provinsi Jambi pada masing-masing stasiun untuk rentang waktu 11 tahun, yaitu pada stasiun Sultan Thaha Jambi adalah 1.964,95 mm, pada stasiun Depati Parbo Kerinci adalah 1.299,37 mm dan pada stasiun Klimatologi Jambi adalah 2.164,35 mm. Dengan berbantuan *software QM-V5* didapatkan hasil prediksi curah hujan dengan rentang waktu 2018-2026 untuk 3 stasiun.

Kata Kunci: Frekuensi, Probabilitas, Curah Hujan, Rantai Markov, *Modul Tree Forecasting*.

Abstract

Rainfall is one of the weather elements whose data is obtained by calculating the amount of water that falls on the flat land surface during a certain period. The condition of uncertainty in rainfall every day occurs because it experiences displacement from different conditions. Therefore, there is a need for a theory to determine the probability of rainfall in the future. The data consists of 3 BMKG stations in Jambi Province with an interval of 11 years, in 2007 to 2017. Based on the results of research using the Markov Chain, it was found that the average amount of rainfall in Jambi Province in each station for a period of 11 years, namely at the Sultan Thaha Jambi station it was 1,964.95 mm, at the Depati Parbo Kerinci station it was 1,299.37 mm and at the Jambi Climatology station it was 2,164.35 mm. With the help of the QM-V5 software, the results of rainfall predictions with a time span of 2018-2026 are obtained for the three stations.

Keywords: Frequency, Probability, Rainfall, Markov Chain, *Modul Tree Forecasting*.

Pendahuluan

Indonesia memiliki daerah yang dilalui garis khatulistiwa dan sebagian besar daerah di Indonesia merupakan daerah tropis, walaupun demikian beberapa daerah di Indonesia memiliki intensitas hujan yang cukup besar (Wibowo 2008). Ada berbagai teori pembagian iklim yang dipakai oleh peneliti seperti pembagian berdasarkan diversifikasi tanaman, letak geografis, temperatur dan kelembaban, serta pola curah hujan. Untuk yang terakhir saja (dengan pola curah hujan) telah berbagai cara dikembangkan seperti berdasarkan jumlah akumulatif curah hujan dalam skala mm, jumlah hari hujan dalam setahun dan pola curah hujan tahunan (Aldrian 2001). Curah hujan merupakan parameter meteorologi yang sangat berpengaruh dalam kehidupan. Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang berada di equator sehingga mendapatkan penyinaran matahari yang maksimal. Oleh karena itu, Indonesia memiliki penguapan dan intensitas curah hujan yang cukup tinggi. Saat ini, pengamatan secara In-Situ sangat kurang representatif untuk digunakan sebagai prakiraan karena jangkauannya yang sangat sempit sehingga memerlukan instrumen pendukung yang dapat memberikan gambaran yang lebih baik terkait distribusi hujan dan sebagai penunjang akurasi prakiraan, salah satunya adalah satelit (Sharifi, Steinacker, and Saghafian 2016).

Turunnya hujan biasanya tidak lepas dari pengaruh kelembapan udara yang memacu jumlah titik-titik air yang terdapat pada udara. Curah hujan di Indonesia didominasi oleh adanya pengaruh beberapa fenomena, antara lain sistem *Monsun Asia-Australia*, *Equatorial*, *El-Nino*, sirkulasi Timur-Barat (*Walker Circulation*) dan Utara-Selatan (*Hadley Circulation*) serta beberapa sirkulasi karena pengaruh lokal (Affandi, Lubis, and Septiadi 2012). Peningkatan curah hujan ini dapat membuat beberapa daerah terkena banjir, salah satunya adalah Provinsi Jambi. Jambi merupakan salah satu provinsi di Sumatera yang dikenal dengan iklim tropis, sumber daya alam yang kaya dan keanekaragaman hayati, tetapi juga rentan terhadap perubahan iklim. Gejala perubahan iklim, seperti kenaikan suhu, perubahan intensitas dan waktu curah hujan, perubahan musim hujan/kering, dan kenaikan permukaan air laut, akan mengancam daya dukung lingkungan dan aktivitas semua sektor pembangunan. Untuk itu, diperlukannya prediksi atau pemantauan yang berkelanjutan mengenai iklim dan klimatologi dari daerah provinsi jambi terutama curah hujannya agar dapat mengetahui besaran dan intensitas hujan yang turun sehingga nantinya dapat mencegah hal-hal yang tidak diinginkan terjadi. Kondisi ketidak pastian curah hujan setiap harinya disebabkan karena mengalami perpindahan dari kondisi yang sama ke kondisi yang berbeda. Banyaknya kemungkinan perpindahan tersebut terjadi perlu diketahui (A Pratiwi 2012). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengolah data-data curah hujan di Provinsi Jambi

dengan menggunakan metode Rantai Markov dengan bantuan software QM-V5 agar dapat memprediksi perubahan curah hujan pada masa yang akan datang.

Landasan Teori

Frekuensi

Kata “frekuensi” berasal dari bahasa Inggris, yaitu frequency yang berarti “kekerapan”, “keseringan”. Dalam statistik, frekuensi mengandung arti seberapa kali munculnya variabel yang dinyatakan dengan angka dalam deretan angka tersebut (Rahayu and Abdurrahman 2012).

Probabilitas

Secara umum, probabilitas dapat dipandang melalui dua jenis interpretasi. Interpretasi pertama, menyatakan bahwa probabilitas merupakan tingkat kepercayaan akan suatu hal. Hal ini dapat terjadi berdasarkan tingkat pemikiran rasional serta informasi yang tersedia dalam penilaian probabilitas tersebut. Oleh karena itu, berdasarkan interpretasi pertama ini, kita cukup kesulitan dalam menjelaskan konsep mengenai probabilitas dari suatu kejadian. Sebaliknya, interpretasi kedua menyatakan bahwa probabilitas dari suatu kejadian merupakan frekuensi relatif dari suatu eksperimen. Hal ini bermakna bahwa kita dapat menghitung probabilitas dari suatu kejadian berdasarkan jumlah hasil (outcome) dari suatu eksperimen, dan selanjutnya kita membaginya dengan total jumlah hasil yang mungkin muncul dari eksperimen tersebut. Pada pembahasan di bab ini, kita akan memfokuskan pada interpretasi kedua dari probabilitas, yaitu probabilitas merupakan frekuensi relatif dari suatu eksperimen (Syarifudin 2021).

Curah Hujan

Curah hujan merupakan salah satu unsur cuaca yang datanya diperoleh dengan cara menghitung jumlah air yang jatuh di permukaan tanah datar selama periode tertentu. Cuaca itu sendiri merupakan perubahan suhu, angin, curah hujan dan pancaran sinar matahari dari hari ke hari diseluruh tempat di bumi. Atau singkatnya cuaca itu adalah apa yang saat ini sedang terjadi di udara. Oleh karena itu, karena perubahan-perubahan yang terjadi di udara ini kita perlu memprediksikan suatu probabilitas dan frekuensi dari cuaca, salah satunya curah hujan. Curah hujan adalah banyak air atau volume air yang dihasilkan dari hujan yang dinyatakan dalam mm. Prediksi atau pengukuran curah hujan dapat dilakukan setiap hari secara kontinu dari tahun ketahun. Kondisi ketidakpastian curah hujan setiap harinya karena mengalami perpindahan dari kondisi yang berbeda. Oleh karena itu, perlu adanya teori untuk menentukan peluang curah hujan pada waktu akan datang.

Rantai Markov

Salah satu teori yang sesuai dalam menentukan peluang curah hujan yang akan datang adalah menggunakan rantai markov (B Pratiwi 2012). Rantai markov adalah suatu model stokastik yang diperkenalkan pertama kali oleh seorang matematikawan Rusia yang bernama A.A. Markov pada awal abad ke-20. Dalam analisis markov yang dihasilkan adalah suatu informasi probabilistik yang dapat digunakan untuk membantu dalam pembuatan keputusan. Jadi, analisis ini bukan suatu teknik optimasi melainkan suatu teknik deskriptif. Analisis Markov merupakan suatu bentuk khusus dari model probabilistik yang lebih umum dikenal dengan proses Stokastik (Sitindaon 2010). Dengan menggunakan analisis proses markov, dimungkinkan untuk memodelkan fenomena stokastik dalam dunia nyata yang berkembang menurut waktu, seperti curah hujan.

Matriks Peluang Transisi

Rantai Markov terdefinisi oleh matriks peluang transisinya. Matriks peluang transisi adalah suatu matriks yang memuat informasi yang mengatur perpindahan sistem dari state satu ke state yang lainnya (Langi 2011). Matriks peluang transisi sering disebut juga matriks stokastik karena peluang transisi p adalah tetap dan tidak bergantung pada waktu t , dimana p adalah peluang transisi satu langkah yang bergerak dari keadaan i ke keadaan j . Matriks peluang transisi juga merupakan matriks persegi. Melalui matriks peluang transisi maka dapat ditentukan state pada rantai Markov.

Modul *Tree Forecasting (Time Series Analysis)*

Selain metode Rantai Markov, dapat dilakukan dengan menggunakan metode lainnya yaitu *Modul Tree Forecasting (Time Series Analysis)*. *Forecasting* berarti peramalan yang dilakukan guna untuk memprediksikan sesuatu hal dimasa depan.

Menurut Sofyan (2013), ada beberapa metode yang ada dalam modul *tree forecasting*, yaitu:

1. Metode Smoothing: digunakan untuk mengatur data masa lalu sesuai dengan musiman data yang terjadi, dengan cara merata-ratakan sederetan data hingga memiliki jarak dengan jumlah data yang cenderung atau hampir seimbang.
2. Metode Proyeksi Kecenderungan Regresi: merupakan metode peramalan berdasarkan garis kecenderungan, sehingga dapat diproyeksikan hal-hal yang akan diteliti pada masa yang akan datang.
3. Metode Musiman (*seasonal*): metode ini sangat dipengaruhi oleh faktor musiman, dimana menggambarkan pola penjualan yang berulang setiap periodenya.

4. Metode *Trend*: Metode ini terjadi bila data memiliki kecenderungan untuk naik atau turun terus menerus.
5. Metode Dekomposisi: merupakan metode peramalan yang ditentukan dengan kombinasi dari fungsi yang ada sehingga metode ini baru dapat digunakan jika didekatkan dengan fungsi linear atau siklis dan kemudian dibagi atas waktu baik dalam kuartalan sementara ataupun berdasarkan pola data yang ada.

Metode Penelitian

Data-data yang digunakan pada penelitian ini adalah data kuantitatif yang dimana merupakan data curah hujan tahunan yang di ambil dari tiga sumber data yang berbeda untuk wilayah Provinsi Jambi yaitu, dari Sultan Thaha Jambi, Depati Parbo Kerinci dan Klimatologi Jambi. Tempat penelitian yang dilakukan adalah dengan tiga tempat berbeda yang menjadi pengamatan di wilayah Provinsi Jambi. Data untuk penelitian ini diambil pada rentang tahun 2007 hingga 2017.

Table 1. Data Curah Hujan Provinsi Jambi

| Tahun | Curah Hujan (Mm) | | |
|-------|------------------|-----------|-----------|
| | Stasiun 1 | Stasiun 2 | Stasiun 3 |
| 2007 | 2.225,00 | 1.942,00 | 2.394,00 |
| 2008 | 185,80 | 115,00 | 189,50 |
| 2009 | 2.296,00 | 989,00 | 3.144,00 |
| 2010 | 3.030,00 | 1.912,00 | 3.030,00 |
| 2011 | 2.295,00 | 1.454,00 | 2.061,00 |
| 2012 | 1.928,50 | 1.709,00 | 1.726,00 |
| 2013 | 2.093,60 | 1.314,80 | 2.609,30 |
| 2014 | 1.782,00 | 1.016,50 | 1.970,00 |
| 2015 | 1.718,60 | 1.017,50 | 1.435,50 |
| 2016 | 1.673,00 | 1.015,60 | 2.247,00 |
| 2017 | 2.387,00 | 1.807,70 | 3.001,60 |

Dalam menentukan probabilitas, lakukan praktikum pada data-data yang telah dikumpulkan pada cuaca tahunan di provinsi Jambi, yaitu data curah hujan. Model Stokastik umumnya di formulasikan dengan menggunakan konsep *Discrete Time Markov Chain*, *Continue*

Times Markov Chain and Stochastic Differential Equation (SDE) (Ndi 2018). Analisis frekuensi juga memperoleh probabilitas untuk terjadinya suatu peristiwa dalam bentuk curah hujan.

Menurut Susilawati, Sufri, and Mardhotillah (2022), langkah-langkah analisis rantai markov yang akan dilakukan sebagai berikut:

1) Perhitungan Nilai Peluang Transisi

Formula yang dapat digunakan dalam menghitung peluang transisi adalah sebagai berikut:

$$P(A) = \frac{n(A)}{n(S)} \tag{1}$$

Hasil daripada nilai peluang transisi dapat dinyatakan dalam bentuk matriks peluang transisi berdasarkan pada persamaan sebagai berikut:

Tabel 2. Matriks Peluang Transisi

| State | 0 | 1 | ... | M |
|-------|------------|------------|-----|------------|
| 0 | P_{00}^n | P_{01}^n | ... | P_{00}^n |
| 1 | P_{10}^n | P_{11}^n | ... | P_{1m}^n |
| ⋮ | | | ... | ⋮ |
| M | P_{M0}^n | P_{M1}^n | ... | P_{MM}^n |

2) Perkiraan Curah Hujan di setiap untuk setiap tahunnya Untuk memperkirakan curah hujan kedepannya dapat menggunakan formula yaitu:

$$X_n = P^{(n)}x_0 \tag{3}$$

Kemudian hasilnya dapat diperoleh dengan menggunakan matriks peluang transisi berdasarkan rumus:

$$P^{(n)} = P \times P \times \dots \times P = P^n \tag{4}$$

Hasil dan Pembahasan

Rata-Rata Curah Hujan

Berdasarkan dari data yang didapatkan, diketahui bahwa rentang curah hujan tahun 2007 sampai 2017 pada Stasiun 1 adalah Sultan Thaha Jambi, Stasiun 2 adalah Depati Parbo Kerinci dan Stasiun 3 adalah Klimatologi Jambi adalah sebagai berikut beserta dengan rata-rata pada setiap Stasiun.

Tabel 3. Total dan Rata-rata Curah Hujan Pada Setiap Stasiun

| Tahun | Total Curah Hujan | | |
|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| | Stasiun 1 | Stasiun 2 | Stasiun 3 |
| 2007 | 2.225,00 | 1.942,00 | 2.394,00 |
| 2008 | 185,8 | 115 | 189,5 |
| 2009 | 2.296,00 | 989 | 3.144,00 |
| 2010 | 3.030,00 | 1.912,00 | 3.030,00 |
| 2011 | 2.295,00 | 1.454,00 | 2.061,00 |
| 2012 | 1.928,50 | 1.709,00 | 1.726,00 |
| 2013 | 2.093,60 | 1.314,80 | 2.609,30 |
| 2014 | 1.782,00 | 1.016,50 | 1.970,00 |
| 2015 | 1.718,60 | 1.017,50 | 1.435,50 |
| 2016 | 1.673,00 | 1.015,60 | 2.247,00 |
| 2017 | 2.387,00 | 1.807,70 | 3.001,60 |
| Rata-rata | 1.964,95 | 1.299,37 | 2.164,35 |

Pada tabel 5 diketahui bahwa dari hasil pengamatan pada tiap-tiap Stasiun didapatkan data yaitu rata-rata curah hujan pada tahun 2007 hingga 2017 yaitu:

- a) Pada pengamatan Stasiun 1, yaitu Sultan Thaha, menunjukkan bahwa curah hujan pada tahun 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017 adalah 2.225mm, 186mm, 2.296mm, 3.030mm, 2.295mm, 1.928mm, 2.094mm, 2.094mm, 1.782mm, 1.718mm, 1.673mm, 2.287mm dan 2.337,6mm.
- b) Pada pengamatan Stasiun 2, yaitu Depati Parbo, menunjukkan bahwa curah hujan pada tahun 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017 adalah 1.942mm, 115mm, 989mm, 1.912mm, 1.454mm, 1.709mm, 1.315mm, 1.186mm, 1.0187mm, 2.009mm, dan 1.807,7mm.
- c) Pada pengamatan Stasiun 3, yaitu Klimatologi Jambi, menunjukkan bahwa curah hujan pada tahun 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017 adalah 2.394mm, 189,5mm, 3.144mm, 3.030mm, 2.061mm, 1.726mm, 2.609mm, 1.970mm, 1.436mm, 2.247mm, 3.002mm.

Analisis Peluang Transisi Curah Hujan

Dalam mencari mencari peluang transisi curah hujan, dapat digunakan cara dengan membagi setiap nilai nilai masing-masing pada Stasiun dan tahunnya, lalu membaginya dengan 15 jumlah nilai sampel dari rentang tahun 2007 hingga tahun 2017 pada tiap-tiap Stasiun dengan menggunakan persamaan (1).

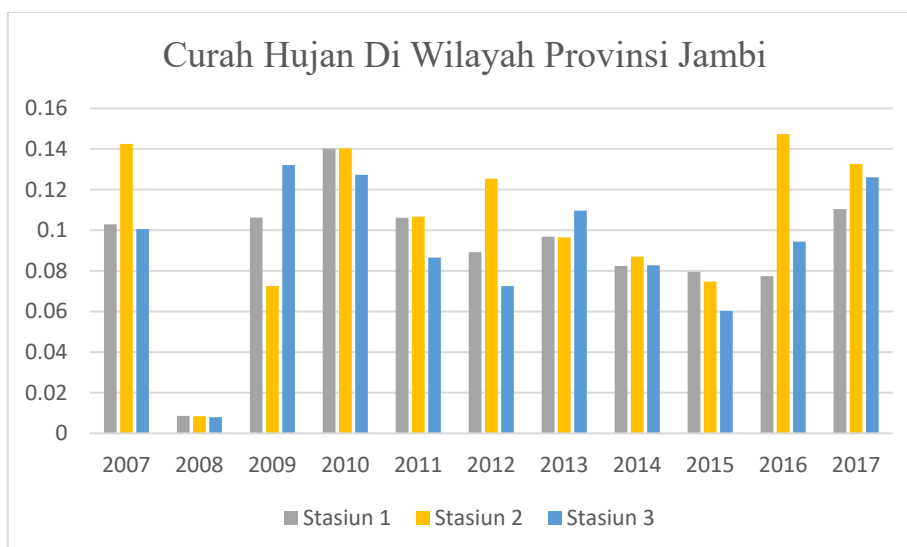
Table 4. Peluang Transisi Curah Hujan

| TAHUN | LOKASI PENGAMATAN | | |
|-------|-------------------|----------|----------|
| | 0 | 1 | 2 |
| 0 | 0,10294 | 0,142479 | 0,100555 |
| 1 | 0,008596 | 0,008437 | 0,00796 |
| 2 | 0,106225 | 0,07256 | 0,132057 |
| 3 | 0,140184 | 0,140278 | 0,127269 |
| 4 | 0,106179 | 0,106676 | 0,086568 |
| 5 | 0,089223 | 0,125384 | 0,072497 |
| 6 | 0,096861 | 0,096463 | 0,109598 |
| 7 | 0,082445 | 0,087013 | 0,082746 |
| 8 | 0,079511 | 0,074732 | 0,060295 |
| 9 | 0,077402 | 0,147394 | 0,09438 |
| 10 | 0,110435 | 0,132626 | 0,126076 |

Pada tabel 6 menunjukkan bahwa nilai-nilai peluang transisi dengan menggunakan persamaan (1), peluang transisi dari state 0 menuju state 0 diperoleh peluang sebesar 0,10294. Selanjutnya peluang transisi dari state 0 menuju state 1 diperoleh 0,142479 dan begitu seterusnya. Kemudian hasil dari nilai tersebut dijadikan matriks, hingga membentuk matriks P yaitu:

$$P = \begin{bmatrix} 0.1029 & 0.1425 & 0.1006 \\ 0.0086 & 0.0084 & 0.0080 \\ 0.1062 & 0.0726 & 0.1321 \\ 0.1402 & 0.1403 & 0.1273 \\ 0.1062 & 0.1067 & 0.0866 \\ 0.0892 & 0.1254 & 0.0729 \\ 0.0968 & 0.0965 & 0.1096 \\ 0.0824 & 0.0870 & 0.0827 \\ 0.0795 & 0.5747 & 0.0603 \\ 0.0774 & 0.1474 & 0.0944 \\ 0.1104 & 0.1326 & 0.1261 \end{bmatrix}$$

Pada matriks P yang telah di cari, peluang curah hujan di wilayah provinsi Jambi pada tiap-tiap Stasiun di tahun yang berbeda, yaitu curah hujan pada tahun 2007 sampai 2017 untuk masing-masing Stasiun pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Curah Hujan di Wilayah Provinsi Jambi Tahun 2007-2017

Prediksi Curah Hujan Menggunakan Software QM-V5

Dengan menggunakan bantuan dari Software QM-V5, Menggunakan modul Tree Forecasting (Time Series Analysis) dan method Linear Trend Line Model didapatkan prediksi curah hujan dari tahun 2018 hingga 2026 untuk masing-masing Stasiun, seperti pada table 7 dibawah ini:

Tabel 7. Prediksi Curah Hujan Tahun 2018-2026

| Prediksi | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Stasiun 1 | 2091,618 | 2112,736 | 2133,855 | 2154,973 | 2176,091 | 2197,209 | 2218,327 | 2239,446 | 2260,564 |
| Stasiun 2 | 1359,109 | 1369,036 | 1378,964 | 1388,891 | 1398,818 | 1408,746 | 1418,673 | 1428,6 | 1438,528 |
| Stasiun 3 | 2413,473 | 2454,991 | 2496,51 | 2538,028 | 2579,546 | 2621,064 | 2662,583 | 2704,101 | 2745,619 |

Simpulan

Berdasarkan dari hasil prediksi curah hujan dengan menggunakan rantai markov, dapat disimpulkan bahwa rata-rata curah hujan pada masing-masing Stasiun yaitu pada Stasiun 1 adalah 1.965mm, pada Stasiun 2 adalah 1.299mm dan pada Stasiun 3 adalah 3.002mm. Dan dari data yang diperoleh, didapatkan bahwa hasil peluang transisi dapat dijabarkan pada matriks peluang transisi dengan masing-masing Stasiun pada rentang tahun 2007 hingga 2017, yaitu menunjukkan bahwa nilai-nilai peluang transisi dengan menggunakan persamaan (1) peluang transisi dari state 0 menuju state 0 diperoleh peluang sebesar 0,10294. Selanjutnya peluang transisi dari state 0 menuju state 1 diperoleh 0,142479 dan begitu seterusnya. Dengan menggunakan bantuan dari Software QM-V5, menggunakan modul Tree Forecasting (Time Series Analysis) dan method Linear Trend Line Model di dapatkan hasil prediksi curah hujan dari tahun 2018 hingga 2026

untuk masing-masing Stasiun seperti pada Stasiun 1 tahun 2018 yaitu 2091,618 lalu pada Stasiun 1 tahun 2019 yaitu 2112,736, dan begitu seterusnya hingga tahun 2026 untuk Stasiun 1, Stasiun 2, dan Stasiun 3.

Ucapan Terima kasih

Ucapan terimakasih diberikan kepada semua pihak yang telah berperan dalam penulisan artikel ini yang berjudul **“Prediksi Frekuensi Probabilitas Curah Hujan Di Jambi Menggunakan Rantai Markov Serta Modul Tree Forecasting Berbantuan Software Qm-V5”** sehingga prediksi yang dilakukan ini dapat di tuangkan ke dalam bentuk tulisan dan dapat diinformasikan kepada para pembaca.

Daftar Rujukan

- [1] Affandi, Rully, Atika Lubis, and Deni Septiadi. 2012. “Karakteristik Pola Curah Hujan Di Wilayah Sekitar Teluk (Studi Daerah NAbire Provinsi Papua Dan Fakfak Papua Barat).” *jurnal Matematika dan Sains* 17(2): 47–54.
- [2] Aldrian, Edvin. 2001. “Pembagian Iklim Indonesia Bedasarkan Pola Curah Hujan Denga Metoda ‘Double Correlation.’” *Sains& Teknologi Modifikasi Cuaca* 2(1): 11–18.
- [3] Badan Pusat Statistik Provinsi Jambi [Online]. Available: <https://jambi.bps.go.id/> [Accessed 18 April 2022]
- [4] Hillier, F. S. and G. J, Lieberman. 2008. Introduction to Operation Research Eighth Edition Jilid 2. Jogjakarta:Andi
- [5] Langi, Y. A. R. 2011. “Penentuan Klasifikasi State Pada Rantai Markov Dengan Menggunakan Nilai Eigen Dari Matriks Peluang Transisi.” *Jurnal Ilmiah Sains* 11(1): 124.
- [6] Lumbangaol, Pendi. "Rekomendasi Pupuk Kelapa Sawit."
- [7] Ndi, Meksianis. 2018. *Pemodelan Matematika Dinamika Populasi Dan Penyebaran Penyakit: Teori Aplikasi Dan Numerik*. Yogyakarta: Deepubkish.
- [8] Pratiwi, R. Y. 2012. “Pemodelan Curah Hujan Dengan Campuran Rantai Markov Dan Model Deret Waktu.” *Jurnal Matematika FMIPA Universitas Brawijaya*.
- [9] Rahayu, Kariadinata, and Maman Abdurrahman. 2012. *Dasar-Dasar Statistik Pendidikan*. Bandung: Pustaka Setia.
- [10] Ross, S.M., 1996. Stochastic Processes, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [11] Serfozo, Richard. 2009. Basic of Applied Stochastic Processes. Berlin:Springer.
- [12] Sharifi, E., R. Steinacker, and B. Saghafian. 2016. “Assessment of GPM-IMERG and Other Precipitation Product Againts Gauge Data under Different Topographic and Climatic Condition in Iran.” *Preliminary Result* 8(2): 135.
- [13] Sitindaon, W. B. 2010. Skripsi *Analisa Perpindahan Merek Handphone Dengan Rantai Markov*. Medan: Fakultas Pertanian USU.
- [14] Sofyan, D.K. (2013). *Perencanaan & Pengendalian Produksi*. Lhoksemawe NAD: Graha Ilmu.
- [15] Susilawati, Sufri, and Bunga Mardhotillah. 2022. “Time Series Analysis Curah Hujan Kabupaten Muaro Jambi.” *Jurnal Engineering* 4(1): 8–17.

- [16] Syaifudin, Wawan Hafid. 2021. *El-Markazi Pengantar Teori Probabilitas Dan Statistika*. Bengkulu: Elmarkazi.
- [17] Wibowo, H. 2008. *Desain Prototipe Alat Pengukur Curah Hujan Jarak Jauh Dengan Pengendal Komputer*. Jember: Universitas Jember.
- [18] Yerizon and Nasution, M. L. (2003). "Diktat Pengantar Stokhastik", Diktat FMIPA: 8–9.