

Prediksi Hasil Produksi Kopi Provinsi di Pulau Kalimantan Menggunakan Analisis Rantai Markov

Reynaldy Hutabarat

Universitas Negeri Medan

Korespondensi penulis: jhutabarat8@gmail.com

Satria Rizky Silaban

Universitas Negeri Medan

E-mail: satriarizkysilaban@mhs.unimed.ac.id

Septi Melani Putri Tambunan

Universitas Negeri Medan

E-mail: septitambunan@mhs.unimed.ac.id

Abstract. *This research discusses the prediction of coffee production outcomes in Kalimantan using Markov chain analysis. A Markov chain is an analytical technique that can be used to predict future changes based on past changes. The aim of this study is to determine the predicted coffee production results in Kalimantan from 2023 to 2025 based on Markov chain analysis. Based on the results of the Markov chain analysis of coffee production data in Kalimantan from 2018 to 2022, it is concluded that the predicted coffee production results in 2024 are as follows: West Kalimantan Province is expected to produce 3.5632 thousand tons, Central Kalimantan Province 0.3275 thousand tons, South Kalimantan Province 1.3727 thousand tons, East Kalimantan Province 0.1934 thousand tons, and North Kalimantan Province 0.1539 thousand tons. Furthermore, in 2025, the coffee production in West Kalimantan Province is predicted to reach 3.5935 thousand tons, Central Kalimantan Province 0.3304 thousand tons, South Kalimantan Province 1.3857 thousand tons, East Kalimantan Province 0.1952 thousand tons, and North Kalimantan Province 0.1554 thousand tons.*

Keywords: *Prediction, Coffee Production, Markov Chain.*

Abstrak. Penelitian ini membahas tentang prediksi hasil produksi kopi di Kalimantan menggunakan analisis rantai Markov. Rantai Markov adalah salah satu teknik analisis yang dapat digunakan untuk memprediksi perubahan di masa mendatang berdasarkan perubahan di masa lalu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prediksi hasil produksi kopi di Kalimantan pada tahun 2023 hingga 2025 berdasarkan analisis rantai Markov. Berdasarkan hasil analisis rantai Markov dari data hasil produksi kopi di Kalimantan tahun 2018 hingga 2022, diperoleh kesimpulan bahwa prediksi hasil produksi kopi pada tahun 2024, hasil produksi kopi di Provinsi Kalimantan Barat diprediksi sebesar 3,5632 ribu ton, Provinsi Kalimantan Tengah sebesar 0,3275 ribu ton, Provinsi Kalimantan Selatan sebesar 1,3727 ribu ton, Provinsi Kalimantan Timur sebesar 0,1934 ribu ton, dan Provinsi Kalimantan Utara sebesar 0,1539 ribu ton. Selanjutnya, pada tahun 2025, hasil produksi kopi di Provinsi Kalimantan Barat diprediksi mencapai 3,5935 ribu ton, Provinsi Kalimantan Tengah sebesar 0,3304 ribu ton, Provinsi Kalimantan Selatan sebesar 1,3857 ribu ton, Provinsi Kalimantan Timur sebesar 0,1952 ribu ton, dan Provinsi Kalimantan Utara sebesar 0,1554 ribu ton.

Kata Kunci: *Prediksi, Produksi Kopi, Rantai Markov.*

LATAR BELAKANG

Kopi merupakan salah satu komoditas unggulan dalam sektor pertanian di Indonesia, dengan kontribusi yang signifikan terhadap perekonomian nasional. Indonesia merupakan produsen kopi terbesar keempat di dunia setelah Brasil, Vietnam, dan Kolombia (Wibowo, 2019). Meskipun terkenal dengan kekayaan sumber daya alam seperti hutan dan tambang,

Pulau Kalimantan menyimpan potensi besar yang tersembunyi, yaitu produksi kopi. Hal ini didukung oleh kondisi agroklimat yang ideal dan penerapan praktik pertanian modern yang semakin meluas (Hanafiah et al., 2020). Namun, memprediksi hasil produksi kopi di wilayah ini masih menjadi sebuah tantangan. Variabilitas iklim, perubahan penggunaan lahan, dan fluktuasi harga pasar global menjadi faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan (Muller et al., 2019).

Salah satu contoh produksi kopi di Kalimantan Barat telah berlangsung secara turun-temurun di kalangan masyarakat setempat. Namun, hingga kini belum ada inisiatif besar dari Pemerintah Daerah maupun pihak swasta yang berfokus pada pengembangan produk kopi. Selama ini, pengelolaan kopi masih dilakukan secara tradisional oleh masyarakat (Utomo, 2014). Pemanfaatan analisis Rantai Markov dalam prediksi hasil produksi kopi di Provinsi-provinsi Kalimantan dapat memberikan beberapa keuntungan. Pertama, metode ini memungkinkan prediksi yang lebih dinamis dan adaptif terhadap perubahan kondisi eksternal. Kedua, analisis ini dapat membantu para pemangku kepentingan, termasuk petani, pemerintah, dan pelaku industri kopi, dalam merencanakan strategi jangka panjang yang lebih efektif. Ketiga, hasil prediksi yang akurat dapat mendukung kebijakan dan program yang bertujuan untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan produksi kopi di daerah tersebut.

Dalam penelitian ini, akan dilakukan analisis prediksi hasil produksi kopi di Provinsi-provinsi di Pulau Kalimantan menggunakan model Rantai Markov. Data produksi kopi dari beberapa tahun terakhir akan dianalisis untuk membangun model transisi yang menggambarkan dinamika produksi kopi di daerah ini. Hasil dari analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas tentang tren produksi kopi di masa depan dan membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan industri kopi di Kalimantan.

KAJIAN TEORITIS

Matriks

Matriks adalah himpunan bilangan yang diatur dalam jajaran persegi panjang dan dibatasi oleh kurung siku atau kurung biasa. Bilangan-bilangan dalam matriks disebut elemen matriks. Penyusunan bilangan secara horizontal disebut baris, sedangkan penyusunan secara vertikal disebut kolom. Ukuran atau ordo suatu matriks ditentukan oleh jumlah baris (m) dan kolom (n), yang dinyatakan dalam format "baris kali kolom" atau ($m \times n$). Matriks biasanya dinotasikan dengan huruf kapital, sedangkan elemen-elemen matriks menggunakan huruf kecil. Secara umum, matriks dapat dituliskan dalam bentuk sebagai berikut:

$$\begin{array}{cccc} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{array}$$

Jenis – Jenis Matriks

Matriks, susunan angka dalam baris dan kolom, memiliki peran penting di berbagai bidang (Aguirre & Akritas, 2019). Jenis-jenis matriks seperti bujur sangkar (Kusumawati & Nugroho, 2021), diagonal (Mardia, Kent, & Bibby, 2019), segitiga (Noble & Daniel, 2018), skalar (Smith, 2020), simetris (Penney, 2019), baris, kolom, nol, dan identitas (Smith, 2020), sering digunakan dalam matematika, sains, teknik, dan ekonomi untuk mewakili sistem persamaan linear, matriks kovariansi, vektor, matriks momen inersa, dan operasi perkalian matriks.

Operasi Dasar Matriks

Penjumlahan dan pengurangan matriks:

$$c_{ij} = a_{ij} \pm b_{ij}$$

Perkalian matriks:

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^m a_{ik} \cdot b_{kj}$$

Peluang

1. Defenisi Peluang

a) Defenisi 2.1:

Peluang dapat diartikan sebagai ukuran yang digunakan untuk mengetahui suatu peristiwa terjadi atau tidak terjadi. Sebuah peristiwa memiliki nilai peluang antara nol dan satu.

b) Defenisi 2.2:

Nilai probabilitas terkecil adalah 0 yang berarti bahwa suatu peristiwa tidak akan terjadi. Sedangkan nilai probabilitas terbesar adalah 1 yang berarti bahwa suatu peristiwa pasti akan terjadi.

2. Perumusan Peluang

Perumusan klasik:

$$P(A) = \frac{n}{N}$$

Perumusan Frekuensi Relatif:

$$P(A) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N}$$

Pendekatan subjektif

3. Peluang Peristiwa

Peluang dua peristiwa saling lepas:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

Peluang dua peristiwa saling bebas

$$P(A \cap B) = P(A) \times P(B)$$

4. Peluang Kejadian Bersyarat

Peluang bersyarat, sebuah konsep penting dalam probabilitas, menghadirkan cara untuk memahami kemungkinan terjadinya suatu peristiwa (disebut peristiwa B) setelah peristiwa lain (disebut peristiwa A) telah terjadi, dengan catatan bahwa kedua peristiwa tersebut tidak saling memengaruhi (independen) (Khasanov, 2020). Dengan kata lain, peluang bersyarat $P(B|A)$ menghitung probabilitas peristiwa B muncul setelah mengetahui bahwa peristiwa A telah terjadi.

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

Analisis Rantai Markov

1. Proses Stokastik

Proses stokastik, sebuah konsep fundamental dalam matematika dan sains, menggambarkan serangkaian peristiwa yang mengikuti hukum probabilitas, di mana nilai-nilainya berubah secara acak seiring waktu (Papoulis, 2018). Berbeda dengan proses deterministik, di mana peristiwa yang akan datang dapat diprediksi dengan pasti berdasarkan pengalaman masa lalu, proses stokastik menghadirkan ketidakpastian dan dinamika yang unik. Dalam proses stokastik, pengalaman masa lalu hanya dapat memberikan struktur probabilitas untuk keadaan yang akan datang, membuka ruang bagi berbagai kemungkinan dan hasil yang tidak terduga.

2. Pengertian Rantai Markov

Analisis Markov, yang diperkenalkan oleh A.A. Markov di tahun 1896 (Markov, 1896), merupakan sebuah teknik deskriptif yang menghasilkan informasi probabilistik melalui proses analisisnya (Zhang, 2020). Teknik ini membantu dalam pengambilan keputusan, dan berbeda dengan teknik optimasi (Li, 2019). Analisis Markov termasuk dalam kategori proses stokastik, yaitu model probabilistik khusus yang mempelajari pola perubahan sistem dari waktu ke waktu (Chen, 2018).

Untuk mengetahui prediksi peristiwa pada waktu $t_{(j)}$ pada rantai markov dapat menggunakan persamaan berikut:

$$K_{t(j)} = K_{t(j-1)}P$$

dimana:

$K_{t(j)}$ = peluang kejadian pada waktu t_j

P = probabilitas transisi

$t_{(j-1)}$ waktu ke (j-1)

$t_{(j)}$ = waktu ke-j

3. Langkah – langkah Rantai Markov

Langkah – langkah Rantai Markov untuk mencari probabilitas pada masa mendatang adalah sebagai berikut:

- a. Membuat matriks transisi dari probabilitas yang telah diketahui
- b. Kalikan probabilitas waktu sebelumnya dengan matriks transisi
- c. Lakukan langkah diatas sampai menemukan probabilitas yang dicari

4. Asumsi – asumsi Rantai Markov

Dalam analisis Rantai Markov terdapat beberapa asumsi yaitu:

- a. Jumlah probabilitas transisi suatu kejadian 1
- b. Peluang transisi hanya bergantung pada peluang kejadian sekarang dan tidak bergantung pada peluang kejadian masa lalu
- c. Nilai peluang transisi tidak berubah

Probabilitas transisi

Defenisi 2.3:

Jika sebuah rantai Markov mempunyai k kemungkinan keadaan yang ditandai dengan 1,2,...,k maka jika probabilitas sistem berada dalam keadaan i setelah mengalami kejadian j pada pengamatan sebelumnya dilambangkan dengan p_{ij} yang disebut probabilitas transisi dari kejadian j ke i. Matriks $p = [p_{ij}]$ dinamakan matriks transisi rantai Markov.

Peluang transisi dapat di hitung menggunakan rumus berikut:

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}(t)}{n_i(t)}$$

Dimana:

P_{ij} = peluang transisi

$n_{ij}(t)$ = nilai dari state i ke state j dalam periode t

$n_i(t)$ = nilai state i dalam periode

Peluang Transisi n-langkah

Peluang transisi n-langkah $P^{(n)}$ merupakan peluang bersyarat suatu sistem yang berada pada *state i* akan berada pada *state j* setelah proses mengalami n transisi, jadi:

$$P^{(n)} = P^n$$

Persamaan Chapman-Kolmogorov

Persamaan Chapman-kolmogorov dapat digunakan untuk menghitung peluang transisi n-langkah dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{ij}^{(n+m)} = \sum_{k=1}^N P_{ik}^{(m)} P_{kj}^{(m)}$$

Probabilitas Steady-State

Probabilitas *steady-state*, sebuah konsep penting dalam teori rantai Markov, merepresentasikan peluang transisi sistem yang tidak lagi bergantung pada kondisi awal setelah mencapai keseimbangan (Liu, 2020). Probabilitas transisi pada tahap keadaan *steady-state* adalah peluang peralihan yang sudah mencapai keseimbangan sehingga tidak akan berubah terhadap perubahan waktu yang akan terjadi.

Probabilitas *steady-state* didefinisikan sebagai berikut:

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

Dimana π_j harus memenuhi persamaan *steady-state* yaitu:

- a. $\pi_j = \sum_{i=0}^M \pi_i p_{ij} ; j = 0, 1, \dots, M$
- b. $\sum_{j=0}^M \pi_j = 0$

π_j merupakan probabilitas *steady – state* dari Markov Chain. Perlu dicatat bahwa probabilitas *steady-state* tidak menunjukkan bahwa proses tersebut menjadi satu langkah. Namun sebaliknya, proses tersebut akan terus melakukan transisi dari state ke state dan pada setiap langkah n-probabilitas transisi dari state i ke state j tetap P_{ij} .

METODE PENELITIAN

Adapun prosedur penelitian yang akan dilakukan untuk mengetahui prediksi hasil produksi kopi di Kalimantan Barat pada tahun 2023 sampai tahun 2025 adalah sebagai berikut:

1. Membuat matriks probabilitas transisi untuk mendapatkan probabilitas hasil produksi kopi masing-masing provinsi di Kalimantan Barat,
2. Menghitung prediksi hasil produksi kopi masing-masing provinsi di Kalimantan Barat pada tahun 2023 sampai tahun 2025,

3. Menghitung prediksi probabilitas Steady-State untuk mendapatkan probabilitas keadaan keseimbangan hasil produksi kopi masing-masing provinsi di Kalimantan Barat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data Hasil Produksi Kopi di Pulau Kalimantan

Sumber : *Statistik Kopi Indonesia 2018, Statistik Kopi Indonesia 2020, Statistik Kopi Indonesia 2022*

Tahun	Hasil Produksi Kopi (ribu ton)					Total
	Kalbar	Kalteng	Kalsel	Kaltim	Kalut	
2018	3,5	0,3	1,5	0,2	0,2	5,7
2019	3,8	0,4	1,3	0,2	0,1	5,8
2020	3,7	0,4	1,2	0,2	0,06	5,56
2021	3,1	0,3	1	0,1	0,1	4,6
2022	3,1	0,2	0,7	0,1	0,1	4,2
Total	17,2	1,6	5,7	0,8	0,56	25,86

Keterangan :

Kalbar	= Kalimantan Barat
Kalteng	= Kalimantan Tengah
Kalsel	= Kalimantan Selatan
Kaltim	= Kalimantan Timur
Kalut	= Kalimantan Utara

Pada Tabel 1 terlihat bahwa jumlah keseluruhan produksi kopi di Kalimantan pada rentang waktu tahun 2018 hingga 2022 sebesar 25,86 ribu ton, dimana Provinsi Kalimantan Barat menghasilkan kopi tertinggi dengan total hasil produksi sebesar 17,2 ribu ton dan Provinsi Kalimantan Utara memiliki total produksi terendah dengan total hasil produksi sebesar 0,56 ribu ton. Berdasarkan Tabel 4.1 dengan menggunakan persamaan probabilitas transisi diperoleh peluang transisi dan matriks peluang transisi sebagai berikut:

Tabel 2. Probabilitas Transisi Hasil Produksi Kopi di Pulau Kalimantan

Tahun	Hasil Produksi Kopi (ribu ton)				
	Kalbar	Kalteng	Kalsel	Kaltim	Kalut
2018	0.614	0.053	0.263	0.035	0.035
2019	0.655	0.069	0.224	0.034	0.017
2020	0.607	0.066	0.197	0.033	0.098
2021	0.673	0.065	0.217	0.021	0.021
2022	0.738	0.048	0.167	0.024	0.024

Tabel 2 menunjukkan bahwa peluang hasil produksi kopi di Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara pada tahun 2018 masing masing sebesar 61.4%, 5.3%, 26.3%, 3.5%, dan 3.5%. Pada tahun 2019 masing masing sebesar 65.5%, 6.9%, 22.4%, 3.4%, dan 1.7% .Pada tahun 2020 masing masing sebesar 60.7%, 6.6%, 19.7%, 3.3%, dan 9.8% Pada tahun 2021 masing masing sebesar 67.3%, 6.5%, 21.7%, %, 2.1%, dan 2.1%. Pada tahun 2022 masing masing sebesar 73.8%, 4.8%, 16.7%, 2.4%, dan 2.4% Berdasarkan nilai yang diperoleh pada Tabel 4.2 matriks probabilitas jumlah produksi kopi yang terbentuk adalah sebagai berikut.

Matriks Probabilitas Transisi

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} 0.614 & 0.053 & 0.263 & 0.035 & 0.035 \\ 0.655 & 0.069 & 0.224 & 0.034 & 0.017 \\ 0.607 & 0.066 & 0.197 & 0.033 & 0.098 \\ 0.673 & 0.065 & 0.217 & 0.021 & 0.021 \\ 0.738 & 0.048 & 0.167 & 0.024 & 0.024 \end{pmatrix}$$

Menghitung Prediksi Hasil Produksi Di Masa Mendatang

Hal pertama yang dilakukan untuk menghitung prediksi hasil produksi kopi dimasa mendatang yaitu menghitung probabilitasnya Hal pertama yang dilakukan ntuk menghitung prediksi hasil produksi kopi dimasa mendatang yaitu menghitung probabilitasnya. Cara untuk menghitung probabilitas pada tahun pertama $\pi(1)$ yaitu tahun 2023 dilakukan dengan cara mengalikan vektor initial state $\pi(0)$ dengan matriks probabilitas, dimana $\pi(0)$ merupakan jenis state yang dilambangkan dengan bilangan biner 0 atau 1. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan initial state sebagai berikut:

$$\pi(1) = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

1. Prediksi hasil produksi kopi tahun 2023 (P2023)

a. Probabilitas hasil produksi kopi tahun 2023

$$\pi(1) = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \times \begin{bmatrix} 0.614 & 0.053 & 0.263 & 0.035 & 0.035 \\ 0.655 & 0.069 & 0.224 & 0.034 & 0.017 \\ 0.607 & 0.066 & 0.197 & 0.033 & 0.098 \\ 0.673 & 0.065 & 0.217 & 0.021 & 0.021 \\ 0.738 & 0.048 & 0.167 & 0.024 & 0.024 \end{bmatrix}$$

$$\pi(1) = [0.614 \ 0.053 \ 0.263 \ 0.35 \ 0.35]$$

b. Prediksi hasil produksi kopi tahun 2023:

$$P_{2023} = [0.614 \ 0.053 \ 0.263 \ 0.35 \ 0.35] \times \begin{bmatrix} 3.5 & 0.3 & 1.5 & 0.2 & 0.2 \\ 3.8 & 0.4 & 1.3 & 0.2 & 0.1 \\ 3.7 & 0.4 & 1.2 & 0.2 & 0.06 \\ 3.1 & 0.3 & 1 & 0.1 & 0.1 \\ 3.1 & 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$P_{2023} = [3.5405 \ 0.3281 \ 1.3650 \ 0.1930 \ 0.1509]$$

2. Prediksi hasil produksi kopi tahun 2024 (P2024)

a. Probabilitas hasil produksi kopi tahun 2024

$$\pi(2) = [0.614 \ 0.053 \ 0.263 \ 0.35 \ 0.35] \times \begin{bmatrix} 0.614 & 0.053 & 0.263 & 0.035 & 0.035 \\ 0.655 & 0.069 & 0.224 & 0.034 & 0.017 \\ 0.607 & 0.066 & 0.197 & 0.033 & 0.098 \\ 0.673 & 0.065 & 0.217 & 0.021 & 0.021 \\ 0.738 & 0.048 & 0.167 & 0.024 & 0.024 \end{bmatrix}$$

$$\pi(2) = [0.6207 \ 0.0575 \ 0.2386 \ 0.0335 \ 0.0497]$$

b. Prediksi hasil produksi kopi tahun 2024:

$$P_{2024} = [0.6207 \ 0.0575 \ 0.2386 \ 0.0335 \ 0.0497] \times \begin{bmatrix} 3.5 & 0.3 & 1.5 & 0.2 & 0.2 \\ 3.8 & 0.4 & 1.3 & 0.2 & 0.1 \\ 3.7 & 0.4 & 1.2 & 0.2 & 0.06 \\ 3.1 & 0.3 & 1 & 0.1 & 0.1 \\ 3.1 & 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$= [3.5317 \ 0.3246 \ 1.3604 \ 0.1917 \ 0.1525]$$

3. Prediksi hasil produksi kopi tahun 2025 (P2025)

a. Probabilitas hasil produksi kopi tahun 2025

$$\pi(3) = [0.6207 \ 0.0575 \ 0.2386 \ 0.0335 \ 0.0497]$$

$$\times \begin{bmatrix} 0.614 & 0.053 & 0.263 & 0.035 & 0.035 \\ 0.655 & 0.069 & 0.224 & 0.034 & 0.017 \\ 0.607 & 0.066 & 0.197 & 0.033 & 0.098 \\ 0.673 & 0.065 & 0.217 & 0.021 & 0.021 \\ 0.738 & 0.048 & 0.167 & 0.024 & 0.024 \end{bmatrix}$$

$$\pi(3) = [0.6228 \ 0.0572 \ 0.2387 \ 0.0334 \ 0.0480]$$

b. Prediksi hasil produksi kopi tahun 2025:

$$P_{2025} = [0.6228 \quad 0.0572 \quad 0.2387 \quad 0.0334 \quad 0.0480] \times \begin{bmatrix} 3.5 & 0.3 & 1.5 & 0.2 & 0.2 \\ 3.8 & 0.4 & 1.3 & 0.2 & 0.1 \\ 3.7 & 0.4 & 1.2 & 0.2 & 0.06 \\ 3.1 & 0.3 & 1 & 0.1 & 0.1 \\ 3.1 & 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$= [3.5327 \quad 0.3248 \quad 1.3620 \quad 0.1919 \quad 0.1527]$$

Secara ringkas hasil prediksi ditampilkan dalam tabel berikut

Tabel 3. Hasil Prediksi Produksi Kopi

Tahun	Kalbar	Kalteng	Kalsel	Kaltim	Kalut
2023	3.5405	0.3281	1.3650	0.1930	0.1509
2024	3.5317	0.3246	1.3604	0.1917	0.1525
2025	3.5327	0.3248	1.3620	0.1919	0.1527

Tabel 3 menampilkan hasil prediksi kopi mulai dari tahun 2023 sampai 2024 untuk setiap provinsi di pulau Kalimantan.

Menghitung Probabilitas Steady State

Probabilitas steady state diprediksi melalui iterasi probabilitas transisi dalam n langkah hingga mencapai keseimbangan, yaitu ketika matriks probabilitas berikutnya tidak lagi dipengaruhi oleh matriks probabilitas transisi sebelumnya. Dengan menggunakan persamaan peluang transisi n-langkah ditemukan bahwa pada langkah ke-7 (P^7) probabilitas steady state tercapai, karena hasilnya telah konvergen dengan langkah sebelumnya. Probabilitas steady state yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Probabilitas Hasil Produksi Kopi

Tahun	Kalbar	Kalteng	Kalsel	Kaltim	Kalut
2029	0.631	0.058	0.243	0.034	0.027

Tabel 4 menunjukkan bahwa probabilitas steady state hasil produksi kopi di Kalimantan diprediksi akan tercapai pada tahun 2029, dengan nilai probabilitas steady state sebagai berikut: Provinsi Kalimantan Barat sebesar 0,631, Kalimantan Tengah sebesar 0,058, Kalimantan Selatan sebesar 0,243, Kalimantan Timur sebesar 0,034, dan Kalimantan Utara sebesar 0,027.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis rantai markov dari data hasil produksi kopi di Kalimantan tahun 2018 hingga 2022 diperoleh kesimpulan bahwa prediksi hasil produksi kopi pada tahun 2023 hasil produksi kopi di Provinsi Kalimantan Barat sebesar 3.5405 ribu ton, Provinsi Kalimantan Tengah sebesar 0.3281 ribu ton, Provinsi Kalimantan Selatan sebesar 1.3650 ribu

ton, Provinsi Kalimantan Timur sebesar 0.1930 ribu ton dan Provinsi Kalimantan Utara sebesar 0.1509 ribu ton. Pada tahun 2024 hasil produksi kopi di Provinsi Kalimantan Barat sebesar 3.5317 ribu ton, Provinsi Kalimantan Tengah sebesar 0.3246 ribu ton, Provinsi Kalimantan Selatan sebesar 1.3604 ribu ton, Provinsi Kalimantan Timur sebesar 0.1917 ribu ton dan Provinsi Kalimantan Utara sebesar 0.1525 ribu ton. Pada tahun 2025 hasil produksi kopi di Provinsi Kalimantan Barat sebesar 3.5327 ribu ton, Provinsi Kalimantan Tengah sebesar 0.3248 ribu ton, Provinsi Kalimantan Selatan sebesar 1.3620 ribu ton, Provinsi Kalimantan Timur sebesar 0.1919 ribu ton dan Provinsi Kalimantan Utara sebesar 0.1527 ribu ton.

Hasil penelitian ini dapat menjadi saran kepada pemerintah daerah maupun pemerintah pusat sebagai bentuk pertimbangan dalam memaksimalkan produksi kopi di Kalimantan. Dengan produksi yang optimal diharapkan dapat meningkatkan perekonomian setempat dan meningkatkan sektor perkebunan kopi sebagai sektor yang unggul.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguirre, M. A., & Akritas, A. (2019). *An introduction to linear algebra* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-17002-9>
- Anton, H., & Rorres, C. (2005). *Elementary linear algebra: Applications version* (8th ed., Vol. 2). (I. Harmein & J. Gressando, Trans.). Erlangga. (Original work published 2000)
- Baco, E., Sauddin, A., & Bakri, N. (2017). Analisis Persaingan Industri Televisi Berbayar Menggunakan Rantai Markov (studi kasus: pt. Indonusa Telemedia (Transvision) Versus Televisi Berbayar Lainnya Di Kota Makassar Tahun 2017). *Jurnal MSA (Matematika dan Statistika serta Aplikasinya)*, 7(1), 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.ecra.2020.100327>
- Chen, H., & Yu, L. (2018). A Markov chain model for analyzing customer churn in e-commerce. *Electronic Commerce Research and Applications*, 29, 100327. <https://doi.org/10.1016/j.ecra.2020.100327>
- Hanafiah, R., Mutmainah, A., & Andini, N. (2020). Potential of coffee agroecosystems in Kalimantan Island, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 475(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/475/1/012017>
- Khasanov, R. (2020). *Conditional probability and its applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-37623-0>
- Kusumawati, Y. D., & Nugroho, B. (2021). *Sistem persamaan linear dan aplikasi metode matriks* (2nd ed.). Pustaka Pelajar.
- Li, Y., & Ji, C. (2019). A Markov chain approach for assessing the stability of complex systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 187, 106680. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106680>

- Liu, K. (2020). *Introduction to stochastic processes and applications*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429274569>
- Mardia, K., Kent, J. T., & Bibby, J. R. (2019). *Multivariate analysis* (4th ed.). Pearson Education.
- Markov, A. A. (1896). Sur une certaine application des *algèbres* linéaires au calcul des probabilités. *Bulletin de la Société mathématique de France*, 15, 38-45.
- Marli, Z., Rusdiana, S., Rahayu, L., & Fradinata, E. (2018). *Pengantar Biostatistika Dan Aplikasinya Pada Status Kesehatan Gizi Remaja*. Syiah Kuala University Press.
- Müller, J., O'Neill, C., & Sklar, J. (2019). Coffee production and climate change: A global spatial analysis. *Environmental Research Letters*, 14(10), 104012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3c6a>
- Noble, C. B., & Daniel, J. W. (2018). *Applied linear algebra* (4th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Papoulis, A. (2018). *Probability, random variables, and stochastic processes* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Penney, D. C. (2019). *Modern calculus and analytic geometry* (3rd ed.). Pearson Addison Wesley.
- Siswanto. (2007). *Operation research jilid II*. Erlangga.
- Smith, S. T. (2020). *Linear algebra* (5th ed.). CRC Press.
- Sudaryono. (2012). *Statistika probabilitas (Teori & Aplikasi)*. C.V ANDI OFFSET.
- Utomo, R. S. (2014). Kelayakan Industri Kopi Di Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Bina Praja: Journal of Home Affairs Governance*, 6(3), 205–212.
- Wibowo, A. (2019). Potensi dan tantangan kopi di era milenial. *Warta Pusat Penelitian Kopi Dan Kakao Indonesia*, 21(2), 16–23.
- Zhang, J., & Wang, H. (2020). A Markov decision process approach for multi-objective flow shop scheduling with uncertain processing times. *Journal of Scheduling*, 23(6), 755-773. <https://doi.org/10.1007/s10951-019-00668-w>