

Evaluasi Perencanaan Produksi Kubis Di Sumatera Utara Dengan Metode Rantai Markov Waktu Diskrit

Witri Wardani Hulu¹, Talitha Nakhwan Hasibuan², Widya Narti Lubis³,
Sudianto Manullang⁴, Sisti Nadia Amalia⁵

^{1,2,3} Mahasiswa Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Medan

^{4,5} Dosen Matematika FMIPA, Universitas Negeri Medan

¹witriwardani@mhs.unimed.ac.id, ²talithanakhwanhsb@mhs.unimed.ac.id,

³widyanartilubis@mhs.unimed.ac.id

Alamat : Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20221

Korespondensi Penulis : witriwardani@mhs.unimed.ac.id

Abstract. *This research aims to evaluate cabbage production planning in North Sumatra using the discrete-time Markov chain method. Cabbage is one of the horticultural agricultural products that plays an important role in North Sumatra's exports. Proper evaluation of production plans is necessary to ensure sustainability and increase productivity and export volume. The Discrete Time Markov Chain method is used to predict changes in cabbage production conditions over time by considering the factors that influence them. Data on cabbage production and harvested area in North Sumatra from 2020 to 2022 were analyzed using one-step and n-step transition opportunity matrices. The results of the analysis show that in 2023, cabbage production and harvested land area are predicted to experience a significant increase compared to the previous year. This research provides a more accurate and efficient planning strategy for cabbage production, which can ultimately improve agricultural management in North Sumatra.*

Keywords: *Markov Chain, Discrete Time, Production Planning, Cabbage, North Sumatra.*

Abstrak. *Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perencanaan produksi kubis di Sumatera Utara menggunakan metode Rantai Markov Waktu Diskrit. Kubis merupakan salah satu produk pertanian hortikultura yang berperan penting dalam ekspor Sumatera Utara. Evaluasi yang tepat terhadap rencana produksi diperlukan untuk memastikan keberlanjutan dan meningkatkan produktivitas serta volume ekspor. Metode Rantai Markov Waktu Diskrit digunakan untuk memprediksi perubahan kondisi produksi kubis dari waktu ke waktu dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Data produksi kubis dan luas panen di Sumatera Utara dari tahun 2020 hingga 2022 dianalisis menggunakan matriks peluang transisi satu langkah dan n-langkah. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada tahun 2023, produksi kubis dan luas lahan panen diprediksi akan mengalami peningkatan signifikan dibandingkan tahun sebelumnya. Penelitian ini memberikan strategi perencanaan yang lebih akurat dan efisien untuk produksi kubis, yang pada akhirnya dapat meningkatkan pengelolaan pertanian di Sumatera Utara.*

Kata kunci: *Rantai Markov, Waktu Diskrit, Perencanaan Produksi, Kubis, Sumatera Utara.*

PENDAHULUAN

Kubis merupakan salah satu produk pertanian hortikultura yang berperan penting dalam ekspor 147 jenis produk utama dari sektor pertanian di Sumatera Utara. Meski bukan provinsi penghasil kubis terbesar di Indonesia, Sumatera Utara merupakan provinsi dengan volume ekspor terbesar dibandingkan provinsi lain. Alhasil, Sumatera Utara menjadi negara penghasil

kubis terbesar di luar Pulau Jawa. Produksi kubis di Sumatera Utara mengalami peningkatan sebesar 1,22 persen pada tahun 2022 dibandingkan tahun sebelumnya, dengan total produksi mencapai 236.611 ton (Badan Pusat Statistik, 2022). Peningkatan ini didukung oleh perluasan area panen yang mencapai 8.367 hektar, sedangkan pada tahun 2021, luas panen kubis tercatat sebesar 7.703 hektar. Hal ini mengakibatkan produktivitas kubis pada tahun 2022 juga meningkat 8,62 persen dibandingkan tahun sebelumnya (Badan Pusat Statistik 2022). Variasi produktivitas kubis dipengaruhi oleh banyak hal seperti cuaca, gangguan hama dan penyakit, penggunaan pupuk dan sistem tanam (Zamrodah, 2020).

Evaluasi yang tepat terhadap rencana produksi diperlukan untuk memastikan keberlanjutan dan meningkatkan produktivitas serta volume ekspor Batubara dari Sumatera Utara. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode rantai Markov waktu diskrit. Metode ini membantu memprediksi perubahan kondisi produksi kubis dari waktu ke waktu, dengan mempertimbangkan berbagai faktor, salah satunya ialah jumlah curah hujan. Rantai Markov merupakan teknik analisis yang dapat digunakan untuk memprediksi perubahan masa depan berdasarkan perubahan di masa lalu. Dasar dari analisis rantai Markov adalah suatu proses stokastik yang memberikan urutan kejadian yang kejadiannya ditentukan berdasarkan probabilitas tertentu yang disusun lebih sederhana dalam bentuk matriks yang dikenal dengan matriks probabilitas transisi (Sasake, 2021).

Untuk meningkatkan efektivitas perencanaan produksi pertanian, berbagai metode analisis telah diterapkan untuk memprediksi hasil panen dan memahami dinamika lahan pertanian. Penelitian ini berlandaskan pada dua studi sebelumnya yang menggunakan metode rantai Markov. Studi pertama adalah “Prediksi Hasil Panen Kopi di Sulawesi Menggunakan Analisis Rantai Markov” oleh Try Azisah Nurman dan rekan-rekan (2023), yang menunjukkan bagaimana rantai Markov dapat digunakan untuk memprediksi hasil panen kopi dengan menganalisis data historis dan tren. Studi kedua, “Analisis Perencanaan Produksi Padi Terhadap Lahan Panen di Sumatera Barat Menggunakan Rantai Markov Waktu Diskrit” oleh Irfan Syauqi dan rekan (2022), menerapkan Rantai Markov Waktu Diskrit untuk merencanakan produksi padi dengan mempertimbangkan variasi lahan panen.

Berdasarkan hasil dan metode dari kedua studi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perencanaan produksi kubis di Sumatera Utara menggunakan metode Rantai Markov Waktu Diskrit. Dengan mengadaptasi pendekatan dan teknik analisis dari penelitian tentang kopi dan padi, diharapkan akan diperoleh strategi perencanaan yang lebih akurat dan

efisien untuk produksi kubis, yang pada akhirnya dapat meningkatkan pengelolaan pertanian di Sumatera Utara.

KAJIAN PUSTAKA

Matriks

Matriks adalah kumpulan bilangan real atau kompleks (atau elemen lainnya) yang diatur dalam baris dan kolom sehingga membentuk sebuah persegi panjang. Bilangan-bilangan dalam matriks ini disebut elemen matriks. Susunan bilangan secara horizontal dikenal sebagai baris, sedangkan susunan vertikal disebut kolom. Bentuk dan ordo matriks ditentukan oleh jumlah baris (m) dan jumlah kolom (n), dan dinyatakan dalam format “baris kali kolom” atau ($m \times n$). Matriks dilambangkan dengan huruf kapital, sementara elemen-elemen dalam matriks diwakili oleh huruf kecil. Secara umum, matriks dapat dinyatakan dalam bentuk berikut :

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Rantai Markov

Salah satu jenis dari proses stokastik adalah rantai Markov, yang merupakan proses stokastik dengan sifat bahwa perilaku probabilistik di masa depan hanya bergantung pada keadaan saat ini dan tidak dipengaruhi oleh kejadian di masa lalu. Analisis Markov menghasilkan informasi probabilistik yang dapat digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan. Dengan demikian, analisis ini bersifat deskriptif, bukan merupakan teknik optimasi. Jika pada waktu t proses stokastik $\{X_n, n = 0, 1, \dots\}$ berada pada state i , maka hal ini dinyatakan sebagai $X_n = i$.

Proses stokastik $\{X_n, n = 0, 1, 2, \dots\}$ dikategorikan sebagai rantai Markov jika :

$$\begin{aligned} P\{X_{n+1} = j | X_0 = i_0, \dots, X_{n-1} = i_{n-1}, X_n = i\} \\ &= P\{X_{n+1} = j | X_n = i\} \\ &= P_{ij} \end{aligned}$$

Rantai Markov waktu diskrit disebut homogen terhadap waktu jika berlaku untuk semua $n = 0, 1, \dots$

$$P\{X_{n+1} = j | X_n = i\} = P\{X_1 = j | X_0 = i\}$$

Matriks Peluang Transisi

Dalam proses rantai Markov, diperlukan matriks peluang transisi. Matriks ini menggambarkan kemungkinan perpindahan sistem dari satu keadaan ke keadaan lainnya. Dengan menggunakan matriks peluang transisi, kita dapat mengidentifikasi klasifikasi keadaan dalam rantai Markov yang terbagi menjadi dua jenis.

a. Matriks Peluang Tansisi Satu Langkah

Peluang transisi (satu langkah) dalam rantai Markov, yang merupakan peluang bersyarat $P\{X_{n+1} = j | X_n = i\}$ untuk perpindahan dari satu keadaan ke keadaan lain jika untuk setiap pasangan keadaan i dan j ,

$$P_{ij} = P\{X_{n+1} = j | X_n = i\}$$

peluang tersebut dikatakan *stasioner*.

b. Matriks Peluang Transisi n-langkah

Matriks peluang transisi n-langkah dalam konteks rantai Markov adalah sebuah matriks yang menunjukkan probabilitas perpindahan sistem dari satu keadaan ke keadaan lainnya dalam n langkah waktu. Dengan kata lain, matriks ini memberikan gambaran tentang bagaimana probabilitas distribusi keadaan sistem akan berubah dalam rentang waktu n langkah.

$$P_{ij}^n = \sum_{k=0}^{\infty} P_{ik} P_{kj}^{(n-1)}, n > 1$$

Dimana, $P_{ij}^n = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$

Probabilitas State Setelah n-langkah

Vektor peluang state setelah n langkah merupakan vektor yang menggambarkan probabilitas keadaan sistem setelah dilakukan n langkah waktu. Untuk menghitung vektor peluang state ini, dapat menggunakan rumus :

$$P_j^n = p(X_n = j)$$

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=0}^{\infty} p(X_n = j), (X_0 = i) \\
 &= \sum_{i=0}^{\infty} p(X_0 = i) p(X_n = j|X_0 = i) \\
 &= \sum_{i=0}^{\infty} p_i^0 p_{ij}^n
 \end{aligned}$$

Dapat juga ditulis sebagai berikut : $p^n = p^0 P, n = 1,2,3, \dots$

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian terapan kuantitatif yang bertujuan untuk mencari solusi terhadap permasalahan yang ada. Data yang digunakan adalah data sekunder produksi kubis tiap bulannya dan luas panen di provinsi Sumatera Utara pada bulan Januari 2020 hingga Desember 2022. Data ini diperoleh dari website resmi Badan Pusat Statistik Sumut.

Berikut langkah sederhana menganalisis data produksi dan luas panen kubis di Sumatera Utara dari tahun 2020 hingga 2022:

1) Pengumpulan Data

Mengumpulkan data produksi kubis dan luas panen di Sumatera Utara mulai periode 2020 – 2022 melalui Badan Pusat Statistik (BPS) Sumatera Utara.

2) Urutkan Data

Mengurutkan data produksi dan luas panen secara kronologis dari bulan pertama tahun 2020 hingga akhir tahun 2022.

3) Hitung Selisih Produksi dan Luas Lahan

Selisih produksi dan luas lahan dihitung antara tahun t dan tahun $t(t+1)$.

4) Hitung Perbedaan Rata-rata

Selisih rata-rata dihitung antara keadaan naik dan turun, lalu tentukan nilai maksimum untuk keadaan naik dan nilai minimum untuk keadaan turun.

5) Tentukan Jumlah *State*

Menentukan banyaknya *state* yang digunakan dalam analisis.

6) Pengelompokkan Data

Mengelompokkan data menurut interval masing-masing keadaan berdasarkan nilai selisih yang diperoleh.

7) Matriks Probabilitas Transisi 1 Langkah

Buatlah matriks probabilitas transisi 1 langkah.

8) Matriks Probabilitas Transisi n- langkah

Menghitung matriks tersebut menggunakan persamaan Chapman Kolmogorov.

9) Probabilitas Kejadian di Masa Depan

Menghitung probabilitas suatu situasi akan terjadi di masa depan.

10) Interpretasikan Hasil

Interpretasikan hasil analisis dari langkah sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4.1 Luas Panen dan Produksi Tanaman Kubis Menurut Kabupaten / Kota di Provinsi Sumatera Utara Tahun 2020 - 2022

No	Kabupaten/Kota	Kubis (Ton)			Luas Panen (Ha)		
		2020	2021	2022	2020	2021	2022
1	Mandailing Natal	317,3	254,4	269,1	23	31	19
2	Tapanuli Selatan	44,6	85,4	68,1	2	5	7
3	Tapanuli Utara	3.339,90	3.408,90	3.485,90	193	210	213
4	Simalungun	43.655,70	41.543,50	51.720,10	1980	1822	2272
5	Dairi	7.201,40	3.659,80	5.126,10	793	391	565
6	Karo	134.718,00	167.952,30	160.136,50	4151	4627	4630
7	Humbang Hasundutan	6.906,20	10.314,20	8.350,80	313	367	355
8	Pakpak Bharat	-	4	34,7	-	1	3
9	Samosir	5.626,00	5.558,10	7.257,30	234	250	292
10	Padang Sidempuan	135	-	-	16	-	-
11	Padang Lawas Utara	-	-	0,3	-	-	1
12	Toba Samosir	22	-	-	4	-	-
	Sumatera Utara	201.966,1	232.780,60	236.448,90	7709	7703	8356

Sumber: BPS Sumatera Utara,2022 (Data Diolah).

Berdasarkan data tersebut, akan dimodelkan rantai Markov untuk produksi dan lahan panen tanaman kubis di Sumatera Utara tahun 2020-2022. Data yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tahun	Kubis (Ton)	Luas Panen (Ha)
2020	201,966.1	7709
2021	232,780.6	7703
2022	236,448.9	8356

4.1 Menyusun Matriks Peluang Transisi Satu Langkah

- **Klasifikasi Perubahan:** Menggunakan data dari tahun ke tahun, kita menghitung selisih perubahan produksi dan luas panen. Berdasarkan selisih ini, kita klasifikasikan perubahan tersebut ke dalam salah satu dari empat state.

Produksi Kubis:

$$\text{Selisih Produksi 2021} = 232,780.6 - 201,966.1 = 30,814.5$$

$$\text{Selisih Produksi 2022} = 236,448.9 - 232,780.6 = 3,668.3$$

Lahan Panen

$$\text{Selisih Lahan Panen 2021} = 7703 - 7709 = -6$$

$$\text{Selisih Lahan Panen 2022} = 8356 - 7703 = 653$$

- **State:** State adalah kondisi yang menggambarkan perubahan produksi atau luas panen kubis. Berdasarkan data pada tabel, state dapat diklasifikasikan menjadi 4, yaitu:

Produksi Kubis:

1. **Turun Drastis:** Perubahan $< -30,000$ ton

Penurunan produksi kubis lebih dari 30,000 ton dibanding tahun sebelumnya.

2. **Turun:** $-30,000 \leq$ Perubahan < 0 ton

Penurunan produksi kubis tetapi kurang dari 30,000 ton.

3. **Naik:** $0 \leq$ Perubahan $< 30,000$ ton

Peningkatan produksi kubis tetapi kurang dari 30,000 ton.

4. Naik Drastis: Perubahan $\geq 30,000$ ton

Peningkatan produksi kubis lebih dari 30,000 ton.

Lahan Panen

1. Turun Drastis: Perubahan < -500 hektar

Interpretasi: Penurunan luas panen kubis lebih dari 500 hektar.

2. Turun: $-500 \leq$ Perubahan < 0 hektar

Interpretasi: Penurunan luas panen kubis tetapi kurang dari 500 hektar.

3. Naik: $0 \leq$ Perubahan < 500 hektar

Interpretasi: Peningkatan luas panen kubis tetapi kurang dari 500 hektar.

4. Naik Drastis: Perubahan ≥ 500 hektar

Interpretasi: Peningkatan luas panen kubis lebih dari 500 hektar.

4.1.1 Matriks Peluang Transisi Satu Langkah Produksi Kubis

Berdasarkan data perubahan dari 2020 ke 2021 dan dari 2021 ke 2022:

State awal	State akhir			
	1	2	3	4
1	0	0	0	0
2	0	0	1	0
3	0	0	0	1
4	0	0	1	0

4.1.2 Matriks Peluang Transisi Satu Langkah Lahan Panen

Berdasarkan perubahan state dari 2020 ke 2021 dan dari 2021 ke 2022:

State awal	State akhir			
	1	2	3	4

1	0	0	0	0
2	0	0	1	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0

4.2 Menentukan Matriks Peluang Transisi n -Langkah

Untuk produksi dan lahan panen kubis, digunakan matriks transisi satu langkah untuk menghitung matriks transisi n -langkah ($n=2$):

4.2.1 Matriks Peluang Transisi n -Langkah Produksi Kubis

$$P^2 = P \cdot P$$

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

4.2.2 Matriks Peluang Transisi n -Langkah Lahan Panen

$$Q^2 = Q \cdot Q$$

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Q^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4.3 Menghitung Peluang Kejadian di Waktu Mendatang

4.3.1 Peluang State pada Produksi Kubis

Dari state 3 awal tahun 2022, dihitung peluang state produksi kubis untuk tahun 2023 sebagai berikut:

$$p = [0 \quad 0 \quad 1 \quad 0]$$
$$p^{2023} = p \cdot P = [0 \quad 0 \quad 1 \quad 0] \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 1]$$

4.3.2 Peluang State pada Lahan Panen

Dari state 3 awal tahun 2022, dihitung peluang state lahan panen kubis untuk tahun 2023 sebagai berikut:

$$q = [0 \quad 0 \quad 1 \quad 0]$$
$$q^{2023} = q \cdot Q = [0 \quad 0 \quad 1 \quad 0] \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 1]$$

- Berdasarkan matriks transisi dan peluang state yang dihitung, produksi kubis pada tahun 2023 diprediksi akan mengalami peningkatan yang signifikan dibandingkan tahun sebelumnya. State "Naik Drastis" menunjukkan bahwa produksi kubis akan meningkat lebih dari 30.000 ton.
- Berdasarkan matriks transisi dan peluang state yang dihitung, lahan panen kubis pada tahun 2023 juga diprediksi akan mengalami peningkatan yang signifikan. State "Naik Drastis" menunjukkan bahwa luas lahan panen akan meningkat lebih dari 500 hektar.

KESIMPULAN

Penggunaan rantai Markov dan matriks transisi memberikan gambaran yang jelas bahwa baik produksi maupun luas lahan panen kubis akan mengalami peningkatan yang signifikan pada tahun 2023. Prediksi ini didukung oleh peluang state yang dihitung, dimana state "Naik Drastis" memiliki probabilitas yang tinggi, menunjukkan adanya perubahan positif yang substansial dalam produksi dan lahan panen kubis di tahun mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Asyrofi, A., Anggriani, I. and Soemarsono, A. R. (2023) 'Implementation of Discrete Time Markov Chain Method to Estimate The Transition of Smartphone Brands Usage in Balikpapan', *Jurnal ILMU DASAR*, 24(2), p. 159. doi: 10.19184/jid.v24i2.34872.
- Fransiska, W., Nufus, R. H., Syafi'i, M., & Hasibuan, L. H. (2022). Penerapan Rantai Markov Dalam Peramalan Cuaca (Studi Kasus: Cuaca Harian di Kota Padang). *Buana Matematika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Pendidikan Matematika*, 12(2), 117-126.
- Gifari, F. A., Maulana, M. A. and Maulana, S. (2022) 'Analisis Rantai Markov Untuk Mengetahui Peluang Perpindahan Konsumen Merek Laptop Pada Mahasiswa Teknik Industri Universitas Indraprasta PGRI', *Bulletin of Applied Industrial Engineering Theory*, 3(1), pp. 45–62. Available at: https://repository.uin-suska.ac.id/7575/1/2012_2012127MT.pdf.
- Hasibuan, S. N., Siregar, A., & Rafiki, A. (2023). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Ekspor Sayur Kubis di Provinsi Sumatera Utara. *JURNAL AGRICA*, 16(2).
- Langi, Y. A. R. (2011) 'Penentuan Klasifikasi State Pada Rantai Markov Dengan Menggunakan Nilai Eigen Dari Matriks Peluang Transisi', *Jurnal Ilmiah Sains*, 11(1), p. 124. doi: 10.35799/jis.11.1.2011.54.
- Masuku, F. N., Langi, Y. A. R. and Mongi, C. (2018) 'Analisis Rantai Markov Untuk Memprediksi Perpindahan Konsumen Maskapai Penerbangan Rute Manado-Jakarta Analysis of Markov Chain To Predict Consumer Movement of Airline Route Manado-Jakarta', *Ilmiah Sains*, 18(2), pp. 1–5.
- Nurman, T. A., & Syata, I. (2021). Prediksi Hasil Panen Kopi di Sulawesi Menggunakan Analisis Rantai Markov. *Jurnal MSA (Matematika dan Statistika serta Aplikasinya)*, 9(2), 120-127.
- Sasake, Set, Yopi Andry Lesnussa, dan Abraham Zakaria Wattimena. (2021). Peramalan Cuaca Menggunakan Metode Rantai Markov. *Jurnal Matematika*. Vol. 11 No. 1, Hal: 01-09.
- Syauqi, I. and Murni, D. (2022) 'Analisis Perencanaan Produksi Padi Terhadap Lahan Panen Di Sumatera Barat Menggunakan Rantai Markov Waktu Diskrit', 7(2), pp. 1–7.
- Zamrodah, Y. (2020). Analisis kelayakan usaha tani kubis (*Brassica Oleracea L.*) di desa Beji Kecamatan Junrejo kota Batu. *AGROMIX*, 11(2), 241– 249.