

Optimizing Raw Material Inventory Control in the Animal Feed Industry

[Optimalisasi Pengendalian Persediaan Bahan Baku Pada Industri Pakan Ternak]

Ryan Dwi Wahyuda¹⁾, Tedjo Sukmono^{*2)}

¹⁾Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: thedjoss@umsida.ac.id

Abstract. *The problem of corn raw material overstock in the animal feed industry has led to increased inventory costs and reduced operational efficiency. This study aims to optimize inventory control in order to minimize excess inventory costs using the Markov Chain method with a complete enumeration approach. The data used in this research consist of historical corn demand from October 2023 to September 2025. The research stages include state determination, construction of the transition probability matrix, formulation of stationary policies, and calculation of long-term expected costs. The results indicate that the optimal policy is stationary policy $s = 49$ with a minimum expected excess cost of Rp 82,030,000 per period. The implementation of this policy significantly reduces overstock costs compared to the previous policy, demonstrating that the Markov Chain method is effective for inventory control under fluctuating demand conditions.*

Keywords – Markov Chain; Inventory Control; Overstock

Abstrak. Permasalahan *overstock* bahan baku jagung pada industri pakan ternak menyebabkan meningkatnya biaya persediaan dan menurunnya efisiensi operasional perusahaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pengendalian persediaan guna meminimalkan biaya kelebihan bahan baku menggunakan metode Markov Chain dengan pendekatan enumerasi sempurna. Data yang digunakan merupakan data historis permintaan bahan baku jagung periode Oktober 2023 sampai September 2025. Tahapan penelitian meliputi penentuan state, penyusunan matriks probabilitas transisi, perumusan stationary policy, serta perhitungan ekspektasi biaya jangka panjang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebijakan optimal berada pada stationary policy $s = 49$ dengan nilai ekspektasi biaya kelebihan minimum sebesar Rp 82.030.000 per periode. Penerapan kebijakan ini terbukti mampu menurunkan biaya overstock dibandingkan kebijakan sebelumnya, sehingga metode Markov Chain efektif digunakan sebagai strategi pengendalian persediaan pada kondisi permintaan yang fluktuatif.

Kata Kunci – Rantai Markov; Pengendalian Persediaan; *Overstock*

I. PENDAHULUAN

Pengendalian persediaan merupakan kegiatan pengelolaan untuk menjaga jumlah stok tetap berada pada tingkat yang stabil ataupun aman, agar dapat membantu kelancaran produksi serta pemenuhan permintaan konsumen secara tepat [1]. Dengan mengoptimalkan pengendalian persediaan yang baik, dapat mencegah terjadinya kelebihan ataupun kekurangan persediaan yang akan menimbulkan biaya persediaan yang meliputi, biaya pembelian, biaya penyimpanan, dan biaya pemesanan, serta mengurangi potensi terjadi penghentian proses produksi [2]. Pengendalian persediaan bahan baku jagung memerlukan metode analisis untuk menggambarkan pola kebutuhan secara dinamis. Perubahan permintaan, ragam penggunaan harian, serta ketidakpastian pasokan membuat perusahaan perlu memiliki model prediksi yang akurat untuk menentukan kondisi persediaan pada periode yang akan datang.

PT. XYZ merupakan salah satu perusahaan agribisnis terbesar di Indonesia yang bergerak dalam dalam industri pakan ternak [3]. Dalam industri pakan ternak, jagung digunakan sebagai bahan baku utama dalam pembuatan pakan ternak, sehingga ketersediaan jagung harus dijaga dalam jumlah besar. Perencanaan persediaan yang belum optimal dan perubahan permintaan pakan ternak menyebabkan adanya ketidakseimbangan persediaan dengan penggunaan bahan baku, keadaan ini mengakibatkan perusahaan mengalami *overstock* bahan baku jagung. Pada data persediaan periode Oktober 2023 sampai September 2025, PT. XYZ mengalami kondisi *overstock* kumulatif sebesar 932.997 ton atau sekitar 57,83% dari total permintaan bahan baku jagung sebesar 591.138 Ton dan berdampak pada meningkatnya biaya persediaan serta menurunnya kualitas bahan baku jagung.

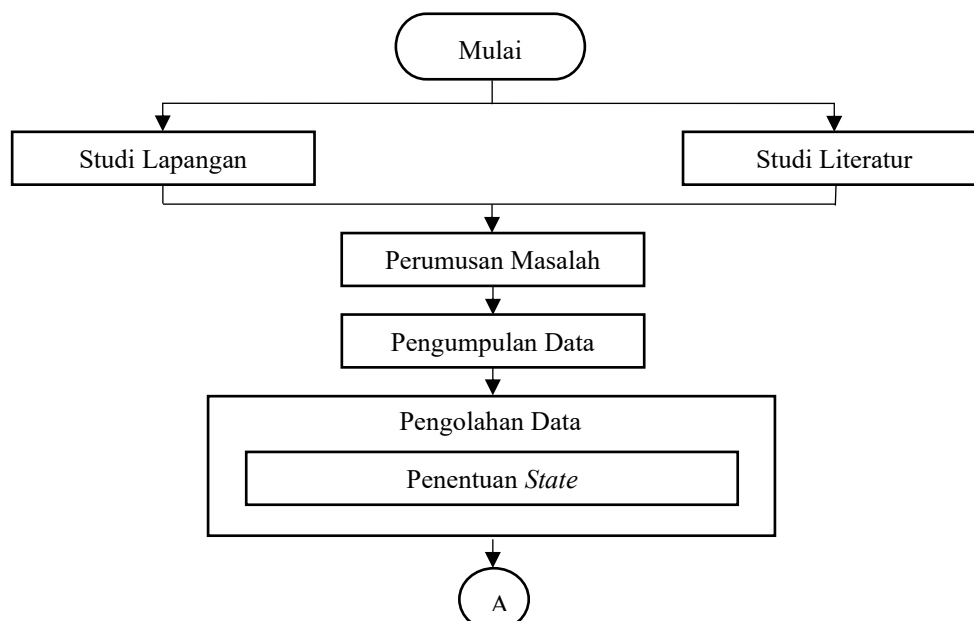
Untuk mengatasi permasalahan bahan baku jagung dengan kondisi *overstock* serta meningkatnya biaya persediaan, maka digunakanlah metode *markov chain* untuk mengoptimalkan persediaan bahan baku jagung serta meminimumkan biaya persediaan. Metode *markov chain* merupakan metode perhitungan yang dipergunakan untuk melakukan pemodelan dengan beragam keadaan [4]. Metode *markov chain* digunakan dalam penelitian ini karena dapat

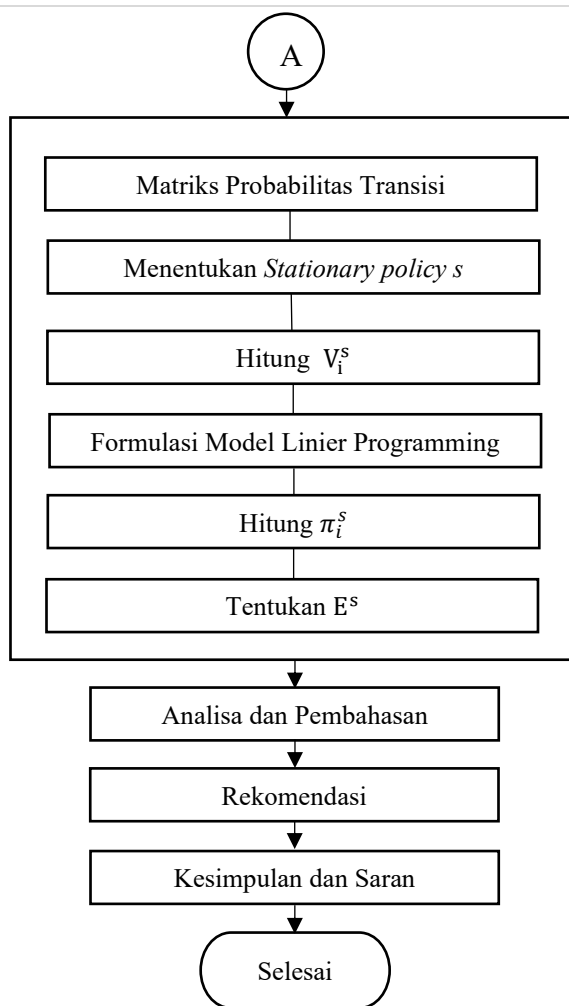
memodelkan perubahan kondisi persediaan bahan baku jagung antar rentang waktu secara probabilistik berdasarkan data historis. Jika dibandingkan dengan metode *Economic Order Quantity* (EOQ) yang mengasumsikan permintaan secara stabil dan pasti [5], metode markov chain sangat sesuai digunakan pada kondisi permintaan yang naik turun dan tidak menentu.

Dalam menyusun penelitian ini, digunakan beberapa penelitian terdahulu seperti penelitian dari [6], yang membahas penelitian tentang pengendalian persediaan untuk memangkas biaya persediaan dengan menggunakan metode *markov chain* pada industri beton. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengurangi biaya persediaan serta mengurangi kelebihan dalam melakukan persediaan bahan baku. Peneliti dari kuswoyo dkk [4], menunjukkan bahwa penggunaan proses stokastik dalam pengendalian persediaan mampu membantu perusahaan memahami pola perubahan tingkat stok dari satu periode ke periode berikutnya, sehingga risiko terjadinya kelebihan atau kekurangan persediaan dapat diminimalkan. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa pemodelan keadaan persediaan secara kuantitatif dapat meningkatkan akurasi perencanaan dan menurunkan biaya operasional terkait persediaan. Penelitian dari Narto dkk [7], juga mengungkapkan bahwa pemodelan probabilistik dengan pendekatan transisi keadaan sangat efektif dalam memprediksi kondisi yang akan terjadi pada periode berikutnya berdasarkan pola historis. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa analisis perubahan kondisi berdasarkan probabilitas transisi memiliki potensi besar untuk digunakan dalam pengendalian persediaan bahan baku jagung, khususnya dalam mengatasi permasalahan *overstock* dan meminimalkan biaya persediaan pada industri pakan ternak. Dengan demikian, perbedaan utama penelitian ini terletak pada fokus objek penelitian, yaitu optimalisasi persediaan bahan baku jagung pada industri pakan ternak dengan memanfaatkan analisis probabilistik untuk menentukan kondisi persediaan yang optimal dan meminimalkan biaya yang timbul dari *overstock*. Penelitian ini terdapat keterkaitan dengan agenda *Sustainable Development Goals* (SDGs) tujuan 2 yaitu, pentingnya efisiensi pemanfaatan sumber daya dan stabilitas sistem pangan [8]. Optimalisasi pengendalian persediaan bahan baku jagung menggunakan metode *markov chain* mendukung tercapainya sistem produksi yang lebih efisien, mengurangi pemborosan, dan memastikan bahan baku yang tersedia untuk keberlanjutan.

II. METODE

Pengolahan data dalam penelitian ini dengan cara kualitatif dan kuantitatif. Pengolahan data kualitatif pengambilan data dengan menggunakan 2 sumber data yaitu data primer dan sekunder. Data primer merupakan sumber data yang didapatkan dari narasumber di lapangan dengan cara wawancara dan observasi secara langsung kepada pihak yang terlibat dalam aktivitas pengendalian persediaan bahan baku jagung [9]. Data sekunder adalah sumber data penelitian yang di dapat secara tidak langsung melalui media penghubung [10], data sekunder pada penelitian ini didapatkan dari dokumen perusahaan berupa data historis pemakaian bahan baku jagung, data permintaan bahan baku, dan laporan persediaan selama periode Oktober 2023 sampai September 2025. Sedangkan pengolahan data kuantitatif menggunakan metode *markov chain* dengan enumerasi sempurna serta dengan bantuan *software POM-QM linier prohraming* untuk menyelesaikan permasalahan pengendalian persediaan. Gambar ini bertujuan untuk guna menentukan alur tahapan penelitian yang dilakukan mulai dari identifikasi masalah hingga diperolehnya kesimpulan penelitian. Tahapan-tahapan penelitian dijelaskan pada diagram alir gambar 1.

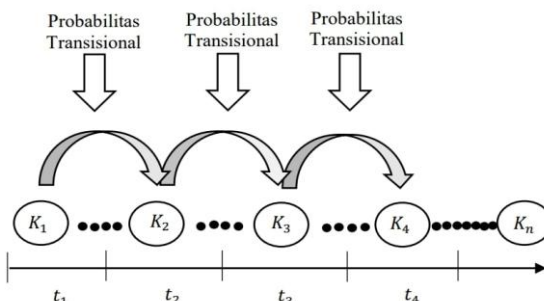




Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

1. Metode Markov Chain

Markov Chain adalah suatu proses stokastik, dimana kejadian pada masa yang akan datang hanya bergantung dengan kejadian pada hari ini serta tidak bergantung pada keadaan masa lalu [11]. Proses markov chain digunakan untuk memodelkan pergantian tingkat persediaan bahan baku jagung dari satu periode ke periode selanjutnya berdasarkan model pergerakan stok yang sudah terjadi sebelumnya. Secara umum suatu proses markov chain merupakan proses stokastik yang setiap variabel acak X_t namun tergantung pada variabel yang mendahului yaitu $X_{(t-1)}$ tetapi mempengaruhi variabel acak selanjutnya yaitu $X_{(t+1)}$ [12]. Maka arti dari rantai menyatakan keterkaitan dengan variabel yang saling berdekatan. Perhitungan probabilitas menggunakan analisa markov chain dilaksanakan dengan cara menentukan rancangan pengamatan.



Gambar 2. Proses Markov

Pada gambar 2 menunjukkan proses transisi keadaan (state) dalam model markov chain, setiap keadaan persediaan ditunjukkan dengan simbol K_1, K_2, K_3, K_4, K_n . Pergerakan antara satu state ke state berikutnya terjadi di interval waktu t_1, t_2, t_3, t_4 , dan seterusnya. Markov chain menjelaskan pergerakan sebagian variabel di titik waktu terbatas pada masa depan berdasarkan pergerakan variabel pada masa kini [13]. Secara sistematis, dapat ditulis:

$$K_{t(j)} = P \times K_{t(j-1)} \dots \dots \dots \text{Rumus 1}$$

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

Sumber: [14]

Keterangan:

$K_{t(j)}$ = Peluang kejadian pada $t_{(j)}$.

P = Probabilitas transisional.

$t_{(j)}$ = Waktu ke-j.

Langkah-langkah untuk menyelesaikan pengolahan data menggunakan metode *markov chain* sebagai berikut:

a. Menentukan *state* atau kondisi persediaan

Proses awal dalam *markov chain* adalah menentukan *state* atau kondisi persediaan yang ada pada sistem. Pengkategorian *state* atau kondisi persediaan bahan baku pada tabel 2.1 yang bertujuan guna menunjukkan pengelompokan kondisi persediaan bahan baku jagung ke dalam beberapa kategori *state* berdasarkan interval jumlah persediaan.

Tabel 1. Kategori Kondisi *Stock* Bahan Baku

State	Kondisi Stock	Interval (Ton)
1	Sangat Rendah	$X \leq 16.722$
2	Rendah	$16.723 \leq X \leq 20.515$
3	Agak Rendah	$20.516 \leq X \leq 24.308$
4	Sedang	$24.309 \leq X \leq 28.101$
5	Tinggi	$28.102 \leq X \leq 31.894$
6	Sangat Tinggi	$X \geq 31.895$

Untuk menentukan *state* maka disusunlah tabel distribusi frekuensi data permintaan bahan baku jagung periode Oktober 2023 sampai September 2025 dilakukan perhitungan banyak kelas/*state*, menentukan rentang, serta menentukan panjang kelas/interval, untuk menentukan perhitungan tersebut digunakanlah rumus-rumus berikut:

Banyak kelas = $1 + 3,3 \log n$ Rumus 2

Rentang = Nilai Maksimum – nilai Minimum Rumus 3

Panjang kelas = $\frac{\text{Rentang}}{\text{Banyak kelas}}$ Rumus 4

Sumber: [15]

Keterangan:

n = jumlah data

b. Menyusun matriks probabilitas transisi

Markov chain waktu diskrit bisa ditulis dalam bentuk matriks probabilitas transisi satu langkah [16]. Matriks ini menggambarkan kemungkinan perpindahan suatu kondisi persediaan dari *state* satu ke *state* lainnya dalam satu interval waktu. Setiap bagian dalam matriks itu menunjukkan kemungkinan kondisi stok di masa depan yang tergantung pada kondisi stok saat ini.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & \cdot \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdot & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \dots \dots \dots \text{Rumus 5}$$

$$[a_{11} \ a_{12} \ \dots \ a_{1n}] \times \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & \cdot \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdot & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} = [a_{11} \ a_{12} \ \dots \ a_{1n}] \dots \dots \dots \text{Rumus 6}$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & \cdot \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdot & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ \vdots \\ a_{m1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ \vdots \\ a_{m1} \end{bmatrix} \dots \dots \dots \text{Rumus 7}$$

Sumber: [14], [17]

Pada rumus matriks probabilitas transisi , ditunjukkan jika sebuah sektor keadaan berdimensi $1 \times m$ dikalikan pada matriks berdimensi $m \times n$, hingga menghasilkan vektor baru berdimensi $1 \times n$ [14].

2. Metode Enumerasi Sempurna

Metode enumerasi sempurna yaitu metode yang mengemunirasi seluruh kebijakan usulan, hingga didapatkan penyelesaian optimumnya [18]. Metode tersebut digunakan sebagai alat evaluasi seluruh alternatif kebijakan persediaan yang dapat diterapkan pada masing-masing *state*, sehingga setiap kombinasi keputusan bisa dihitung nilai ekspektasinya. Melalui metode ini, setiap kemungkinan kebijakan akan dilihat satu persatu sesuai dengan hasil nilai biaya yang ada, sehingga kebijakan yang memiliki nilai biaya ekspektasi terkecil dapat dikenali sebagai solusi yang terbaik. Langkah-langkah enumerasi sempurna adalah sebagai berikut:

1. Merumuskan *stationary policy s*.
2. Menghitung v_i^s , merupakan ekspektasi pendapatan satu langkah yang diperkirakan berawal dari *policy s*, pada *state i*, $i= 1,2,\dots,m$.

- Menghitung π_i^s , merupakan probabilitas stationary s jangka lama dari matriks transisi P^s berkaitan pada policy s. Probabilitas ini dapat dihitung dengan persamaan:
 $\pi^s P^s = \pi^s$ Rumus 8
 $\pi_1^s + \pi_2^s + \dots + \pi_m^s = 1$ Rumus 9
- Tentukan E^s , harapan biaya dari policy s guna setiap langkag transisi (periode) dengan menggunakan persamaan:
 $E^s = \sum_{i=1}^m \pi_i^s v_i^s$ Rumus 10

Sumber: [19], [20]

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Permintaan Bahan Baku

Data yang diperoleh dari penelitian ini adalah data primer yaitu data yang berasal dari hasil observasi dan wawancara kepada pihak yang berpengalaman terhadap bidangnya. Data sekunder diperoleh dari dokumen perusahaan yaitu data historis permintaan bahan baku jagung pada perusahaan industri pakan ternak periode Oktober 2023 sampai September 2025.

Tabel 2. Data Permintaan Bahan Baku Jagung

Periode Permintaan	Bahan Baku Jagung (Ton)	Periode Permintaan	Bahan Baku Jagung (Ton)
Oktober 2023	25.116	Oktober 2024	26.411
November 2023	15.832	November 2024	17.236
Desember 2023	30.215	Desember 2024	22.347
Januari 2024	18.527	Januari 2025	20.942
Februari 2024	21.384	Februari 2025	18.365
Maret 2024	35.682	Maret 2025	16.773
April 2024	12.930	April 2025	24.931
Mei 2024	26.842	Mei 2025	30.612
Juni 2024	28.476	Juni 2025	35.248
Juli 2024	17.946	Juli 2025	30.184
Agustus 2024	28.747	Agustus 2025	31.432
September 2024	26.433	September 2025	28.527

Tabel 2 bertujuan untuk menyajikan data historis permintaan bahan baku jagung yang digunakan sebagai dasar dalam proses analisis penelitian. Berikut merupakan langkah-langkah pengolahan data menggunakan *markov chain* dengan enumerasi sempurna.

1. Penentuan State

Penentuan *state* didapatkan dari data 24 bulan permintaan bahan baku jagung mulai periode Oktober 2023 sampai September 2025. Berikut merupakan hasil dari perhitungan *state* berdasarkan dari data tabel 2.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah data (n)} &= 24 \\
 \text{State} &= 1 + (3,3 \log 24) \\
 &= 6 \\
 \text{Maksimal} &= 35.682 \\
 \text{Minimal} &= 12.930 \\
 \text{Jangkauan} &= 35.682 - 12.930 \\
 &= 22.752 \\
 \text{Panjang Interval} &= 22.752 / 6 \\
 &= 3792
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Interval Data Permintaan Bahan Baku Jagung

Permintaan Bahan Baku Jagung	Nilai Tengah	Frekuensi
12.930	16.722	2
16.723	20.515	5
20.516	24.308	3
24.309	28.101	5
28.102	31.894	7
31.895	35.682	2
Jumlah Data		24

Dari data tabel 3 didapatkan hasil perhitungan *state* sebanyak 6 keadaan dengan panjang interval di setiap kelas sebesar 3.792 ton.

2. Penentuan State per Periode Permintaan Bahan Baku Jagung

Penentuan state dilakukan untuk mengelompokkan tingkat permintaan bahan baku jagung ke dalam beberapa kondisi yang merepresentasikan keadaan sistem persediaan pada setiap periode. Penentuan jumlah state menggunakan rumus *Sturges* berdasarkan jumlah data historis permintaan selama 24 periode (Oktober 2023–September 2025). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa jumlah state yang digunakan dalam penelitian ini adalah 6 keadaan.

Tabel 4. Penentuan *State* per Periode

Periode Permintaan	Bahan Baku Jagung (Ton)	State	Periode Permintaan	Bahan Baku Jagung (Ton)	State
Oktober 2023	25.116	4	Oktober 2024	26.411	4
November 2023	15.832	1	November 2024	17.236	2
Desember 2023	30.215	5	Desember 2024	22.347	3
Januari 2024	18.527	2	Januari 2025	20.942	3
Februari 2024	21.384	3	Februari 2025	18.365	2
Maret 2024	35.682	6	Maret 2025	16.773	2
April 2024	12.930	1	April 2025	24.931	4
Mei 2024	26.842	4	Mei 2025	30.612	5
Juni 2024	28.476	5	Juni 2025	35.248	6
Juli 2024	17.946	2	Juli 2025	30.184	5
Agustus 2024	28.747	5	Agustus 2025	31.432	5
September 2024	26.433	4	September 2025	28.527	5

3. Menyusun Matriks Probabilitas Transisi

Setelah hasil *state* sudah ditentukan, setelah itu menyusun matriks probabilitas transisi sesuai dengan frekuensi data permintaan bahan baku jagung dibawah ini.

Tabel 5. Matriks Probabilitas Transisi

State Awal	State akhir					
	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	1	1	0
2	0	1	2	1	1	0
3	0	1	1	0	0	1
4	1	1	0	1	2	0
5	0	2	0	1	2	1
6	1	0	0	0	1	0

Setiap baris pada tabel menunjukkan *state* awal sedangkan kolom menunjukkan *state* tujuan pada periode berikutnya, nilai pada tabel menunjukkan jumlah kejadian perpindahan antar *state* yang diperoleh dari data historis perusahaan. Pada tabel 5 matriks probabilitas transisi peralihan *state* permintaan bahan baku jagung, kemudian dapat dilakukan dalam matriks sebagai berikut:

$$X^1 = \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,50 & 0,50 & 0,00 \\ 0,00 & 0,20 & 0,40 & 0,20 & 0,20 & 0,00 \\ 0,00 & 0,33 & 0,33 & 0,00 & 0,00 & 0,33 \\ 0,20 & 0,20 & 0,00 & 0,20 & 0,40 & 0,00 \\ 0,00 & 0,33 & 0,00 & 0,17 & 0,33 & 0,17 \\ 0,50 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,50 & 0,00 \end{bmatrix}$$

4. Menentukan *Stationary Policy s*

Stationary policy pada penelitian ini sebanyak 64 peluang yang didapatkan dari 6 *state* dan terdapat 2 tindakan yaitu tidak ada pengadaan dan tindakan pengadaan. Berikut perbaikan persediaan bahan baku jagung. Tabel 6 menunjukkan seluruh alternatif kebijakan persediaan yang dapat diterapkan pada setiap *state* sistem.

Tabel 6. *Stationary Policy S*

<i>Stationary Policy s</i>	Tindakan Pengadaan
1	Tidak melakukan pengadaan
2	Pengadaan tanpa memperhatikan <i>state</i>
3	Pengadaan jika sistem pada <i>state</i> 1
4	Pengadaan jika sistem pada <i>state</i> 2
5	Pengadaan jika sistem pada <i>state</i> 3
6	Pengadaan jika sistem pada <i>state</i> 4
.	.
.	.
49	Pengadaan jika sistem pada <i>state</i> 1,4,5 dan 6
.	.

60	Pengadaan jika sistem pada <i>state</i> 1,2,3,4 dan 6
61	Pengadaan jika sistem pada <i>state</i> 1,2,3,5 dan 6
62	Pengadaan jika sistem pada <i>state</i> 1,2,4,5 dan 6
63	Pengadaan jika sistem pada <i>state</i> 1,3,4,5 dan 6
64	Pengadaan jika sistem pada <i>state</i> 2,3,4,5 dan 6

5. Menghitung harga V_i^s

Perhitungan harga V_i^s pada penelitian ini didapatkan dari perkalian antara probabilitas pada *state* ke-I dengan biaya kelebihan *state* ke-i. Matriks X^1 didapatkan dari matriks probabilitas transisi aktual berdasarkan data historis perusahaan, matriks X^2 didapatkan dari hasil perubahan seluruh *state* yang di kontruksi sebagai alternatif kebijakan. Matriks R adalah biaya kelebihan bahan baku jagung yang diperoleh dari data perusahaan dan telah dikelompokan berdasarkan masin-masing *state* persediaan. Perubahan X^s dan R^s dengan $s = 1,2,3,4,\dots$, disesuaikan dengan dengan *stationary policy* yang dihasilkan dari kombinasi alternatif keputusan masing-masing *state*.

$$\begin{aligned}
 X^1 &= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,50 & 0,50 & 0,00 \\ 0,00 & 0,20 & 0,40 & 0,20 & 0,20 & 0,00 \\ 0,00 & 0,33 & 0,33 & 0,00 & 0,00 & 0,33 \\ 0,20 & 0,20 & 0,00 & 0,20 & 0,40 & 0,00 \\ 0,00 & 0,33 & 0,00 & 0,17 & 0,33 & 0,17 \\ 0,50 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,50 & 0,00 \end{bmatrix} & R^1 &= \begin{bmatrix} 00 & 00 & 00 & 112 & 128 & 00 \\ 00 & 76 & 92 & 107 & 123 & 00 \\ 00 & 81 & 87 & 00 & 00 & 135 \\ 70 & 86 & 00 & 97 & 113 & 00 \\ 00 & 91 & 00 & 102 & 108 & 125 \\ 87 & 00 & 00 & 00 & 113 & 00 \end{bmatrix} \\
 X^2 &= \begin{bmatrix} 0,13 & 0,13 & 0,13 & 0,25 & 0,25 & 0,13 \\ 0,09 & 0,18 & 0,27 & 0,18 & 0,18 & 0,09 \\ 0,11 & 0,22 & 0,22 & 0,11 & 0,11 & 0,22 \\ 0,18 & 0,18 & 0,09 & 0,18 & 0,27 & 0,09 \\ 0,08 & 0,25 & 0,08 & 0,17 & 0,25 & 0,17 \\ 0,25 & 0,13 & 0,13 & 0,13 & 0,25 & 0,13 \end{bmatrix} & R^2 &= \begin{bmatrix} 62 & 81 & 97 & 112 & 128 & 145 \\ 67 & 76 & 92 & 107 & 123 & 140 \\ 72 & 81 & 87 & 102 & 118 & 135 \\ 77 & 86 & 92 & 97 & 113 & 130 \\ 82 & 91 & 97 & 102 & 108 & 125 \\ 87 & 96 & 102 & 107 & 113 & 120 \end{bmatrix} \\
 X^3 &= \begin{bmatrix} 0,13 & 0,13 & 0,13 & 0,25 & 0,25 & 0,13 \\ 0,00 & 0,20 & 0,40 & 0,20 & 0,20 & 0,00 \\ 0,00 & 0,33 & 0,33 & 0,00 & 0,00 & 0,33 \\ 0,20 & 0,20 & 0,00 & 0,20 & 0,40 & 0,00 \\ 0,00 & 0,33 & 0,00 & 0,17 & 0,33 & 0,17 \\ 0,50 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,50 & 0,00 \end{bmatrix} & R^3 &= \begin{bmatrix} 62 & 81 & 97 & 112 & 128 & 145 \\ 00 & 76 & 92 & 107 & 123 & 00 \\ 00 & 81 & 87 & 00 & 00 & 135 \\ 70 & 86 & 00 & 97 & 113 & 00 \\ 00 & 91 & 00 & 102 & 108 & 125 \\ 87 & 00 & 00 & 00 & 113 & 00 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X^{49} &= \begin{bmatrix} 0,13 & 0,13 & 0,13 & 0,25 & 0,25 & 0,13 \\ 0,00 & 0,20 & 0,40 & 0,20 & 0,20 & 0,00 \\ 0,00 & 0,33 & 0,33 & 0,00 & 0,00 & 0,33 \\ 0,18 & 0,18 & 0,09 & 0,18 & 0,27 & 0,09 \\ 0,08 & 0,25 & 0,08 & 0,17 & 0,25 & 0,17 \\ 0,25 & 0,13 & 0,13 & 0,13 & 0,25 & 0,13 \end{bmatrix} & R^{49} &= \begin{bmatrix} 62 & 81 & 97 & 112 & 128 & 145 \\ 00 & 76 & 92 & 107 & 123 & 00 \\ 00 & 81 & 87 & 00 & 00 & 135 \\ 77 & 86 & 92 & 97 & 113 & 130 \\ 82 & 91 & 97 & 102 & 108 & 125 \\ 87 & 96 & 102 & 107 & 113 & 120 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X^{62} &= \begin{bmatrix} 0,13 & 0,13 & 0,13 & 0,25 & 0,25 & 0,13 \\ 0,09 & 0,18 & 0,27 & 0,18 & 0,18 & 0,09 \\ 0,11 & 0,22 & 0,22 & 0,11 & 0,11 & 0,22 \\ 0,20 & 0,20 & 0,00 & 0,20 & 0,40 & 0,00 \\ 0,08 & 0,25 & 0,08 & 0,17 & 0,25 & 0,17 \\ 0,25 & 0,13 & 0,13 & 0,13 & 0,25 & 0,13 \end{bmatrix} & R^{62} &= \begin{bmatrix} 62 & 81 & 97 & 112 & 128 & 145 \\ 67 & 76 & 92 & 107 & 123 & 140 \\ 72 & 81 & 87 & 102 & 118 & 135 \\ 77 & 86 & 00 & 97 & 113 & 00 \\ 82 & 91 & 97 & 102 & 108 & 125 \\ 87 & 96 & 102 & 107 & 113 & 120 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X^{63} &= \begin{bmatrix} 0,13 & 0,13 & 0,13 & 0,25 & 0,25 & 0,13 \\ 0,09 & 0,18 & 0,27 & 0,18 & 0,18 & 0,09 \\ 0,11 & 0,22 & 0,22 & 0,11 & 0,11 & 0,22 \\ 0,18 & 0,18 & 0,09 & 0,18 & 0,27 & 0,09 \\ 0,08 & 0,25 & 0,08 & 0,17 & 0,25 & 0,17 \\ 0,25 & 0,13 & 0,13 & 0,13 & 0,25 & 0,13 \end{bmatrix} & R^{63} &= \begin{bmatrix} 62 & 81 & 97 & 112 & 128 & 145 \\ 67 & 76 & 92 & 107 & 123 & 140 \\ 72 & 81 & 87 & 102 & 118 & 135 \\ 77 & 86 & 92 & 97 & 113 & 130 \\ 00 & 91 & 00 & 102 & 108 & 125 \\ 87 & 96 & 102 & 107 & 113 & 120 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X^{64} &= \begin{bmatrix} 0,13 & 0,13 & 0,13 & 0,25 & 0,25 & 0,13 \\ 0,09 & 0,18 & 0,27 & 0,18 & 0,18 & 0,09 \\ 0,11 & 0,22 & 0,22 & 0,11 & 0,11 & 0,22 \\ 0,18 & 0,18 & 0,09 & 0,18 & 0,27 & 0,09 \\ 0,08 & 0,25 & 0,08 & 0,17 & 0,25 & 0,17 \\ 0,50 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,50 & 0,00 \end{bmatrix} & R^{64} &= \begin{bmatrix} 62 & 81 & 97 & 112 & 128 & 145 \\ 67 & 76 & 92 & 107 & 123 & 140 \\ 72 & 81 & 87 & 102 & 118 & 135 \\ 77 & 86 & 92 & 97 & 113 & 130 \\ 82 & 91 & 97 & 102 & 108 & 125 \\ 87 & 00 & 00 & 00 & 113 & 00 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Hasil V_i^S dihitung sebagai berikut:

$$V_1^1 = (0 \times 0) + (0 \times 0) + (0 \times 0) + (0,5 \times 112) + (0,5 \times 128) + (0 \times 0) = 120$$

$$V_2^1 = (0 \times 0) + (0,20 \times 76) + (0,40 \times 92) + (0,20 \times 107) + (0,20 \times 123) + (0 \times 0) = 98$$

$$V_3^1 = (0 \times 0) + (0,33 \times 81) + (0,33 \times 87) + (0 \times 112) + (0 \times 0) + (0,33 \times 135) = 101$$

$$V_4^1 = (0,20 \times 70) + (0,20 \times 86) + (0 \times 0) + (0,20 \times 97) + (0,40 \times 113) + (0 \times 0) = 97,20$$

$$V_5^1 = (0 \times 0) + (0,33 \times 91) + (0 \times 0) + (0,17 \times 102) + (0,33 \times 108) + (0,17 \times 125) = 104,17$$

$$V_6^1 = (0,50 \times 87) + (0 \times 0) + (0 \times 0) + (0,5 \times 112) + (0,50 \times 113) + (0 \times 0) = 100$$

Sehingga didapatkan nilai V_i^S lainnya pada tabel 6 dibawah ini.

Tabel 7. Hasil V_i^S

s	V_i^S					
	1	2	3	4	5	6
1	120,00	98,00	101,00	97,20	104,17	100,00
2	108,13	99,65	99,68	98,37	102,52	103,13
3	108,13	98,00	101,00	97,20	101,00	101,00
.
49	90,00	98,00	56,00	86,54	81,64	88,13
.
62	108,13	99,65	99,68	97,20	102,52	103,13
63	108,13	99,65	99,68	98,37	104,17	103,13
64	108,13	86,91	69,71	98,37	102,52	100,00

Tabel 7 menunjukkan hasil ekspektasi biaya satu langkah pada setiap *state* untuk masing-masing *stationary policy*.

6. Menghitung π_i^S

Perhitungan probabilitas *stationary policy* didapatkan dari penggunaan rumus 7 dan 8 menggunakan *software POM-QM linier programming* untuk menyelesaikan persamaan linier *matriks* 6x6, sehingga didapatkan persamaan dari hasil *stationary policy* optimum dengan persamaan di bawah ini.

Tabel 8. Hasil π_i^S

s	1	2	3	4	5	6
1	0,24	0,21	0,08	0,27	0,30	-0,11
2	0,13	0,19	0,15	0,17	0,22	0,14
3	0,11	0,20	0,09	0,15	0,29	0,15
.
49	0,09	0,22	0,22	0,14	0,19	0,15
.
62	0,13	0,19	0,13	0,17	0,24	0,14
63	0,11	0,21	0,13	0,17	0,24	0,14
64	0,17	0,15	0,09	0,14	0,25	0,18

7. Menentukan E^S

Perhitungan selanjutnya diperoleh hasil optimum E^S optimum dan E^S terkecil, pada perhitungan ekspektasi biaya kelebihan digunakan persamaan rumus 9 dan diperoleh hasil pada tabel 8.

$$E^1 = (120 \times 0,24) + (98 \times 0,21) + (101 \times 0,08) + (97,2 \times 0,27) + (104,17 \times 0,30) + (100 \times (-0,11))$$

Tabel 9. Hasil E^S

s	Hasil E^S
1	104,26
2	101,68
3	99,56
.	.
49	82,03
.	.
62	101,48
63	101,95
64	95,98

B. Analisa dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan metode *Markov Chain* dengan pendekatan enumerasi sempurna terhadap 64 alternatif *stationary policy*, diperoleh kebijakan optimal pada policy $s = 49$ dengan nilai ekspektasi biaya kelebihan (ES) sebesar 82,03 juta rupiah per periode, yang merupakan nilai minimum dibandingkan kebijakan lainnya. Dibandingkan kondisi awal (policy $s = 1$) sebesar 104,26 juta rupiah, terjadi penghematan biaya sebesar 22,23 juta rupiah per periode, sehingga menunjukkan bahwa penerapan model Markov Chain mampu secara signifikan menekan biaya overstock. Policy $s = 49$ merekomendasikan pengadaan pada state 1, 4, 5, dan 6, serta tidak melakukan pengadaan pada state 2 dan 3, sehingga sistem cenderung berada pada kondisi persediaan yang lebih stabil dan terkendali dalam jangka panjang.

C. Rekomendasi

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan metode *Markov Chain* dengan enumerasi sempurna direkomendasikan sebagai sistem pengendalian persediaan bahan baku jagung pada perusahaan karena mampu menghasilkan kebijakan optimal dengan biaya kelebihan minimum pada policy $s = 49$ sebesar 82,03 juta rupiah per periode. Kebijakan ini dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan keputusan pengadaan berdasarkan kondisi state persediaan sehingga perusahaan dapat menghindari overstock dan menekan biaya penyimpanan. Penerapan model ini juga membantu perusahaan dalam menghadapi permintaan yang bersifat fluktuatif karena keputusan diambil berdasarkan probabilitas transisi jangka panjang, sehingga pengelolaan persediaan menjadi lebih efisien, terukur, dan mendukung stabilitas operasional perusahaan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan metode *Markov Chain* dengan enumerasi sempurna diperoleh hasil optimum sebesar Rp 82.030.000 sebagai biaya kelebihan minimum bahan baku jagung yang dikeluarkan setiap periode. Nilai optimum terletak pada *stationary policy* $s = 49$ yang merekomendasikan tindakan pengadaan jika sistem berada pada state 1, 4, 5, dan 6, serta tidak melakukan pengadaan pada state 2 dan 3. State 1 merupakan kondisi persediaan sangat rendah dengan interval $X \leq 16.722$ ton, state 2 kondisi rendah pada interval $16.723 \leq X \leq 20.515$ ton, state 3 kondisi agak rendah pada interval $20.516 \leq X \leq 24.308$ ton, state 4 kondisi sedang pada interval $24.309 \leq X \leq 28.101$ ton, state 5 kondisi tinggi pada interval $28.102 \leq X \leq 31.894$ ton, dan state 6 kondisi sangat tinggi pada interval $X \geq 31.895$ ton. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penerapan kebijakan optimal ini mampu meminimalkan biaya kelebihan persediaan dibandingkan kebijakan sebelumnya, sehingga dapat digunakan sebagai strategi pengendalian persediaan untuk mengurangi risiko overstock dan meningkatkan efisiensi pengelolaan bahan baku jagung pada periode berikutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penyusunan artikel ini tidak dapat berjalan lancar dan terselesaikan dengan baik tanpa bantuan dari berbagai pihak yang bersangkutan. Terima kasih kepada PT. XYZ yang menjadi tempat penelitian dengan memberikan dan mendukung hal-hal yang dibutuhkan selama penelitian.

REFERENSI

- [1] T. T. Agustin, "Penerapan Metode FIFO (First In First Out) dalam Pengendalian Persediaan Barang," *Jurnal Bisnis, Logistik dan Supply Chain*, vol. 2, no. 2, 2022.
- [2] G. Meningkatkan Optimasi Pengendalian Persediaan Produk and F. Lestari, "Penerapan Metode Economic Order Quantity dan Just in Time," Oktober-Januari. [Online]. Available: <http://bisnisman.nusaputra.ac.id>
- [3] W. A. Mujib, "Sistem Administrasi Gudang Bahan Baku PT Japfa Comfeed Indonesia TBK Unit Gedangan, Sidoarjo," *Economics And Business Management Journal (EBMJ)*, vol. 3, no. 2, 2024.
- [4] R. Kuswoyo, S. Dur, and H. Cipta, "Penerapan Proses Stokastik Markov Chain Dalam Pengendalian Persediaan Produksi Kelapa Sawit di Perkebunan Nusantara IV Sumatera Utara," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 7, no. 2, pp. 429–438, Mar. 2023, doi: 10.33379/gtech.v7i2.2025.
- [5] A. W. Romariardi, Mustafid, and Suryono, "Penerapan Konsep Continuous Review (Q,r) Pada Model Economic Order Quantity (EOQ) Untuk Mengoptimalkan Persediaan Bahan Baku Minuman," *JURNAL SISTEM INFORMASI BISNIS*, vol. 12, no. 1, pp. 66–72, Sep. 2022, doi: 10.21456/vol12iss1pp66-72.
- [6] A. C. Mishani and T. Sukmono, "Markov Chains Slash Inventory Costs in Indonesia," *Indonesian Journal of Innovation Studies*, vol. 25, no. 4, Jun. 2024, doi: 10.21070/ijins.v25i4.1184.
- [7] Narto, Moh. I. Hamim, G. B. HM, D. Junianto, and M. Mahsun, "Peran Pengendalian Persediaan Bahan Baku dengan Pendekatan Bullwhip Effect dalam Supply Chain," *Journal of Administrative Science*, vol. 5, no. 2, 2022.

- [8] A. Sutopo, D. F. Arthati, and U. A. Rahmi, *Kajian Indikator Sustainable Development Goals (SDGs)*. Jakarta, 2014.
- [9] A. Fitrahadi and A. Nurul, "Analisa Pelaksanaan Sistem Pencatatan, Pelaporan dan Bagi Hasil Antara Pemilik Modal dan Pengelola Usaha Perikanan," *Scintea: Jurnal Hasil Penelitian*, vol. 8, no. 2, 2023.
- [10] U. Sulung and M. Muspawi, "Memahami Sumber Data Penelitian: Primer, Sekunder, dan Tersier," *Jurnal Edu Research*, vol. 5, no. 3, 2024.
- [11] I. N. Hidayati, M. Al Haris, and T. W. Utami, "Metode Average Based Fuzzy Time Series Markov Chain pada Data Laju Inflasi di Indonesia," *Prosiding Seminar Nasional UNIMUS*, vol. 5, 2022, [Online]. Available: www.bi.go.id
- [12] R. Prasyayudha, S. Setyawidayat, and F. Hunaini, "Pengaruh Eliminasi Minor Overhaul Terhadap Penurunan Biaya Pokok Penyediaan Pada PLTA Dengan Metode Markov Chain Melalui Laravel," *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, vol. 5, no. 1, 2021, doi: 10.21070/jeeeu.v5i1.1228.
- [13] D. I. Syaifullah and T. Sukmono, "Metode Markov Merevolusi Industri Kertas, Memangkas Biaya Pemeliharaan Secara Global," *Indonesian Journal of Innovation Studies*, vol. 25, no. 4, 2024, doi: 10.21070/ijins.v25i4.1176.
- [14] Siswanto, *Operations Research*, 1st ed. Yogyakarta: Erlangga, 2007.
- [15] A. Wahab, A. Syahid, and Junaedi, "Penyajian Data Dalam Tabel Distribusi Frekuensi Dan Aplikasinya Pada Ilmu Pendidikan," vol. 2, no. 1, 2021, [Online]. Available: <http://jurnal.fai@umi.ac.id>
- [16] A. Akhdan and A. Fauzy, "Pendekatan Rantai Markov Waktu Diskrit dalam Memprediksi Penurunan dan Kenaikan Jumlah Pelanggan Air Minum Baru PDAM Kota Surakarta," *Emerging Statistics and Data Science Journal*, vol. 1, no. 2, 2023.
- [17] Y. D. Pratiwi, *Matriks dan Vektor*, Pertama. Banyumas: Wawasan Ilmu, 2024.
- [18] S. A. Pratama and B. I. Putra, "Analysis of Machine Maintenance Using Markov Chain Method for Reducing Maintenance Cost," *Seminar Nasional Inovasi Teknologi*, vol. 6, no. 1, 2022.
- [19] T. T. Dimiyati and A. Dimiyati, *Operations Research : Model-model Pengambilan Keputusan*. Bandung: Sinar baru Algensindo, 2011.
- [20] A. T. Hamdy, *Riset Operasi*. 1997.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.