Optimization Inventory Control of Sand in Ready Mix Concrete Using Markov Chain's Method
[Optimalisasi Pengendalian Persediaan Bahan Baku Pasir pada Beton Siap Pakai Menggunakan Rantai Markov]

Adinda Chamilia Mishani[1)], 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. *PT. Varia Usaha Beton is a subsidiary of PT. Semen Indonesia Beton which produces various kinds of concrete products, construction services, and equipment rental services. The problem that occurs is the decline in the target by 8% in 2022. This was caused by uncontrolled inventory control, so one of the raw materials that experienced an overstock of 15.150 tons was sand in plant BSP Sayung, Central Java. To overcome the supply problem, an alternative or solution is needed, namely using a markov chain with perfect enumeration to determine the amount of sand raw material at a minimum cost and a strategy to minimize the occurrence of excess sand raw material. The research results obtained that policy 58 resulted in an expectation of a minimum monthly excess fee of Rp. 32,463,360 compared to other policies. As a result, the minimum long-term policy is to make improvements if the system is in state 3,4,5, or 6. This situation can provide a strategy for companies to minimize the overstock of sand raw materials*
Keywords – *optimization; inventory control; markov chain; perfect enumeration; inventory cost*

Abstrak. PT. Varia Usaha Beton merupakan salah satu anak perusahaan PT. Semen Indonesia Beton yang memproduksi berbagai macam produk beton, jasa konstruksi, dan jasa sewa peralatan. Permasalahan yang terjadi adalah menurunnya target sebesar 8% pada tahun 2022. Hal ini disebabkan oleh pengendalian persedian tidak terkontrol, sehingga salah satu bahan baku yang mengalami *overstock* sebesar 15.150 ton yaitu pasir di *plant* BSP Sayung, Jawa Tengah. Untuk mengatasi permasalahan persediaan dibutuhkan suatu alternatif atau penyelesaian yaitu menggunakan rantai markov dengan enumerasi sempurna untuk menentukan jumlah bahan baku pasir dengan biaya minimum dan strategi meminimalisir terjadinya kelebihan bahan baku pasir. Hasil penelitian yang diperoleh bahwa *policy* 58 menghasilkan ekspetasi biaya kelebihan bulanan paling minimum sebesar Rp. 32.463.360 dibandingkan dengan *policy* lain. Akibatnya, *policy* jangka panjang yang minimum adalah melakukan perbaikan jika sistem berada pada *state* 3,4,5, atau 6. Keadaan ini dapat memberikan strategi kepada perusahaan untuk meminimalisir terjadinya *overstock* pada bahan baku pasir.

Kata Kunci – optimalisasi; pengendalian persediaan; rantai markov; enumerasi sempurna; biaya persediaan

I. PENDAHULUAN

Beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan lain untuk membentuk massa padat [1]. Beton siap pakai adalah beton yang sudah siap digunakan tanpa proses pengolahan atau pencampuran di lapangan. Pertumbuhan dan perkembangan konstruksi mempengaruhi banyaknya permintaan kebutuhan beton siap pakai. Meningkatnya kebutuhan beton siap pakai mempengaruhi pemenuhan bahan baku yang optimal untuk proses produksi. Bahan baku merupakan barang yang akan menjadi bagian dari produk jadi dan faktor penting untuk menentukan tingkat harga pokok dan kelancaran proses produksi [2]. Jenis bahan baku antara lain bahan baku langsung dan bahan baku tidak langsung [3].

PT. Varia Usaha Beton mengalami penurunan target sebesar 8% pada tahun 2022 di *plant* BSP Sayung, Jawa Tengah. Hal ini diakibatkan oleh pengendalian persedian tidak terkontrol, sehingga salah satu bahan baku yang mengalami *overstock* yaitu pasir. Pasir merupakan bahan konstruksi memiliki peran penting dalam pembangunan karena sering digunakan pada struktur paling bawah hingga paling atas dalam bangunan. Fungsinya sebagai pasir urug, adukan, hingga campuran beton. Selain itu masih banyak pengunaan pasir dalam bahan bangunan yang dipergunakan sebagai bahan campuran untuk material cetak [4]. Pasir mengalami *overstock* sebesar 15.150 ton karena tingkat rencana pengadaan bahan baku pasir lebih besar dibandingkan dengan tingkat realisasi pada tahun 2022. Sehingga terjadi biaya-biaya tambahan dalam penyimpanan bahan baku di lapangan atau gudang. Maksimum penempatan pasir pada gudang sebesar 10.000 ton.

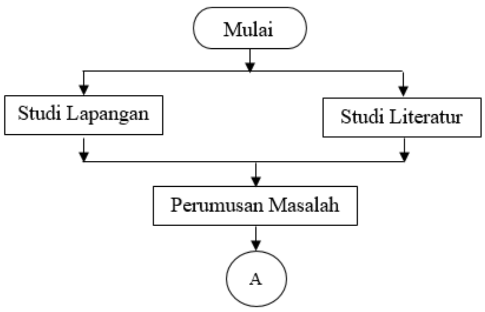
Pengendalian persediaan adalah kegiatan dalam memperkirakan jumlah persediaan dan serangkaian kebijakan pengendalian untuk menentukan tingkat persediaan yang harus dijaga, kapan pesanan ditambah, dan berapa besar yang harus dipesan agar jumlah tidak terlalu besar dan tidak kurang. Salah satu tujuan persediaan adalah mendapatkan biaya yang minimum [5]. Mengendalikan persediaan secara tepat bukan hal yang mudah, jika jumlah persediaan terlalu besar akan menimbulkan terjadinya dana menganggur yang besar, meningkatnya biaya penyimpanan, serta risiko mengikisnya atau berkurangnya bahan baku yang lebih besar. Namun, apabila persediaan terlalu sedikit akan mengakibatkan berhentinya proses produksi, tertundanya penjualan barang, serta hilangnya pelanggan [6]. Dalam pengendalian persediaan, dibutuhkan biaya-biaya persediaan. Klasifikasi biayanya antara lain biaya pembelian, biaya pengadaan (biaya pemesanan dan biaya pembuatan), biaya penyimpanan (biaya modal, biaya gudang, biaya kerusakan dan penyusutan, biaya kadaluwarsa, biaya jaminan asuransi, dan biaya administrasi dan pemindahan), dan biaya kekurangan persediaan (kuantitas tidak terpenuhi, waktu pemenuhan, dan biaya pengadaan darurat) [7].

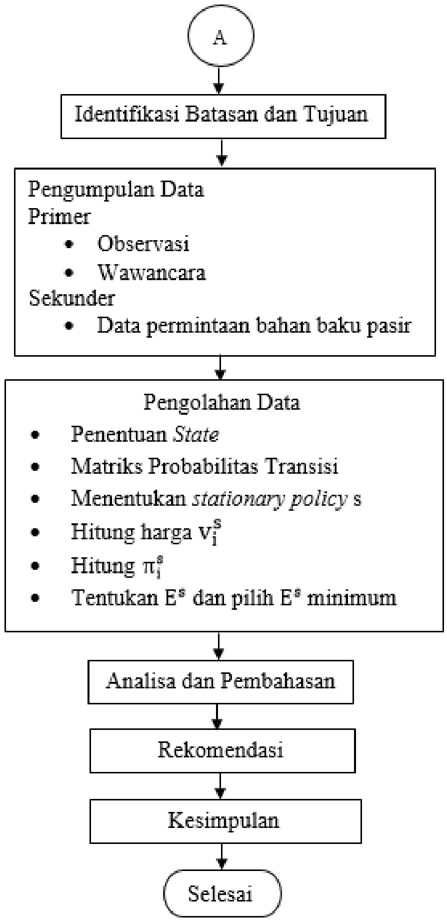
Pada suatu perusahaan tentu ada permasalahan dalam persediaan. Salah satu alternatif atau penyelesaian untuk mengatasi permasalahan menggunakan rantai markov. Rantai markov merupakan teknik matematika yang biasa digunakan untuk melakukan pemodelan (*modelling*) dengan variasi sistem dan prosedur bisnis. Hal ini dapat digunakan untuk meramalkan perubahan di waktu yang akan datang dalam variabel dinamis atas dasar perubahan variabel dinamis di waktu yang lampau [8]. Pengendalian persediaan yang dikenal sebagai proses stokastik juga dapat dijalankan tanpa mempertimbangkan tingkat *safety stock*, *lead time*, dan *reorder point*. Proses stokastik dari kuantitas persediaan dapat dijelaskan oleh jumlah *states* yang terbatas. Probabilitas transisi di antara *states* ini dijelaskan oleh suatu rantai markov (*markov chain*), sedangkan struktur biaya proses ini juga dijelaskan oleh suatu matriks yang setiap elemennya menyatakan pendapatan atau ongkos yang dihasilkan dari pergerakan dari suatu *state* ke *state* yang lain. Matriks transisi maupun matriks pendapatan (biaya) ini sifatnya bergantung pada alternatif keputusan yang dapat digunakan. Tujuannya adalah menentukan keputusan optimal yang dapat mengoptimalkan ekspetasi pendapatan atau biaya dari proses tersebut [6].

Dalam penelitian ini data akan diolah menggunakan metode rantai markov dengan enumerasi sempurna. Metode enumerasi sempurna pada rantai markov merupakan metode yang mengemunirasi semua kebijakan usulan, sampai diperoleh solusi optimumnya. Pengolahan data akan dibantu menggunakan *software matrix laboratory* (*MATLAB*). *MATLAB* sering digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matriks, optimasi, aproksimasi, dan lain-lain. *MATLAB* sering diiimplementasikan pada bidang: matematika dan komputasi, pengembangan dan algoritma, pemrograman modeling, simulasi, dan pembuatan prototype, analisa data, eksplorasi, dan visualisasi, analisis data numerik dan statistik, serta pengembangan aplikasi teknik. Sesuai dengan fungsinya yang telah disebutkan seperti sebelumnya yaitu untuk membantu menyelesaikan tugas dalam bentuk aljabar. Kemudian persamaan linier matriks akan diimplementasikan melalui *software MATLAB*. *MATLAB* merupakan suatu program untuk analisis dan komputasi numerik, sebuah bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks [9]. Program *MATLAB* sangat cocok digunakan untuk aplikasi Sains, karena memiliki hasil yang lebih akurat dibandingkan menghitung secara manual [10]. Tujuan penelitian ini adalah menentukan jumlah bahan baku pasir dengan biaya optimum dan strategi meminimalisir terjadinya kelebihan bahan baku yang ada di PT. Varia Usaha Beton.

II. METODE

Pengolahan data dalam penelitian ini secara kualitatif dan kuantitatif. Pengolahan data kualitatif didasarkan melalui pengambilan data dengan melakukan observasi atau pengamatan mengenai permasalahan yang telah terjadi, wawancara terhadap narasumber yang *expert* sesuai bidangnya, dan pengambilan data sekunder pada web perusahaan berupa data permintaan bahan baku pasir saat perencanaan dan realisasi pada Januari 2021 hingga Desember 2022. Sedangkan pengolahan data kuantitatif menggunakan metode rantai markov dengan enumerasi sempurna untuk penyelesaian permasalahan pengendalian persediaan. Pengendalian merupakan suatu usaha yang dilakukan agar suatu kegiatan dapat direalisasikan sesuai rencana. Sedangkan, persediaan merupakan barang atau bahan yang menjadi objek usaha suatu perusahaan [11]. Pengendalian persediaan melibatkan pemeliharaan persediaan pada tingkat yang optimal agar keuntungan dapat ditingkatkan. Mengelola persdiaan dengan jumlah yang tepat adalah penting untunk menghindari dampak negatif yang akan terjadi di perusahaan [12]. Tahapan-tahapan penelitian dijelaskan dengan diagram alir sesuai dengan gambar 1.





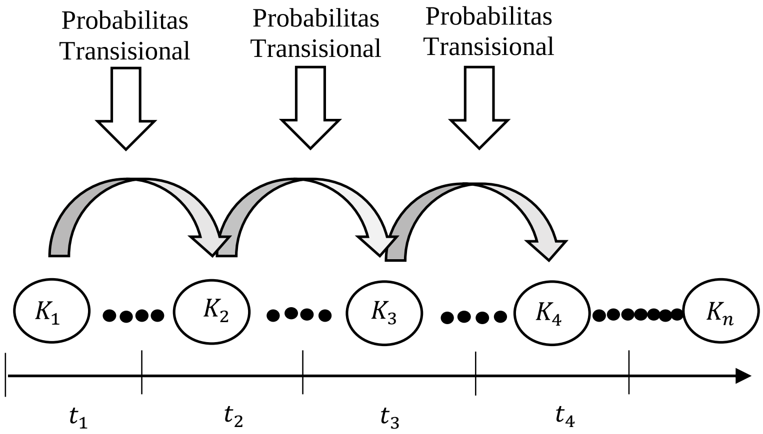
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

1. Rantai Markov (*Markov Chain*)

Rantai markov adalah suatu metode perhitungan yang biasanya digunakan untuk melakukan pemodelan dalam berbagai keadaan. Metode ini digunakan untuk memperhitungkan perubahan yang terjadi di masa mendatang. Perubahan ini dapat digunakan dalam variabel-variabel dinamis di waktu yang telah ditentukan. Sehingga yang dibutuhkan dari masing-masing nilai variabel tersebut ialah waktu yang telah ditentukan. Dengan kata lain, sifat markov tersebut dapat dinyatakan sebagai kesempatan bersyarat terhadap sesuatu peristiwa di masa mendatang yang tidak dipengaruhi oleh peristiwa di masa kemudian, namun hanya dipengaruhi oleh peristiwa di masa ini [13]. Secara umum suatu proses rantai markov adalah proses stokastik dimana setiap variabel acak X_t hanya tergantung pada variabel yang mendahuluinya yaitu $X_{(t-1)}$ dan hanya mempengaruhi variabel acak berikutnya yaitu $X_{(t+1)}$. Sehingga istilah rantai disini menyatakan kaitan antara variabel yang saling berdekatan. Perhitungan probabilitas dengan menggunakan analisis markov dilakukan dengan menentukan rancangan pengamatan. Rancangan pengamatan kemudian menjadi dasar dalam perhitungan probabilitas [14]. Dalam penerapan rantai markov ada beberapa asumsi yang harus terpenuhi yaitu [15]:

a. Jumlah probabilitas transisi untuk setiap keadaan awal dari sistem bernilai 1
b. Probabilitas-probabilitas tersebut berlaku untuk semua partisipan dalam sistem
c. Probabilitas transisi konstan sepanjang waktu, artinya peluang untuk setiap keadaan dari periode $n \geq 0$ adalah sama
d. *State* independen sepanjang waktu

Berdasarkan temuan Andrei Andreyevich, markov adalah untuk setiap waktu t, ketika kejadian adalah K_t, dan seluruh kejadian sebelumnya adalah $K_{t(j)}, \ldots, K_{t(j-n)}$ yang terjadi dari proses yang diketahui, probabilitas seluruh kejadian yang akan datang $K_{t(j)}$ hanya tergantung kejadian pada $K_{t(j-1)}$ dan tidak tergantung pada kejadian yang terjadi sebelumnya. Gambaran mengenai rantai markov dapat dilihat pada gambar 2 yang mana gerakan-gerakan dari beberapa variabel di masa yang akan datang bisa diprediksi berdasarkan gerakan variabel tersebut di masa lalu. K_{t4} dipengaruhi oleh kejadian K_{t3}, K_{t3} dipengaruhi oleh kejadian K_{t2}, dan demikian seterusnya dimana perubahan ini terjadi karena peran probabilitas transisional (*transitional probability*). Kejadian K_{t2} misalnya, tidak akan dipengaruhi oleh kejadian K_{t4} [16].



Gambar 2. Proses Markov

Karena sifatnya yang berantai markov, maka teori ini diketahui juga dengan nama rantai markov. Dengan demikian, rantai markov akan menjelaskan gerakan-gerakan dari beberapa variabel dalam satu periode waktu di masa yang akan datang berdasarkan pada gerakan variabel tersebut di masa ini. Secara matematik, dapat ditulis sebagai berikut:

$K_{t(j)}= P \text{ x } K_{t(j-1)}$ ....(1)

Sumber: [16]

Keterangan:

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

P = probabilitas transisional

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

Berikut Langkah-langkah penyelesaian pengolahan data menggunakan rantai markov sabagai berikut [8]:

a. Menentukan *state*

Langkah awal dalam proses markov adalah menentukan *state* atau keadaan apa saja yang ada dalam sistem tersebut. Klasifikasi *state* atau keadaan bahan baku dapat diklasifikasikan sesuai kondisi sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi Kondisi Bahan Baku.

State	Kondisi	*Interval* (Ton)
1	Tidak ada kelebihan	0 ≤ x ≤ 8.104
2	Kelebihan sangat sedikit	8.105 ≤ x ≤ 11.419
3	Kelebihan sedikit	11.420 ≤ x ≤ 14.734
4	Kelebihan	14.735 ≤ x ≤ 18.049
5	Kelebihan banyak	18.050 ≤ x ≤ 21.364
6	Kelebihan sangat banyak	21.365 ≤ x ≤ 24.679

Dalam menentukan *state* dilakukan terlebih dahulu menyusun tabel distribusi frekuensi data permintaan bahan baku pasir 2021-2022 dengan dilakukan perhitungan untuk menetukan banyak kelas/*state*, menentukan jangkauan/rentang, dan selanjutnya menentukan panjang kelas dengan rumus-rumus sebagai berikut:

Banyak kelas = 1 + 3,3 log n...(2)

Jangkauan = maksimum – minimum...(3)

Panjang kelas = $\frac{\text{Jangkauan}}{\text{Banyak kelas}}$...(4)

Sumber: [17]

Keterangan

n = jumlah data

b. Menyusun matriks probabilitas transisi

Matriks probabilitas transisi adalah suatu matriks yang mana elemen-elemennya adalah nilai probabilitas transisi dari suatu *state* ke *state* lain atau ke *state* itu sendiri pada suatu sistem tertentu [8]. Dinamika variabel yang diamati mempengaruhi setiap kejadian dalam proses markov dituangkan ke dalam suatu matriks yang dikenal sebagai probabailitas transisional (*transitional probability*) yang berdimensi m x n. Dalam hal ini a_{ij} mencerminkan peluang perubahan dari keadaan i ke keadaan j atau dari keadaan j ke keadaan i. tergantung pada penempatannya. Berikut ini merupakan ilustrasi matriks probabilitas transisional [16].

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & . & . & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ a_{m1} & . & . & . & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Sumber: [16]

Jika sebuah vektor yang berdimensi (l x m) dikalikan dengan matriks yang berdimensi (m x n) maka perkalian itu akan menghasilkan vektor berdimensi (l x n). Sebaliknya, jika matriks yang berdimensi (mxn) dikalikan dengan vektor yang berdimensi (n x l), maka perkalian itu akan menghasilkan vektor yang berdimensi (m x l). Dimensi vektor sesuai dengan penjelasan mengenai penempatan dari dan ke [16].

$$[a_{11} a_{12} .. a_{1n}] \text{ x } \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & . & . & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ a_{m1} & . & . & . & a_{mn} \end{bmatrix} = [a_{11} a_{12} .. a_{1n}] \quad \text{......(5)}$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & . & . & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ a_{m1} & . & . & . & a_{mn} \end{bmatrix} \text{ x } \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ . \\ . \\ a_{m1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ . \\ . \\ a_{m1} \end{bmatrix} \quad \text{......(6)}$$

Sumber: [16]

2. Enumerasi Sempurna

Metode enumerasi sempurna yang mengemunirasi semua kebijakan usulan, sampai diperoleh solusi optimumnya. Metode ini digunakan untuk menyelesaikan masalah yang mempunyai saat atau stage terbatas, walaupun begitu metode ini hanya bisa dipakai bila kebijakan usulannya tidak terlalu banyak, sebagai akibatnya masih sanggup dihitung [18]. Langkah-langkah enumerasi sempurna adalah sebagai berikut [19],[20]:

a. Menentukan *stasionary policy* s.
b. Menghitung harga v_i^s, yaitu ekspetasi pendapatan satu langkah (satu periode) yang diperkirakan dari *policy* s, pada *state* i, i= 1,2,…,m.
c. Menghitung π_i^s, yaitu probabilitas stationary jangka panjang dari matriks transisi P^s yang berkaitan dengan policy *s*. Probabilitas ini, jika ada dihitung dengan persamaan:
   $\pi^s P^s = \pi^s$ ......(7)
   $\pi_1^s + \pi_2^s + \ldots + \pi_m^s = 1$ ......(8)
   Dimana $\pi^s = (\pi_1^s , \pi_2^s , \ldots , \pi_m^s)$
d. Tentukan E^s, ekspetasi pendapatan atau biaya dari *policy* s untuk setiap langkah transisi (periode) dengan menggunakan persamaan:
   $E^s = \sum_{i=1}^{m} \pi_i^s v_i^s$ ......(9)

Sumber: [19],[20]

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulan pada penelitian ini adalah data primer berupa data hasil observasi dan wawancara kepada pihak yang *expert* terhadap bidangnya. Kemudian dikumpulkan data sekunder yang diambil dari web perusahaan berupa data permintaan bahan baku pasir *plant* BSP Sayung, Jawa Tengah tahun 2021-2022.

Tabel 2. Data Permintaan Bahan Baku Pasir

Data Permintaan Bahan Baku Pasir		
Bulan	2021	2022
Januari	11.085	10.951
Februari	9.361	14.545
Maret	6.447	15.040
April	14.807	17.046
Mei	13.577	8.693
Juni	16.113	11.825
Juli	24.963	14.822

Agustus	20.032	13.139
September	17.735	10.040
Oktober	22.418	16.331
November	12.650	17.047
Desember	15.502	9.303
Jumlah	184.690	158.782
Rata-rata	15.391	13.232

B. Pengolahan Data

Berikut ini merupakan langkah-langkah pengolahan data menggunakan rantai markov dengan enumerasi sempurna.

1. Penentuan *State*

State ditentukan dari data 24 bulan permintaan bahan baku pasir mulai Januari 2021 hingga Desember 2022. Berikut ini hasil perhitungan state berdasarkan data pada tabel 2.

Jumlah data (n) = 24

Kelas/*state* = 1 + (3,3 log 24)
= 6

Maksimal = 24.963

Minimal = 6.447

Jangkauan = 24.963 – 6.447
= 18.516

Panjang *interval* = $\frac{18.516}{6}$
= 3.315

Tabel 3. *Interval* Data Permintaan Bahan Baku Pasir

Permintaan		Nilai Tengah	Frekuensi
6.447	9.761	8.104	4
9.762	13.076	11.419	5
13.077	16.391	14.734	9
16.392	19.706	18.049	3
19.707	23.021	21.364	2
23.022	26.336	24.679	1
Jumlah			24

Sehingga dari perhitungan diatas didapatkan hasil kelas atau *state* sebanyak 6 keadaan seperti tabel 1 dengan panjang *interval* di setiap *state* sebesar 3.315 ton.

2. Menyusun Matriks Probabilitas Transisi

Setelah menentukan *state*, kemudian menyusun matriks probabilitas transisi sesuai dengan frekuensi data permintaan bahan baku pasir sebagai berikut:

Tabel 4. Matriks Probabilitas Transisi

State Awal	*State* Akhir					
	1	2	3	4	5	6
1	2	1	1	0	0	0
2	0	1	2	1	1	0
3	0	0	3	1	2	3
4	0	0	0	1	1	1
5	0	0	0	0	1	1
6	0	0	0	0	0	1

Tabel 4 merupakan hasil frekuensi peralihan *state* permintaan bahan baku pasir, kemudian dapat dilakukan dalam matriks sebagai berikut:

$$X^1 = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,25 & 0,25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,2 & 0,4 & 0,2 & 0,2 & 0 \\ 0 & 0 & 0,33 & 0,11 & 0,22 & 0,33 \\ 0 & 0 & 0 & 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3. Menentukan *Stationary Policy* s

Stationary policy pada penelitian ini sebanyak 64 peluang dengan berbagai tindakan perbaikan yang berbeda di setiap *state*. Berikut ini perbaikan persediaan bahan baku pasir:

Tabel 5. *Stationary Policy* s

Stationary Policy s	Tindakan
1	Tidak melakukan perbaikan
2	Perbaikan tanpa memperhatikan *state*
3	*Repair* jika sistem pada *state* 1
4	*Repair* jika sistem pada *state* 2
5	*Repair* jika sistem pada *state* 3
6	*Repair* jika sistem pada *state* 4
7	*Repair* jika sistem pada *state* 5
.	.
.	.
.	.
58	*Repair* jika sistem pada *state* 3,4,5, atau 6
59	*Repair* jika sistem pada *state* 1,2,3,4, atau 5
60	*Repair* jika sistem pada *state* 1,2,3,4, atau 6
61	*Repair* jika sistem pada *state* 1,2,3,5, atau 6
62	*Repair* jika sistem pada *state* 1,2,4,5, atau 6
63	*Repair* jika sistem pada *state* 1,3,4,5, atau 6
64	*Repair* jika sistem pada *state* 2,3,4,5, atau 6

4. Menghitung harga v_i^s

Perhitungan v_i^s pada penelitian ini merupakan perkalian antara probabilitas pada *state* ke-i dengan biaya kelebihan pada *state* ke-i. X^1 didapatkan dari matriks probabilitas transisi, sedangkan X^2 didapatkan dari hasil perubahan semua *state* yang didapatkan dari data perusahaan. R merupakan biaya kelebihan bahan baku pasir yang diperoleh dari perusahaan. Perubahan X^s dan R^s, dengan s= 3,4,5…,dst disesuaikan dengan tindakan keadaan *stationary policy* s.

$$X^1 = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,25 & 0,25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,2 & 0,4 & 0,2 & 0,2 & 0 \\ 0 & 0 & 0,33 & 0,11 & 0,22 & 0,33 \\ 0 & 0 & 0 & 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad R^1 = \begin{bmatrix} 27 & 30 & 33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 32 & 34 & 35 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 35 & 37 & 38 & 39 \\ 0 & 0 & 0 & 34 & 35 & 37 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 37 & 38 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 \end{bmatrix}$$

$$X^2 = \begin{bmatrix} 0,4 & 0,2 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,2 & 0,3 & 0,2 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,2 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,1 & 0,2 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,2 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,2 & 0,2 & 0,3 \end{bmatrix} \qquad R^2 = \begin{bmatrix} 29 & 31 & 32 & 34 & 35 & 36 \\ 28 & 33 & 35 & 36 & 37 & 38 \\ 30 & 32 & 33 & 34 & 36 & 37 \\ 29 & 30 & 33 & 35 & 37 & 35 \\ 31 & 32 & 31 & 33 & 36 & 37 \\ 30 & 33 & 32 & 34 & 37 & 38 \end{bmatrix}$$

$$X^3 = \begin{bmatrix} 0,4 & 0,2 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0 & 0,2 & 0,4 & 0,2 & 0,2 & 0 \\ 0 & 0 & 0,33 & 0,11 & 0,22 & 0,33 \\ 0 & 0 & 0 & 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad R^3 \begin{bmatrix} 29 & 31 & 32 & 34 & 35 & 36 \\ 0 & 32 & 34 & 35 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 35 & 37 & 38 & 39 \\ 0 & 0 & 0 & 34 & 35 & 37 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 37 & 38 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 \end{bmatrix}$$

$$X^4 = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,25 & 0,25 & 0 & 0 & 0 \\ 0,2 & 0,3 & 0,2 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0,33 & 0,11 & 0,22 & 0,33 \\ 0 & 0 & 0 & 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad R^4 = \begin{bmatrix} 27 & 30 & 33 & 0 & 0 & 0 \\ 28 & 33 & 35 & 36 & 37 & 38 \\ 0 & 0 & 35 & 37 & 38 & 39 \\ 0 & 0 & 0 & 34 & 35 & 37 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 37 & 38 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 \end{bmatrix}$$

$$X^5 = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,25 & 0,25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,2 & 0,4 & 0,2 & 0,2 & 0 \\ 0,1 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,2 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0 & 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad R^5 = \begin{bmatrix} 27 & 30 & 33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 32 & 34 & 35 & 0 & 0 \\ 30 & 32 & 33 & 34 & 36 & 37 \\ 0 & 0 & 0 & 34 & 35 & 37 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 37 & 38 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 \end{bmatrix}$$

$$X^6 = \begin{bmatrix} 0{,}5 & 0{,}25 & 0{,}25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0{,}2 & 0{,}4 & 0{,}2 & 0{,}2 & 0 \\ 0 & 0 & 0{,}33 & 0{,}11 & 0{,}22 & 0{,}33 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}1 & 0{,}2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0{,}5 & 0{,}5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad R^6 = \begin{bmatrix} 27 & 30 & 33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 32 & 34 & 35 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 35 & 37 & 38 & 39 \\ 29 & 30 & 33 & 35 & 37 & 35 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 37 & 38 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 \end{bmatrix}$$

$$X^7 = \begin{bmatrix} 0{,}5 & 0{,}25 & 0{,}25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0{,}2 & 0{,}4 & 0{,}2 & 0{,}2 & 0 \\ 0 & 0 & 0{,}33 & 0{,}11 & 0{,}22 & 0{,}33 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}33 & 0{,}33 & 0{,}33 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad R^7 = \begin{bmatrix} 27 & 30 & 33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 32 & 34 & 35 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 35 & 37 & 38 & 39 \\ 0 & 0 & 0 & 34 & 35 & 37 \\ 31 & 32 & 31 & 33 & 36 & 37 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 \end{bmatrix}$$

$$\vdots \qquad\qquad \vdots$$

$$X^{58} = \begin{bmatrix} 0{,}5 & 0{,}25 & 0{,}25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0{,}2 & 0{,}4 & 0{,}2 & 0{,}2 & 0 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 & 0{,}1 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}1 & 0{,}2 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}2 & 0{,}3 \end{bmatrix} \qquad R^{58} = \begin{bmatrix} 27 & 30 & 33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 32 & 34 & 35 & 0 & 0 \\ 30 & 32 & 33 & 34 & 36 & 37 \\ 29 & 30 & 33 & 35 & 37 & 35 \\ 31 & 32 & 31 & 33 & 36 & 37 \\ 30 & 33 & 32 & 34 & 37 & 38 \end{bmatrix}$$

$$X^{59} = \begin{bmatrix} 0{,}4 & 0{,}2 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 \\ 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 & 0{,}1 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}1 & 0{,}2 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad R^{59} = \begin{bmatrix} 29 & 31 & 32 & 34 & 35 & 36 \\ 28 & 33 & 35 & 36 & 37 & 38 \\ 30 & 32 & 33 & 34 & 36 & 37 \\ 29 & 30 & 33 & 35 & 37 & 35 \\ 31 & 32 & 31 & 33 & 36 & 37 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 \end{bmatrix}$$

$$X^{60} = \begin{bmatrix} 0{,}4 & 0{,}2 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 \\ 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 & 0{,}1 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}1 & 0{,}2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0{,}5 & 0{,}5 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}2 & 0{,}3 \end{bmatrix} \qquad R^{60} = \begin{bmatrix} 29 & 31 & 32 & 34 & 35 & 36 \\ 28 & 33 & 35 & 36 & 37 & 38 \\ 30 & 32 & 33 & 34 & 36 & 37 \\ 29 & 30 & 33 & 35 & 37 & 35 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 37 & 38 \\ 30 & 33 & 32 & 34 & 37 & 38 \end{bmatrix}$$

$$X^{61} = \begin{bmatrix} 0{,}4 & 0{,}2 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 \\ 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 & 0{,}1 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}33 & 0{,}33 & 0{,}33 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}2 & 0{,}3 \end{bmatrix} \qquad R^{61} = \begin{bmatrix} 29 & 31 & 32 & 34 & 35 & 36 \\ 28 & 33 & 35 & 36 & 37 & 38 \\ 30 & 32 & 33 & 34 & 36 & 37 \\ 0 & 0 & 0 & 34 & 35 & 37 \\ 31 & 32 & 31 & 33 & 36 & 37 \\ 30 & 33 & 32 & 34 & 37 & 38 \end{bmatrix}$$

$$X^{62} = \begin{bmatrix} 0{,}4 & 0{,}2 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 \\ 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 \\ 0 & 0 & 0{,}33 & 0{,}11 & 0{,}22 & 0{,}33 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}1 & 0{,}2 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}2 & 0{,}3 \end{bmatrix} \qquad R^{62} = \begin{bmatrix} 29 & 31 & 32 & 34 & 35 & 36 \\ 28 & 33 & 35 & 36 & 37 & 38 \\ 0 & 0 & 35 & 37 & 38 & 39 \\ 29 & 30 & 33 & 35 & 37 & 35 \\ 31 & 32 & 31 & 33 & 36 & 37 \\ 30 & 33 & 32 & 34 & 37 & 38 \end{bmatrix}$$

$$X^{63} = \begin{bmatrix} 0{,}4 & 0{,}2 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 \\ 0 & 0{,}2 & 0{,}4 & 0{,}2 & 0{,}2 & 0 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 & 0{,}1 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}1 & 0{,}2 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}2 & 0{,}3 \end{bmatrix} \qquad R^{63} = \begin{bmatrix} 29 & 31 & 32 & 34 & 35 & 36 \\ 0 & 32 & 34 & 35 & 0 & 0 \\ 30 & 32 & 33 & 34 & 36 & 37 \\ 29 & 30 & 33 & 35 & 37 & 35 \\ 31 & 32 & 31 & 33 & 36 & 37 \\ 30 & 33 & 32 & 34 & 37 & 38 \end{bmatrix}$$

$$X^{64} = \begin{bmatrix} 0{,}5 & 0{,}25 & 0{,}25 & 0 & 0 & 0 \\ 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 & 0{,}1 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}1 & 0{,}2 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}2 \\ 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}2 & 0{,}3 \end{bmatrix} \qquad R^{64} = \begin{bmatrix} 27 & 30 & 33 & 0 & 0 & 0 \\ 28 & 33 & 35 & 36 & 37 & 38 \\ 30 & 32 & 33 & 34 & 36 & 37 \\ 29 & 30 & 33 & 35 & 37 & 35 \\ 31 & 32 & 31 & 33 & 36 & 37 \\ 30 & 33 & 32 & 34 & 37 & 38 \end{bmatrix}$$

Hasil v_i^s dihitung sebagai berikut:

v_1^1 = (0,5 x 27) + (0,25 x 30) + (0,25 x 33) + (0 x 0) + (0 x 0) + (0 x 0) = 29,25

v_2^1 = (0 x 0) + (0,2 x 32) + (0,4 x 34) + (0,2 x 35) + (0,2 x 0) + (0 x 0) = 27
v_3^1 = (0 x 0) + (0 x 0) + (0,33 x 35) + (0,11 x 37) + (0,22 x 38) + (0,33 x 39) = 36,85
v_4^1 = (0 x 0) + (0 x 0) + (0 x 0) + (0,33 x 34) + (0,33 x 35) + (0,33 x 37) = 35,09333
v_5^1 = (0 x 0) + (0 x 0) + (0 x 0) + (0 x 0) + (0,5 x 37) + (0,5 x 38) = 37,5
v_6^1 = (0 x 0) + (0 x 0) + (0 x 0) + (0 x 0) + (0 x 0) + (1 x 40) = 40
Sehingga didapatkan nilai v_i^s lainnya pada tabel 6 berikut:

Tabel 6. Hasil v_i^s

s	v_i^s					
	1	2	3	4	5	6
1	29,25	27	36,85	35,09333	37,5	40
2	31,5	33,6	33,9	33,7	34,2	35,1
3	31,5	27	36,85	35,09333	37,5	40
4	29,25	33,6	36,85	35,09333	37,5	40
5	29,25	27	33,9	35,09333	37,5	40
6	29,25	27	36,85	33,7	37,5	40
7	29,25	27	36,85	35,09333	34,2	40
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
58	29,25	27	33,9	33,7	34,2	35,1
59	31,5	33,6	33,9	33,7	34,2	40
60	31,5	33,6	33,9	33,7	37,5	35,1
61	31,5	33,6	33,9	35,09333	34,2	35,1
62	31,5	33,6	36,85	33,7	34,2	35,1
63	31,5	27	33,9	33,7	34,2	35,1
64	29,25	33,6	33,9	33,7	34,2	35,1

5. Menghitung π_i^s

Perhitungan probabilitas *stationary* diperoleh dengan menggunakan persamaan rumus 7 dan 8 menggunakan *software MATLAB* untuk penyelseaian persamaan linier matriks 6x6, sehingga diperoleh persamaan dari hasil *policy stationary* optimum s = 1 dengan persamaan sebagai berikut:

$0,5\pi_1 = \pi_1$
$0,25\pi_1 + 0,2\pi_2 = \pi_2$
$0,25\pi_1 + 0,4\pi_2 + 0,33\pi_3 = \pi_3$
$0,2\pi_2 + 0,11\pi_3 + 0,33\pi_4 = \pi_4$
$0,2\pi_2 + 0,22\pi_3 + 0,33\pi_4 + 0,5\pi_5 = \pi_5$
$0,33\pi_3 + 0,33\pi_4 + 0,5\pi_5 + \pi_6 = \pi_6$
$\pi_1 + 0\pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 + \pi_6 = 1$

Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

$\pi_1^1 = 0$
$\pi_2^1 = 0$
$\pi_3^1 = 0$
$\pi_4^1 = 0$
$\pi_5^1 = 0$
$\pi_6^1 = 1$

Hasil lainnya untuk setiap *stationary policy* di setiap s dapat dilihat pada tabel 7 sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil π_i^s

s	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	1
2	0,1636	0,1455	0,1500	0,2045	0,1652	0,1712
3	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	1
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.

58	0,1441	0,1351	0,2038	0,2128	0,1665	0,1375
59	0	0	0	0	0	1
60	0,1261	0,1121	0,1156	0,1577	0,2292	0,2593
61	0,1292	0,1149	0,1005	0,2138	0,2264	0,2152
62	0,1364	0,1213	0,1690	0,1770	0,1780	0,2183
63	0,1250	0,1250	0,1781	0,2281	0,1830	0,1608
64	0,1935	0,1613	0,1815	0,1815	0,1411	0,1411

6. Menentukan E^s

Pada perhitungan selanjutnya akan diperoleh hasil optimum dengan batasan E^s optimum dengan E^s terkecil atau paling minimum. Perhitungan ekspetasi biaya kelebihan menggunakan persamaan rumus 9 dan diperoleh hasil sebagai berikut.

E^1= (29,25 x 0) + (27 x 0) + (36,85 x 0) + (35,0933 x 0) + (37,5 x 0) + (40 x 1) = 40

Sehingga didapatkan hasil E^s lainnya sebagai berikut.

Tabel 8. Hasil E^s

s	E^s
1	40
2	33,67781
3	40
4	40
5	40
6	40
7	40
.	.
.	.
.	.
58	32,46336
59	40
60	34,66847
61	34,13674
62	34,31476
63	32,93974
64	33,12719

C. Analisa dan Pembahasan

Dari pengolahan data di atas diperoleh hasil E^s yang merupakan ekspetasi biaya kelebihan pada *policy* s = 58 sebesar 32,46336 dalam satuan juta rupiah. E^s merupakan hasil optimum atau biaya kelebihan miminum yang dibayarkan perusahaan setiap bulannya ketika terjadi kelebihan bahan baku dengan perbaikan atau *repair* jika sistem pada *state* 3,4,5, atau 6 berdasarkan *stationary policy* s tabel 5. *State* 3 pada kondisi kelebihan sedikit jika *interval* terletak pada 11.420≤x≤14.734, *state* 4 pada kondisi kelebihan jika *interval* terletak pada 14.735≤x≤18.049, *state* 5 pada kondisi kelebihan banyak jika *interval* terletak pada 18.059≤x≤21.364, *state* 6 pada kondisi kelebihan banyak jika *interval* terletak pada 21.365≤x≤24.679. Pemesanan bahan baku pasir dilakukan dengan penyesuaian *interval* pada *state* klasifikasi pada tabel 1. Pada *policy* s = 58 tidak melakukan *repair* pada *state* 1 dan 2. *State* 1 pada kondisi tidak ada kelebihan jika *interval* terletak pada 0≤x≤8.104 dan *state* 2 pada kondisi kelebihan sangat sedikit jika *interval* terletak pada 8.105≤x≤11.419. Sehingga tingkat pemesanan dapat dilakukan jika kondisi bahan baku terletak pada *state* 1 atau 2 dengan *interval* 0 hingga 11.419 ton.

D. Rekomendasi

Pengolahan data menggunakan rantai markov merupakan saran untuk menyelesaikan permasalahan pengendalian persediaan yang memiliki data cenderung berubah atau sulit diprediksi di masa yang akan datang. Berdasarkan penelitian di atas diperoleh hasil optimum dengan menunjukkan biaya kelebihan yang paling minimum dari perhitungan serta *interval* bahan baku untuk menentukan kuantitas dari pasir yang akan dipesan sehingga dapat menghindari kelebihan bahan baku dalam proses pengadaan. Pengolahan data menggunakan rantai markov dapat dilakukan tanpa mempertimbangkan tingkat dari stok aman, *lead time*, dan titik pemeesanan kembali. Perhitungan rantai markov dengan enumerasi sempurna memberikan hasil optimum dnegan efisien dan akurat. Hasil yang optimum pada pengolahan data di atas harus dijaga tingkat persediaannya, sehingga ketika terjadi kelebihan bahan baku pasir karena permintaan yang tidak stabil perusahaan dapat meembayar secara minimum untuk mengurangi terjadinya penurunan pendapatan yang tidak sesuai target.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data didapatkan hasil optimum sebesar Rp. 32.463.360 sebagai biaya kelebihan minimum bahan baku yang dikeluarkan untuk setiap bulannya. Nilai optimum terletak pada *stasionary policy* s = 58 yang memerlukan tindakan dengan melakukan perbaikan jika sistem berada pada *state* 3, 4, 5, atau 6. *State* 3 pada kondisi kelebihan sedikit jika *interval* terletak pada 11.420≤x≤14.734, *state* 4 pada kondisi kelebihan jika *interval* terletak pada 14.735≤x≤18.049, *state* 5 pada kondisi kelebihan banyak jika *interval* terletak pada 18.059≤x≤21.364, *state* 6 pada kondisi kelebihan banyak jika *interval* terletak pada 21.365≤x≤24.679. Sedangkan tidak melakukan *repair* pada *state* 1 dan 2. *State* 1 pada kondisi tidak ada kelebihan jika *interval* terletak pada 0≤x≤8.104 dan *state* 2 pada kondisi kelebihan sangat sedikit jika *interval* terletak pada 8.105≤x≤11.419. Sehingga tingkat pemesanan dapat dilakukan jika kondisi bahan baku terletak pada *state* 1 atau 2 dengan *interval* 0≤x≤11.419 ton. Karena penyimpanan maksimum pasir di plant BSP Sayung, Jawa Tengah memiliki maksimum tempat 10.000 ton. Hasil perhitungan rantai markov dengan enumerasi sempurna didapatkan hasil optimum berupa biaya kelebihan bahan baku minimum pada gudang yang dapat digunakan sebagai strategi untuk memesan bahan baku pasir supaya tidak terjadi kelebihan atau *overstock* passir di periode berikutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulisan serta penyusunan artikel ini tidak dapat berjalan lancar dan terselesaikan dengan baik tanpa bantuan dari berbagai pihak yang bersangkutan. Terima kasih kepada PT. Varia Usaha Beton yang menjadi tempat penelitian dengan memberikan dan mendukung hal-hal yang dibutuhkan selama penelitian. Semoga adanya artikel ini dapat bermanfaat.

REFERENSI

[1] M. Y. Tode, E. Hunggurami, dan J. K. Nasjono, "Uji Kuat Tekan Beton Normal Dan Mortar Yang Menggunakan Agregat Maubesi," *J. Tek. Sipil*, vol. 9, no. 2, hal. 269–276, 2020, [Daring]. Tersedia pada: http://jurnalakuntansi.petra.ac.id/index.php/jurnal-teknik-sipil/article/view/23280

[2] Maesaroh dan D. Yulia, "PENGARUH PENERAPAN METODE MATERIAL REQUIREMENT PLANNING (MRP) DAN METODE ECONOMIC ORDER QUANTITY (EOQ) TERHADAP EFISIENSI BIAYA BAHAN BAKU," *J. Manag. Stud.*, vol. 9, no. 3, hal. 133–140, 2022.

[3] S. Muryani, "Sistem Informasi Pengolahan Data Pembelian Bahan Baku," *J. Infortech*, vol. 2, no. 1, hal. 110–115, 2020.

[4] M. Nasution, "PERBANDINGAN KUAT TEKAN BETON MENGGUNAKAN AGREGAT HALUS Menggunakan Agregat Halus (Pasir) Antara Sungai Tanjung Balai Dan Sungai Kisaran "," *J. Bid. Apl. Tek. Sipil dan Sains*, vol. 1, no. 2, hal. 57–63, 2022.

[5] K. Ismawati, "CLASSIC PROBLEMS : PENGENDALIAN PERSEDIAAN," *J. Ekon. BISNIS DAN KEWIRAUSAHAAN*, vol. 8, no. 2, hal. 12–20, 2019.

[6] P. R. Novia, F. Rakhmawati, dan R. Aprilia, "Metode Markov Chain Dalam Pengendalian Persediaan Untuk Perencanaan Biaya Persediaan Bahan Baku Pada Toko Airin Bakery & Cake Shop," *J. Lebesgue J. Ilm. Pendidik. Mat. Mat. dan Stat.*, vol. 4, no. 1, hal. 391–401, 2023, doi: 10.46306/lb.v4i1.259.

[7] V. Jainuri dan T. Sukmono, "Optimization of Inventory Costs Using the Continuous Review System (CRS) Method in Controlling the Need for Raw Materials for the Crimean Industry," vol. 5, no. 2, hal. 1–14, 2021, doi: 10.21070/acopen.5.2021.2205.

[8] Oktaviyani, Dwijanto, dan Supriyono, "Optimasi Penjadwalan Produksi dan Perencanaan Persediaan Bahan Baku Menggunakan Rantai Markov (Studi Kasus Kinken Cake & Bakery Kutoharjo)," *UNNES J. Math.*, vol. 7, no. 2, hal. 165–180, 2018, [Daring]. Tersedia pada: http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujmUJM7

[9] M. Fatwa, R. Ristu, S. Pandiangan, dan E. Supriyadi, "Pengaplikasian matlab pada perhitungan matriks," *Papanda J. Math. Sci. Res.*, vol. 1, no. 2, hal. 81–93, 2022.

[10] S. P. Astuti dan T. W. Alhidayatuddiniyah, "Pemanfaatan Software Matrix Laboratory (Matlab) Untuk Meningkatkan Minat Belajar Mahasiswa Dalam Pembelajaran Fisika Kinematika," *J. Pendidik. Berkarakter*, vol. 3, no. 2, hal. 54–57, 2020.

[11] A. Wahid dan M. Munir, "Economic Order Quantity Istimewa pada Industri Krupuk ' Istimewa ' Bangil," *J. Ind. View*, vol. 02, no. 01, hal. 1–8, 2020.

[12] Syardianyah, M. Fuad, dan P. Sri, "ANALISIS PENGENDALIAN PERSEDIAAN PRODUKSI PADA CV. FANARA ABADI," *J. Ilm. Manaj.*, vol. 8, no. 2, hal. 80–91, 2020.

[13] R. Kuswoyo, S. Dur, dan H. Cipta, "Penerapan Proses Stokastik Markov Chain Dalam Pengendalian Persediaan

Produksi Kelapa Sawit di Perkebunan Nusantara IV Sumatera Utara," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 7, no. 2, hal. 429–438, 2023, doi: 10.33379/gtech.v7i2.2025.
[14] R. Prasyayudha, S. Setyawidayat, dan F. Hunaini, "Effectiveness of Minor Overhaul Elimination on Decreasing Cost of Production in Hydroelectric Power Plant," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 5, no. 1, hal. 71–88, 2021, doi: 10.21070/jeeeu.v5i1.1228.
[15] A. R. Wiranto, A. Faisol, dan Fitriani, "Prediksi Pengeluaran Non Makanan Masyarakat Kabupaten Tulang Bawang Menggunakan Metode Rantai Markov," *J. Stat.*, vol. 15, no. 1, hal. 203–209, 2022.
[16] Siswanto, *Operation Research*. 2006.
[17] A. Wahab, A. Syahid, dan J. Junaedi, "Penyajian Data Dalam Tabel Distribusi Frekuensi Dan Aplikasinya Pada Ilmu Pendidikan," *Educ. Learn. J.*, vol. 2, no. 1, hal. 40, 2021, doi: 10.33096/eljour.v2i1.91.
[18] S. A. Pratama dan B. I. Putra, "Analysis Of Machine Maintenance Using Markov Chain Method For Reducing Maintenance Cost," *Procedia Eng. Life Sci.*, vol. 3, hal. 208–214, 2022, doi: 10.21070/pels.v3i0.1320.
[19] A. H. Taha, *Riset Operasi*. 1997.
[20] T. T. Dimyati dan D. Ahmad, *OPERATION RESEARCH*. 2018.

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.