

Cost Optimization of Inventory Control Using *Dynamic Programming*

[Optimalisasi Biaya Pengendalian Persediaan Menggunakan Program Dinamis]

Zergha Gea Edyara¹⁾, Tedjo Sukmono²⁾

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. *Poor inventory control of raw materials can increase total costs due to discrepancies between purchasing quantities and actual demand. A company using round bar AISI 4135 as raw material faces challenges in determining appropriate purchasing quantities for each period. This study aims to forecast raw material requirements based on historical data and to determine an optimal purchasing policy in order to minimize total inventory costs. Linear regression is employed to project raw material demand, and the results are further processed using Dynamic Programming with a backward recursive approach to determine the optimal purchasing quantity for each period. The findings indicate that the total annual raw material requirement is 169.926 kg and that the implementation of Dynamic Programming results in a minimum total inventory cost of Rp 7,877,017,110 with a cost saving of 10.40%.*

Keywords - Inventory Control, Linear Regression, Dynamic Programming, Cost Optimization, Round bar

Abstrak. *Pengendalian persediaan bahan baku yang tidak terencana dengan baik dapat meningkatkan total biaya akibat ketidaksesuaian antara jumlah pembelian dan kebutuhan aktual. Perusahaan yang menggunakan bahan baku round bar AISI 4135 menghadapi permasalahan dalam menentukan jumlah pembelian yang sesuai dengan kebutuhan setiap periode. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan kebutuhan bahan baku berdasarkan data historis serta menentukan kebijakan pembelian yang optimal guna meminimalkan total biaya persediaan. Metode regresi linear digunakan untuk memproyeksikan kebutuhan bahan baku, kemudian hasilnya diolah menggunakan metode Dynamic Programming dengan pendekatan rekursif mundur untuk menentukan jumlah pembelian optimal setiap periode. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total kebutuhan bahan baku selama satu tahun sebesar 169.926 kg dan penerapan metode Dynamic Programming menghasilkan total biaya persediaan minimum sebesar Rp 7.877.017.110 dengan penghematan 10,40%.*

Kata Kunci - Pengendalian Persediaan, Regresi Linear, Program Dinamis, Optimalisasi Biaya, Round bar

I. PENDAHULUAN

PT. MJM merupakan perusahaan swasta nasional yang bergerak di bidang manufaktur komponen peralatan migas. Dalam proses produksinya, perusahaan menggunakan bahan baku logam berupa *round bar*. Berdasarkan data tahun 2025, bahan baku yang digunakan meliputi AISI 4135 (Ø 325 mm), AISI 4140 (Ø 115 mm), AISI 4340 (Ø 115 mm), AISI 4145 (Ø 127 mm), SS 410 (Ø 135 mm), dan SCM 440 (Ø 200 mm) dengan kebutuhan yang bervariasi setiap bulan. Dari berbagai jenis tersebut, *round bar* AISI 4135 dipilih sebagai fokus penelitian karena memiliki tingkat kebutuhan paling besar dan pola permintaan yang berfluktuasi signifikan, dengan kebutuhan bulanan antara 7.815–23.444 kg atau selisih sebesar 15.629 kg antarperiode, sehingga memerlukan pengendalian persediaan yang lebih optimal. Fluktuasi permintaan bahan baku yang tidak menentu menyulitkan perusahaan dalam menentukan jumlah pemesanan setiap periode [1].

Oleh karena itu, diperlukan peramalan permintaan sebagai dasar untuk memperkirakan kebutuhan bahan baku pada periode mendatang sebelum dilakukan pengendalian persediaan [2]. Beberapa metode pengendalian persediaan seperti *Economic Order Quantity* (EOQ), metode periodik, maupun model *lot sizing* statis telah banyak digunakan, namun metode tersebut umumnya mengasumsikan permintaan yang relatif stabil dan kurang mempertimbangkan variasi permintaan antarperiode [3]. Kondisi tersebut mendorong perlunya penerapan pendekatan pengendalian persediaan yang mampu menghasilkan keputusan optimal pada setiap periode [4]. Penelitian ini menerapkan metode *Dynamic Programming* karena mampu menyederhanakan penyelesaian permasalahan optimasi dengan memecah masalah utama menjadi serangkaian submasalah yang lebih kecil, sehingga solusi dapat diperoleh secara lebih efisien [5]. Dengan metode tersebut, penelitian ini bertujuan menentukan total biaya persediaan minimum serta jumlah pembelian dan tingkat persediaan *round bar* yang optimal setiap bulan bagi perusahaan [6].

Beberapa penelitian terdahulu yang menjadi acuan dalam penelitian ini di antaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Fadhl dkk (2023) membahas bahwa program dinamis terbagi menjadi dua jenis, yaitu deterministik dan probabilistik. Penyelesaiannya dapat dilakukan melalui pendekatan rekursif maju atau mundur untuk memperoleh keputusan optimal pada setiap tahap [4]. Selanjutnya, penelitian oleh Subekti dkk (2023) yang menerapkan pendekatan dinamis deterministik pada industri manufaktur dan berhasil menekan biaya persediaan berlebih [7]. Kemudian, penelitian yang dilakukan oleh Lestari dkk (2024) menggunakan metode program dinamis untuk mengoptimalkan perencanaan produksi dan pengendalian persediaan, yang terbukti mampu menurunkan total biaya dan meningkatkan efisiensi keputusan pemesanan serta produksi tiap periode [8].

Berbeda dengan penelitian terdahulu tersebut yang umumnya membahas optimasi produksi atau pengendalian persediaan secara umum, penelitian ini secara khusus difokuskan pada pengendalian persediaan bahan baku *round bar* AISI 4135. Penelitian ini mengombinasikan hasil peramalan permintaan dengan pendekatan *Dynamic Programming* untuk menentukan jumlah pemesanan optimal tiap periode sehingga diperoleh total biaya persediaan yang minimum.

Tujuan penelitian: (1) Mengetahui kebutuhan bahan baku *round bar* AISI 4135 berdasarkan data permintaan aktual bulanan Januari–Desember 2025 yang diproyeksikan untuk periode perencanaan tahun 2026. (2) Menentukan jumlah pembelian optimal untuk *round bar* AISI 4135. (3) Menghitung total biaya persediaan untuk memperoleh biaya persediaan minimum bagi perusahaan.

II. METODE

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. MJM yang berlokasi di Kota Balikpapan, Kalimantan Timur, Indonesia. Penelitian ini berlangsung selama 6 bulan, mulai dari September 2025 – Februari 2026.

B. Pengambilan Data

Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan melalui dua jenis sumber, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap aktivitas operasional perusahaan serta wawancara dengan *Head of Purchasing*, *Head of Logistic*, dan Koordinator PPC untuk memperoleh informasi mengenai prosedur pemesanan bahan baku, frekuensi pembelian, serta kendala dalam pengendalian persediaan *round bar*. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari dokumen historis perusahaan yang meliputi data kebutuhan bahan baku, pembelian, biaya pemesanan, biaya penyimpanan, dan penggunaan *round bar* selama periode Januari 2025 hingga Desember 2025.

C. Forecasting

Peramalan (*forecasting*) merupakan proses untuk memperkirakan kebutuhan pada periode mendatang berdasarkan kuantitas, kualitas, dan waktu tertentu, sehingga dapat memenuhi permintaan konsumen [9]. Proses ini menggunakan data masa lalu sebagai dasar penyusunan model matematis guna mendukung pengambilan keputusan yang optimal dan terstruktur [10].

Metode peramalan yang digunakan dalam penelitian ini adalah regresi linear, yang dimanfaatkan untuk meramalkan kebutuhan bahan baku *round bar* berdasarkan pola data historis yang tersedia. Analisis regresi digunakan untuk melihat hubungan antara variabel respon dan variabel prediktor, sehingga dapat membantu memprediksi nilai respon pada periode mendatang [11]. Secara umum, analisis regresi berfungsi sebagai alat pemodelan untuk memahami keterkaitan antar variabel dan sering digunakan dalam peramalan [12]. Regresi linear dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$Y = a + bX \quad (1)$$

Sumber: [11]

Keterangan:

Y = Kebutuhan bahan baku *round bar*
 X = Periode waktu
 a = Konstanta
 b = Koefisien regresi

Metode regresi linear dipilih karena mampu menunjukkan hubungan antara waktu dan kebutuhan bahan baku, sehingga tren permintaan dapat diproyeksikan secara jelas. Hasil peramalan ini kemudian menjadi dasar untuk menentukan jumlah pembelian optimal pada periode selanjutnya.

D. Dynamic Programming

Program dinamik merupakan suatu pendekatan matematis yang digunakan untuk mengoptimalkan pengambilan keputusan yang dilakukan secara bertahap atau berurutan [13]. Permasalahan optimasi yang melibatkan berbagai variabel keputusan menjadi perhatian utama dalam kasus ini. Sebagai pendekatan yang bersifat logis, pemrograman dinamik memanfaatkan tahapan pengambilan keputusan untuk mencapai hasil yang paling optimal dalam aktivitas manufaktur [8].

Parameter persediaan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi biaya pemesanan dan biaya penyimpanan yang ditentukan berdasarkan data historis perusahaan dan digunakan dalam perhitungan fungsi biaya pada model *Dynamic Programming* untuk memperoleh keputusan pemesanan optimal dengan total biaya persediaan minimum. Perumusan model program dinamik mencakup beberapa komponen utama, yaitu *stage*, *state variables*, *decision variables*, fungsi tujuan, fungsi transisi, fungsi pembatas, serta persamaan rekursif yang menghubungkan setiap tahap [14].

- Stage* merupakan tahap atau periode yang menjadi fokus analisis dalam permasalahan tersebut.
- State variables* merupakan tingkat persediaan awal pada periode ke- n yang dinyatakan sebagai I_n .
- Decision variables* pada penelitian ini adalah jumlah pembelian bahan baku pada periode ke- n , yang dinyatakan sebagai X_n .
- Menetapkan fungsi tujuan:

$$\text{Min } C = \sum_{n=1}^{12} (c(X_n) + B \cdot I_{n+1}) \quad (2)$$

Sumber: [8], [14], [15]

- Fungsi transisi merupakan mekanisme yang menggambarkan keterkaitan antara tahap yang satu dengan tahap berikutnya dalam proses pengambilan keputusan [16].
- Fungsi pembatas menunjukkan rentang keputusan pemesanan agar tidak melampaui kapasitas gudang maupun kondisi persediaan pada periode tersebut. Formulasi matematisnya, yaitu:

$$I_n + S_n - G \leq X_n \leq I_n + S_n \quad (3)$$

Sumber: [8], [15], [16]

- Program dinamis diselesaikan melalui perhitungan rekursif pada setiap tahap, di mana keputusan optimal pada suatu tahap diperoleh dengan menambahkan hasil terbaik tahap tersebut terhadap hasil optimal dari tahap sebelumnya [15]. Persamaan rekursif untuk menentukan nilai optimal dapat ditulis sebagai berikut:

$$f_n(I_n) = \min_x \{B(i + x - S_n) + c(x) + f_{n+1}(i + x - S_n)\}, n = 12, 11, 10, \dots, 1 \quad (4)$$

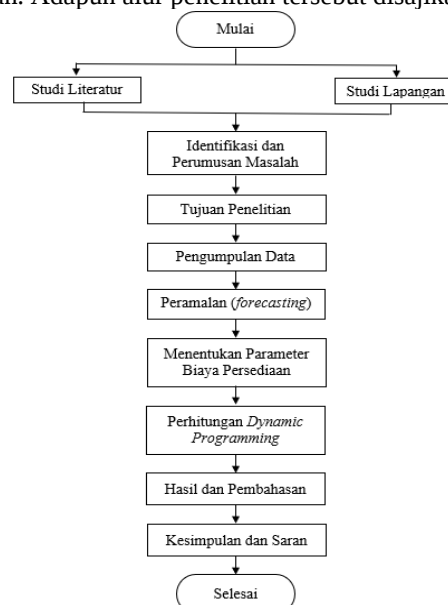
Sumber: [6], [8], [15]

Keterangan:

- $f_n(i)$ = biaya minimum mulai periode n sampai akhir jika persediaan awal = i
 X_n = Keputusan pembelian pada periode ke- n
 S_n = Permintaan periode ke- n (hasil peramalan 2026)
 I_n = Tingkat persediaan pada periode ke- n
 I_{n+1} = Tingkat persediaan pada akhir periode ke- n atau awal periode ke- $n+1$
 A = Biaya pembelian per unit (*variabel cost*)
 B = Biaya penyimpanan per unit (*holding cost*)
 $c(x)$ = Biaya pembelian pada periode ke- n dengan $c(x) = A \cdot x$
 f_{n+1} = Biaya minimum periode berikutnya

E. Alur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan secara sistematis dan terstruktur, sehingga diperlukan penyusunan alur kerja untuk mempermudah proses pelaksanaannya. Oleh karena itu, dibuat sebuah flowchart yang menggambarkan tahapan-tahapan penelitian secara keseluruhan. Adapun alur penelitian tersebut disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Forecasting – Metode Regresi Linear

Metode regresi linear digunakan untuk meramalkan kebutuhan bahan baku berdasarkan data historis dengan menganalisis hubungan antara periode waktu (X) dan jumlah kebutuhan bahan baku (Y). Metode ini dipilih karena mampu menggambarkan kecenderungan (tren) data secara sederhana dan sistematis, sehingga hasil peramalan dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan pengendalian persediaan menggunakan metode *Dynamic Programming*.

Dalam perhitungan peramalan menggunakan metode regresi linear, pengolahan data dilakukan dengan bantuan *Microsoft Excel* untuk memperoleh nilai ramalan serta tingkat kesalahan peramalan. Hasil perhitungan peramalan kebutuhan bahan baku *round bar* AISI 4135 beserta evaluasi kesalahan peramalan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Peramalan dan Evaluasi Kebutuhan *Round bar* AISI 4135 Berdasarkan Data Historis

Periode	X	RB AISI 4135 (Ø 325 mm)	$\hat{Y}$	Error	APE (%)
Jan	1	23444	14.878	8566,038	0,3654
Feb	2	15629	14.837	792,031	0,0507
Mar	3	11722	14.796	3073,976	0,2622
Apr	4	7815	14.755	6939,983	0,888
Mei	5	7815	14.714	6898,99	0,8828
Jun	6	15629	14.673	956,003	0,0612
Jul	7	19537	14.632	4904,997	0,2511
Agu	8	11722	14.591	2869,01	0,2448
Sep	9	15629	14.550	1078,983	0,069
Okt	10	19537	14.509	5027,976	0,2574
Nov	11	11722	14.468	2746,031	0,2343
Des	12	15629	14.427	1201,962	0,0769
Total		175830		45055,98	

Tabel 2. Nilai Kesalahan Peramalan Kebutuhan *Round bar* AISI 4135

Ukuran Error	Nilai
MAD	3.754,66
MAPE	30,36%
MSE	20.653.947

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 2 diperoleh nilai MAD sebesar 3.754,66, MAPE sebesar 30,36%, dan MSE sebesar 20.653.947. MAD (*Mean Absolute Deviation*) menunjukkan rata-rata penyimpangan absolut antara nilai aktual dan hasil peramalan sehingga menggambarkan besarnya deviasi ramalan terhadap data sebenarnya. MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) menyatakan rata-rata persentase kesalahan peramalan terhadap nilai aktual sehingga memudahkan interpretasi tingkat akurasi model dalam bentuk persentase. MSE (*Mean Squared Error*) merupakan rata-rata kuadrat kesalahan peramalan yang digunakan untuk mengukur variasi *error*. Semakin kecil nilai ketiga ukuran tersebut maka semakin baik tingkat ketepatan model. Nilai MAPE sebesar 30,36% menunjukkan bahwa model regresi linear memiliki tingkat akurasi yang cukup dan masih dapat digunakan sebagai dasar perencanaan karena pola permintaan menunjukkan fluktuasi yang cukup tinggi antarperiode. Dengan demikian hasil peramalan dinilai representatif untuk digunakan pada tahap optimasi menggunakan metode *Dynamic Programming*.

B. Dynamic Programming – Rekursif Mundur

Dengan memanfaatkan hasil peramalan yang telah diperoleh, pengendalian persediaan dilakukan menggunakan pendekatan *Dynamic Programming* untuk menentukan jumlah pembelian optimal pada setiap periode dengan tujuan meminimalkan total biaya persediaan. Model yang digunakan bersifat deterministik karena nilai permintaan telah diketahui berdasarkan hasil peramalan dan diselesaikan dengan rekursif mundur, yaitu perhitungan dimulai dari periode terakhir hingga periode awal sehingga keputusan pembelian yang dihasilkan lebih efisien dan optimal.

1. Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan dirumuskan untuk meminimalkan total biaya persediaan selama satu tahun yang mencakup biaya tetap pemesanan, biaya pembelian/kg, dan biaya penyimpanan per kg/periode.

$$\text{Min } C = \sum_{n=1}^{12} (c(X_n) + B \cdot I_{n+1}) \quad (5)$$

Sumber: [8], [14], [15]

Keterangan:

C = Total biaya persediaan selama 12 bulan

X_n = Jumlah pembelian periode ke-n

$c(X_n)$ = Biaya pemesanan dan pembelian pada periode ke-n, dengan $c(X_n) = c\delta(X_n) + AX_n$

c = Biaya pemesanan tetap (Rp 10.000.000)

- A = Biaya pembelian/kg (Rp 47.400)
 B = Biaya penyimpanan per/kg/periode (Rp 790)
 I_{n+1} = Persediaan akhir periode ke- n
 $\delta(X_n)$ = 1 jika $X_n > 0$, dan 0 jika $X_n = 0$

2. Fungsi Pembatas

- a. Jumlah pembelian harus memenuhi kebutuhan periode dan tetap berada dalam batas kapasitas gudang, yang dirumuskan sebagai:

$$I_n + S_n - G \leq X_n \leq I_n + S_n$$

- b. Persediaan tidak melebihi kapasitas penyimpanan gudang, yaitu:

$$0 \leq I_n \leq 15000$$

- c. Jumlah pembelian tidak melebihi kapasitas pembelian per periode, yaitu:

$$0 \leq X_n \leq 15000$$

3. Prosedur perhitungan *Dynamic Programming*

Tahap selanjutnya adalah menerapkan metode *Dynamic Programming* selama 12 periode untuk menentukan jumlah pembelian bahan baku dengan total biaya persediaan minimum. Perhitungan dilakukan secara bertahap pada setiap periode dengan mempertimbangkan biaya pemesanan, biaya pembelian, dan biaya penyimpanan. Melalui prosedur ini, diperoleh kebijakan pembelian yang optimal untuk satu tahun perencanaan.

- a. Tahap 12 (Periode Desember)

Pada tahap ini dipertimbangkan beberapa alternatif kebijakan pembelian yang didasarkan pada variasi tingkat persediaan awal bahan baku *round bar* AISI 4135 di gudang, yaitu sebesar 0, 1.500, 3.000, 4.500, 6.000, 7500, 9000, 10500, 12000, 13500, dan 15.000 kg. Jadi, pada tahap ini persamaan rekursifnya yaitu:

$$f_{12}(I_{12}) = \begin{cases} 10.000.000 + 47.400(15000 - I_{12}), & I_{12} < 15000 \\ 0, & I_{12} = 15000 \end{cases} \quad (6)$$

Sumber: [17]

Pada tahap ke-12 dilakukan perhitungan fungsi biaya untuk setiap alternatif state persediaan awal yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam proses rekursif mundur untuk menghitung tahap ke-11.

$$\begin{aligned}
 f_{12}(0) &= 10.000.000 + 47.400(15000) = 721.000.000 \\
 f_{12}(1500) &= 10.000.000 + 47.400(13500) = 649.900.000 \\
 f_{12}(3000) &= 10.000.000 + 47.400(12000) = 578.800.000 \\
 f_{12}(4500) &= 10.000.000 + 47.400(10500) = 507.700.000 \\
 f_{12}(6000) &= 10.000.000 + 47.400(9000) = 436.600.000 \\
 f_{12}(7500) &= 10.000.000 + 47.400(7500) = 365.500.000 \\
 f_{12}(9000) &= 10.000.000 + 47.400(6000) = 294.400.000 \\
 f_{12}(10500) &= 10.000.000 + 47.400(4500) = 223.300.000 \\
 f_{12}(12000) &= 10.000.000 + 47.400(3000) = 152.200.000 \\
 f_{12}(13500) &= 10.000.000 + 47.400(1500) = 81.100.000 \\
 f_{12}(15000) &= 0
 \end{aligned}$$

- b. Tahap 11-1 (Periode November-Januari)

Perhitungan metode *Dynamic Programming* dilakukan dengan pendekatan rekursif mundur yang dimulai dari tahap ke-12 hingga tahap ke-1. Pada setiap tahap dihitung fungsi biaya untuk seluruh alternatif state persediaan, kemudian dipilih keputusan pembelian yang menghasilkan biaya minimum sebagai dasar perhitungan pada tahap sebelumnya. Hasil perhitungan dari tahap ke-11 hingga tahap ke-1 yang memuat keputusan optimal pada setiap tahap ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Tahap 11 – 1

i	x	$790(i+x-13976)+c(x)$	$f_{12}(i+x-13976)$	Total Cost Months 11,12	$f_{11}(i)$ $x_{11}(i)$
1500	13500	650.708.960	Rp 649.900.000	Rp 1.300.608.960	$f_{11}(1500) =$ Rp 1.300.608.960
1500	15000	722.993.960	Rp 578.800.000	Rp 1.301.793.960	$x_{11}(1500) =$ 13.500
Tahap 10					
i	x	$790(i+x-14017)+c(x)$	$f_{11}(i+x-14017)$	Total Cost Months 10-12	$f_{10}(i)$ $x_{10}(i)$
1500	13500	650.676.570	Rp 1.300.608.960	Rp 1.951.285.530	$f_{10}(1500) =$ Rp 1.951.285.530
1500	15000	722.961.570	Rp 1.229.508.960	Rp 1.952.470.530	$x_{10}(1500) =$ 13.500
Tahap 9					
i	x	$790(i+x-14058)+c(x)$	$f_{10}(i+x-14058)$	Total Cost Months 9-12	$f_9(i)$ $x_9(i)$
1500	13500	650.644.180	Rp 1.951.285.530	Rp 2.601.929.710	$f_9(1500) =$ Rp 2.601.929.710

1500	15000	722.929.180	Rp 1.880.185.530	Rp 2.603.114.710	$x_9(1500) =$	13.500
Tahap 8						
i	x	$790(i+x-14099)+c(x)$	$f_9(i+x-14099)$	Total Cost Months 8-12	$f_8(i)$	$x_8(i)$
1500	13500	650.611.790	Rp 2.601.929.710	Rp 3.252.541.500	$f_8(1500) =$	Rp 3.252.541.500
1500	15000	722.896.790	Rp 2.530.829.710	Rp 3.253.726.500	$x_8(1500) =$	13.500
Tahap 7						
i	x	$790(i+x-14140)+c(x)$	$f_8(i+x-14140)$	Total Cost Months 7-12	$f_7(i)$	$x_7(i)$
1500	13500	650.579.400	Rp 3.252.541.500	Rp 3.903.120.900	$f_7(1500) =$	3.903.120.900
1500	15000	722.864.400	Rp 3.181.441.500	Rp 3.904.305.900	$x_7(1500) =$	13.500
Tahap 6						
i	x	$790(i+x-14181)+c(x)$	$f_7(i+x-14181)$	Total Cost Months 6-12	$f_6(i)$	$x_6(i)$
1500	13500	650.547.010	Rp 3.903.120.900	Rp 4.553.667.910	$f_6(1500) =$	4.553.667.910
1500	15000	722.832.010	Rp 3.832.020.900	Rp 4.554.852.910	$x_6(1500) =$	13.500
Tahap 5						
i	x	$790(i+x-14222)+c(x)$	$f_6(i+x-14222)$	Total Cost Months 5-12	$f_5(i)$	$x_5(i)$
1500	13500	650.514.620	Rp 4.553.667.910	Rp 5.204.182.530	$f_5(1500) =$	5.204.182.530
1500	15000	722.799.620	Rp 4.482.567.910	Rp 5.205.367.530	$x_5(1500) =$	13.500
Tahap 4						
i	x	$790(i+x-14263)+c(x)$	$f_5(i+x-14263)$	Total Cost Months 4-12	$f_4(i)$	$x_4(i)$
1500	13500	650.482.230	Rp 5.204.182.530	Rp 5.854.664.760	$f_4(1500) =$	5.854.664.760
1500	15000	722.767.230	Rp 5.133.082.530	Rp 5.855.849.760	$x_4(1500) =$	13.500
Tahap 3						
i	x	$790(i+x-14304)+c(x)$	$f_4(i+x-14304)$	Total Cost Months 3-12	$f_3(i)$	$x_3(i)$
1500	13500	650.449.840	Rp 5.854.664.760	Rp 6.505.114.600	$f_3(1500) =$	6.505.114.600
1500	15000	722.734.840	Rp 5.783.564.760	Rp 6.506.299.600	$x_3(1500) =$	13.500
Tahap 2						
i	x	$790(i+x-14345)+c(x)$	$f_3(i+x-14345)$	Total Cost Months 2-12	$f_2(i)$	$x_2(i)$
1500	13500	650.417.450	Rp 6.505.114.600	Rp 7.155.532.050	$f_2(1500) =$	Rp 7.155.532.050
1500	15000	722.702.450	Rp 6.434.014.600	Rp 7.156.717.050	$x_2(1500) =$	13.500
Tahap 1						
i	x	$790(i+x-14386)+c(x)$	$f_2(i+x-14386)$	Total Cost	$f_1(i)$	$x_1(i)$
0	15000	721.485.060	Rp 7.155.532.050	Rp 7.877.017.110	$f_1(0) =$	Rp 7.877.017.110
					$x_1(0) =$	15.000

Berdasarkan hasil perhitungan rekursif mundur dari tahap ke-12 hingga tahap ke-1, diperoleh keputusan pembelian optimal pada setiap periode yang menghasilkan nilai fungsi biaya minimum. Proses pemilihan keputusan dilakukan dengan membandingkan seluruh alternatif pada setiap state dan memilih kombinasi yang memberikan total biaya terkecil sebagai dasar perhitungan tahap sebelumnya. Rangkaian keputusan tersebut membentuk jalur solusi optimal selama 12 periode yang selanjutnya ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Jalur Solusi Optimal Metode *Dynamic Programming*

Periode	Persediaan Akhir	i (state awal)	x	Total Cost	$f_n(i)$	$x_n(i)$
Januari	614	0	15000	Rp 7.877.017.110	$f_1(0) =$ $x_1(0) =$	Rp 7.877.017.110 15.000
Februari	655	1500	13500	Rp 7.155.532.050	$f_2(1500) =$ $x_2(1500) =$	Rp 7.155.532.050 13.500
Maret	696	1500	13500	Rp 6.505.114.600	$f_3(1500) =$ $x_3(1500) =$	Rp 6.505.114.600 13.500

April	737	1500	13500	Rp 5.854.664.760	$f_4(1500) =$ $x_4(1500) =$	Rp 5.854.664.760 13.500
Mei	778	1500	13500	Rp 5.204.182.530	$f_5(1500) =$ $x_5(1500) =$	Rp 5.204.182.530 13.500
Juni	819	1500	13500	Rp 4.553.667.910	$f_6(1500) =$ $x_6(1500) =$	Rp 4.553.667.910 13.500
Juli	860	1500	13500	Rp 3.903.120.900	$f_7(1500) =$ $x_7(1500) =$	Rp 3.903.120.900 13.500
Agustus	901	1500	13500	Rp 3.252.541.500	$f_8(1500) =$ $x_8(1500) =$	Rp 3.252.541.500 13.500
September	942	1500	13500	Rp 2.601.929.710	$f_9(1500) =$ $x_9(1500) =$	Rp 2.601.929.710 13.500
Oktober	983	1500	13500	Rp 1.951.285.530	$f_{10}(1500) =$ $x_{10}(1500) =$	Rp 1.951.285.530 13.500
November	1024	1500	13500	Rp 1.300.608.960	$f_{11}(1500) =$ $x_{11}(1500) =$	Rp 1.300.608.960 13.500
Desember	1065	1500	13500		$f_{12}(1500) =$ $x_{12}(1500) =$	Rp 649.900.000 13.500

Berdasarkan Tabel 4 tersebut, dapat diketahui hasil penjadwalan pembelian bahan baku round bar AISI 4135 selama satu tahun (Januari–Desember 2026) yang diperoleh melalui metode *Dynamic Programming* dengan pendekatan rekursif mundur. Perhitungan yang dilakukan menunjukkan bahwa jumlah pembelian tiap periode ditentukan dengan melihat kebutuhan yang harus dipenuhi serta biaya yang muncul akibat keputusan tersebut. Kombinasi ini menghasilkan total biaya yang paling efisien selama periode perencanaan. Perubahan persediaan dari satu periode ke periode berikutnya berlangsung secara berurutan, di mana sisa stok pada akhir bulan otomatis menjadi stok awal pada bulan selanjutnya sesuai alur perhitungan dalam model. Pada akhir periode perencanaan masih terdapat sisa persediaan sesuai hasil proyeksi kebutuhan yang tetap berada dalam batas kapasitas sistem. Berdasarkan hasil tersebut diperoleh total biaya minimum perencanaan pembelian selama satu tahun sebesar Rp 7.877.017.110 sehingga kebijakan yang dihasilkan dapat dinyatakan optimal.

C. Perbandingan Kondisi Sebelum dan Sesudah Penerapan *Dynamic Programming*

1. Kondisi Sebelum menggunakan Metode Program Dinamik

Sebelum penerapan metode *Dynamic Programming*, perusahaan melakukan pembelian bahan baku berdasarkan kebijakan operasional sebelumnya tanpa mempertimbangkan optimasi total biaya persediaan. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan kelebihan persediaan yang berdampak pada meningkatnya biaya penyimpanan. Berikut Tabel 5. kondisi pembelian bahan baku sebelum menggunakan metode *Dynamic Programming*.

Tabel 5. Data Jumlah Permintaan dan Pembelian Periode Januari-Desember 2025

Bulan	Demand (Aktual)	Pembelian	Persediaan Akhir	Biaya Beli	Biaya Simpan	Total
Jan-25	23.444	31.258	7.814	Rp 1.481.629.200	Rp 6.173.060	Rp 1.487.802.260
Feb-25	15.629	15.629	7.814	Rp 740.814.600	Rp 6.173.060	Rp 746.987.660
Mar-25	11.722	11.722	7.814	Rp 555.622.800	Rp 6.173.060	Rp 561.795.860
Apr-25	7.815	7.815	7.814	Rp 370.431.000	Rp 6.173.060	Rp 376.604.060
Mei-25	7.815	11.722	11.721	Rp 555.622.800	Rp 9.259.590	Rp 564.882.390
Jun-25	15.629	15.629	11.721	Rp 740.814.600	Rp 9.259.590	Rp 750.074.190
Jul-25	19.537	19.537	11.721	Rp 926.053.800	Rp 9.259.590	Rp 935.313.390
Agu-25	11.722	7.815	7.814	Rp 370.431.000	Rp 6.173.060	Rp 376.604.060
Sep-25	15.629	15.629	7.814	Rp 740.814.600	Rp 6.173.060	Rp 746.987.660
Okt-25	19.537	19.537	7.814	Rp 926.053.800	Rp 6.173.060	Rp 932.226.860
Nov-25	11.722	15.629	11.721	Rp 740.814.600	Rp 9.259.590	Rp 750.074.190
Des-25	15.629	11.722	7.814	Rp 555.622.800	Rp 6.173.060	Rp 561.795.860
Total	175.830	183.644		Rp 8.704.725.600	Rp 86.422.840	Rp 8.791.148.440

Berdasarkan Tabel 5, perusahaan mengalami kelebihan pembelian sebesar 7.815 kg selama periode 12 bulan sebelumnya. Selisih tersebut menunjukkan adanya kelebihan persediaan yang berpotensi meningkatkan biaya penyimpanan. Dari perhitungan biaya yang terdiri atas biaya pembelian dan biaya penyimpanan, diperoleh total biaya persediaan sebelum menggunakan metode *Dynamic Programming* sebesar Rp 8.791.148.440. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kebijakan pembelian yang diterapkan sebelumnya masih menghasilkan biaya persediaan yang relatif besar karena belum dilakukan optimasi terhadap kombinasi jumlah pembelian dan tingkat persediaan setiap periode.

2. Kondisi setelah menggunakan Metode *Dynamic Programming*

Setelah dilakukan optimasi menggunakan metode *Dynamic Programming* pendekatan rekursif mundur, diperoleh kebijakan pembelian optimal untuk setiap periode yang mampu meminimalkan total biaya persediaan. Berikut Tabel 6, hasil perhitungan optimal menunjukkan bahwa jumlah pembelian pada setiap periode telah disesuaikan dengan mempertimbangkan biaya pemesanan, biaya pembelian per kg, serta biaya penyimpanan per kg per periode.

Tabel 6. Perbandingan Total Biaya Persediaan

Keterangan	Sebelum DP	Setelah DP
Total Biaya	Rp 8.791.148.440	Rp 7.877.017.110
Penghematan		Rp 914.131.330
Persentase Efisiensi Biaya		10,40%

Berdasarkan tabel 6, terlihat bahwa penerapan metode *Dynamic Programming* mampu menurunkan total biaya persediaan sebesar Rp 914.131.330 atau 10,40% dibandingkan kebijakan sebelumnya. Penghematan tersebut terjadi karena metode *Dynamic Programming* mampu menentukan kombinasi pembelian dan tingkat persediaan yang optimal pada setiap periode sehingga biaya penyimpanan dapat ditekan tanpa mengganggu pemenuhan kebutuhan permintaan tahunan. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan optimasi yang digunakan lebih efektif dalam mengendalikan biaya persediaan dibandingkan kebijakan pembelian konvensional perusahaan.

Penelitian ini memperlihatkan bahwa penggunaan hasil peramalan yang dikombinasikan dengan metode *Dynamic Programming* mampu menghasilkan pengelolaan persediaan yang lebih terarah dibandingkan kebijakan sebelumnya. Angka kebutuhan tahunan yang diperoleh dari proses peramalan digunakan sebagai acuan dalam menentukan jumlah pembelian, sehingga keputusan tidak hanya mengikuti perubahan permintaan sesaat. Meskipun tingkat kesalahan peramalan menunjukkan nilai MAPE sebesar 30,36%, hasil tersebut masih dapat dimanfaatkan dalam perhitungan optimasi karena pola kebutuhan selama periode pengamatan tidak berubah secara drastis.

Melalui perhitungan dengan metode *Dynamic Programming* secara rekursif mundur, diperoleh jumlah pembelian sebesar 13.500 kg pada sebagian besar periode sebagai pilihan yang paling efisien. Jumlah tersebut muncul setelah mempertimbangkan biaya pemesanan dan biaya penyimpanan yang terjadi pada setiap periode. Dengan keputusan ini, persediaan dapat dikendalikan agar tidak melebihi kapasitas gudang dan tidak terjadi penumpukan stok. Jika dibandingkan dengan kebijakan sebelumnya yang menyebabkan kelebihan pembelian sebesar 7.815 kg, metode ini mampu mengurangi biaya penyimpanan dan membuat pengelolaan persediaan menjadi lebih efisien. Temuan ini sejalan dengan penelitian Fadhi [4] dan Subekti [7] yang menyatakan bahwa pendekatan deterministik dinamis efektif dalam meminimalkan total biaya melalui pengambilan keputusan bertahap pada setiap periode. Dengan demikian, metode *Dynamic Programming* terbukti mendukung pengambilan keputusan yang lebih rasional dan terstruktur dalam pengendalian persediaan bahan baku.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, peramalan kebutuhan bahan baku *round bar* AISI 4135 untuk periode penelitian sebesar 169.926 kg selama satu tahun dengan kebutuhan bulanan berkisar antara 13.935 kg hingga 14.386 kg. Hasil tersebut digunakan sebagai dasar dalam perencanaan persediaan. Penerapan metode *Dynamic Programming* dengan pendekatan rekursif mundur menghasilkan keputusan pembelian optimal sebesar 13.500 kg pada sebagian besar periode dengan pergerakan persediaan yang konsisten sesuai *state* yang telah ditentukan dalam model. Total biaya persediaan setelah menggunakan metode *Dynamic Programming* sebesar Rp 7.877.017.110 lebih rendah dibandingkan kebijakan perusahaan sebelumnya sebesar Rp 8.791.148.440 sehingga diperoleh penghematan sebesar Rp 914.131.330 atau 10,40%. Dengan demikian, metode *Dynamic Programming* terbukti mampu mengoptimalkan total biaya persediaan bahan baku *round bar* AISI 4135 dibandingkan kebijakan sebelumnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo serta PT. MJM yang memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian.

REFERENSI

- [1] I. Mevia and H. Purnomo, "Analisis Perencanaan Dan Pengendalian Persediaan Bahan Baku Terhadap Proses Produksi Di Ras Design Interior," *Simposium Manajemen dan Bisnis II*, vol. 2, pp. 1617–1629, 2023.
- [2] N. T. Qurniawan and T. Sukmono, "Peramalan Permintaan dengan Menerapkan Metode Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) pada Industri Beton," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, vol. 4, no. 3, pp. 1024–1032, 2025.
- [3] A. K. Sharma, "A Comparative Analysis of Inventory Models: Evaluating the Economic Order Quantity (EOQ) Model with Constant Demand versus Variable Demand Rates," *Journal of Ravishankar University*, vol. 38, no. 1, pp. 61–66, 2025, doi: 10.52228/jrub.2025-38-1-4.
- [4] R. Fadhli, Suherman, M. Isnaini Hadiyul Umam, Anwardi, and M. Nazaruddin, "Analisis Persediaan Pupuk Anorganik Dan Organik Menggunakan Metode Pemrograman Dinamis," *Journal of Information Technology and Computer Science*, vol. 6, no. 1, pp. 44–52, 2023.
- [5] Taha and A. Hamdy, *Operations Research: An Introduction*, 8th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc., 2007.
- [6] A. N. Rizky, "Program Dinamik Pada Perencanaan Produksi Dan Pengendalian Persediaan PT Ganesha Abaditama," *Jurnal Optimasi Teknik Industri*, vol. 03, no. 01, pp. 14–18, 2021.
- [7] Subekti and Y. Nursyanti, "Optimasi Persediaan Dengan Pendekatan Deterministik Dinamis pada Industri Manufaktur," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, vol. 2, pp. 8–18, 2023.
- [8] B. Lestari and S. Sawaluddin, "Penerapan Program Dinamik untuk Mengoptimalkan Total Biaya dalam Perencanaan Produksi dan Pengendalian Persediaan," *Jurnal Matematika dan Ilmu Pengelatan Alam*, vol. 2, no. 2, pp. 200–218, 2024, doi: 10.59581/konstanta-widyakarya.v2i2.3470.
- [9] Nasution and Arman Hakim, *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*, Pertama. Surabaya: Guna Widya, 2003.
- [10] D. F. Asfan and I. M. Ghoniyah, "Analisis Peramalan Kebutuhan Bahan Baku Manjakani dan Kunci Pepet pada Pembuatan Produk Jamu Madura," *PROZIMA (Productivity, Optimization and Manufacturing System Engineering)*, vol. 8, no. 1, pp. 35–45, 2024, doi: 10.21070/prozima.v8i1.1689.
- [11] Weisberg Sanford, *Applied Linear Regression*, 3rd ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005. [Online]. Available: www.copyright.com.
- [12] Alaa Mohammed Ali Mustafa, Aseel Muslim Iesa, Zainab Falih Hamza, and Kareem Khalaf Aazer, "Comparison of Simple Linear Regression and Binary Logistic Linear Regression for Digital Image Segmentation," *Iraqi Statisticians Journal*, vol. 2, pp. 271–276, 2025, doi: 10.62933/qn001441.
- [13] Pangestu Subagyo, Marwan Asri, and T. Hani Handoko, *Dasar Dasar Operation Research*, 2nd ed. Yogyakarta: PT. BPFE, 2000.
- [14] Adatika Lisa and Darsono Suseno, "Optimasi Operasi Waduk Dolok dengan Program Dinamik," *Jurnal Riset dan Konseptual*, vol. 6, no. 1, pp. 205–215, 2021, doi: 10.28926/briliant.
- [15] N. Herawati, I. Arofah, and B. Arnawisuda Ningsi, "Optimasi Produksi Tahu Dengan Menggunakan Metode Program Dinamik," *Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika*, vol. 2, no. 1, pp. 34–44, 2021, doi: 10.46306/lb.v2i1.
- [16] A. I. Pratiwi, A. Z. Wathoni, D. Adetia, and A. R. Nurohman, "Optimasi dan Analisis Persediaan Bahan Baku Kawat Tembaga Untuk Proses Magnetic Dengan Metode Pemrograman Dinamis," *OPSI*, vol. 14, no. 2, pp. 208–219, 2021, doi: 10.31315/opsi.v14i2.5385.
- [17] L. Winston, *Operations Research: Applicatios and Algorithms*, 4th ed. Arizona: University of Arizona, 2004.

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.