

Production Plan Analysis in PT. Indo Ceria Through Goal Programming Method

[Analisa Perencanaan Produksi pada PT. Indo Ceria Melalui Metode Goal Programming]

Mokhammad Amir Affandi¹⁾, Tedjo Sukmono^{*,2)}

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

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

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

Abstract. *PT. Indo Ceria often faces challenges in planning its production activities. An analysis of production data from January to December 2023 reveals significant fluctuations, leading to excess production capacity and an accumulation of finished goods in the warehouse. During this period, the total output reached 2,036,864,790 pieces. This study seeks to forecast the quantity of products to be manufactured over the next year by developing a production planning model aimed at optimizing both production output and working hours. The study utilizes the Double Exponential Smoothing, Triple Exponential Smoothing, and Goal Programming approaches, with computations facilitated by the LINGO software. Based on the forecasting results for the January–December 2023 period, using the equation $= 22,182,816.99 + (-64,227.20)$, the projected production quantity is 2,037,964,579.45 pieces, requiring a total working time of 98,153 minutes or 1,636 hours.*

Keywords – Plastic Cup; Triple Exponential Smoothing Method; Double Exponential Smoothing Method; Goal Programming Method; Forecasting,

Abstrak. *PT. Indo Ceria kerap menghadapi tantangan dalam perencanaan produksinya. Analisis data produksi dari Januari hingga Desember 2023 menunjukkan adanya fluktuasi yang signifikan, yang mengakibatkan kelebihan kapasitas produksi serta penumpukan barang jadi di gudang. Pada periode tersebut, total output mencapai 2.036.864.790 unit. Penelitian ini bertujuan memprediksi jumlah produk yang akan diproduksi selama satu tahun ke depan dengan mengembangkan model perencanaan produksi yang bertujuan mengoptimalkan hasil produksi dan waktu kerja. Penelitian ini memanfaatkan Metode Triple Exponential Smoothing, Double Exponential Smoothing, dan Goal Programming, dengan perhitungan yang dibantu oleh software LINGO. Berdasarkan hasil peramalan untuk periode Januari–Desember 2023, dengan persamaan $= 22.182.816,99 + (-64.227,20)$, diperoleh proyeksi jumlah produksi sebesar 2.037.964.579,45 unit, dengan total waktu kerja yang dibutuhkan selama 98.153 menit atau 1.636 jam.*

Kata Kunci – Cup Plastik; Metode Triple Exponential Smoothing; Metode Double Exponential Smoothing; Metode Goal Programming, Peramalan.

I. PENDAHULUAN

PT. Indo Ceria adalah perusahaan yang bergerak di bidang *packaging* dan menghasilkan produk berupa *cup* air mineral dan berbagai kemasan produk dengan menggunakan bahan dasar biji plastik.

Pada tahun 2023, PT. Indo Ceria menghadapi masalah terkait hasil produksi yang berfluktuasi, dengan penurunan tajam terjadi antara April hingga Mei, serta peningkatan produksi yang signifikan pada periode Juni hingga Juli. Pada bulan Januari, hasil produksi perusahaan adalah sebanyak 168769990 *pcs*, sedangkan pada bulan Februari mengalami penurunan sehingga menghasilkan produk sebanyak 1617556440 *pcs*. Kemudian pada bulan Maret hasil produksi kembali mengalami peningkatan sebanyak 179765540 *pcs*. Ketidakseimbangan hasil produksi bulanan memicu berbagai masalah bagi perusahaan, seperti jumlah produksi yang melebihi permintaan, yang berdampak pada meningkatnya biaya produksi dan penumpukan stok di gudang.

Perencanaan produksi merupakan aktivitas strategis yang sangat penting bagi perusahaan manufaktur agar dapat mengantisipasi fluktuasi permintaan pasar dan mengoptimalkan sumber daya yang dimiliki. Penelitian mengenai optimasi perencanaan produksi banyak dilakukan dengan memanfaatkan metode Goal Programming. Goal Programming mampu digunakan untuk mengoptimasi perencanaan produksi dengan mempertimbangkan berbagai tujuan, seperti meminimasi biaya produksi dan memaksimalkan kapasitas produksi, sehingga perusahaan dapat mencapai efisiensi operasional secara optimal.[1] Penelitian serupa dilakukan oleh Pradjaningsih et al. (2024) yang menerapkan Goal Programming pada UMKM produksi coklat, dan berhasil menentukan jumlah produksi optimal dengan memperhitungkan keterbatasan sumber daya serta permintaan pasar.[2]

Ramadiani et al. (2020) menggunakan metode Double dan Triple Exponential Smoothing untuk meramalkan jumlah penumpang pesawat dan menemukan bahwa pemilihan metode terbaik bergantung pada tingkat error seperti

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.

MAPE (Mean Absolute Percentage Error).[3] Temuan serupa juga didukung oleh Krissyda dan Oktiarso (2021) yang menerapkan Goal Programming pada UKM XYZ, di mana metode peramalan yang akurat menjadi dasar penting dalam menyusun model optimasi produksi.[4]

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode Goal Programming sangat efektif dalam mengoptimasi perencanaan produksi multi-produk dengan berbagai kendala sumber daya, sedangkan metode Double dan Triple Exponential Smoothing terbukti relevan dan akurat dalam menghasilkan peramalan yang mendukung proses pengambilan keputusan produksi. Oleh sebab itu, penelitian ini memanfaatkan metode Double Exponential Smoothing, Triple Exponential Smoothing, serta Goal Programming untuk membantu PT. Indo Ceria dalam menyusun perencanaan produksi yang optimal pada periode mendatang.

II. METODE

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian **kuantitatif deskriptif** dengan pendekatan **analitis**. Pendekatan kuantitatif digunakan karena penelitian ini mengolah data numerik historis berupa data produksi, permintaan, serta kapasitas produksi yang kemudian dianalisis optimasi matematis. Pendekatan deskriptif bertujuan menggambarkan secara sistematis karakteristik perencanaan produksi berdasarkan hasil peramalan dan optimasi.

Adapun metode yang digunakan adalah kombinasi dari **metode peramalan Double Exponential Smoothing** dan **Triple Exponential Smoothing**, untuk memprediksi kebutuhan produksi di masa depan berdasarkan tren dan pola musiman historis. *Goal Programming* digunakan untuk menentukan jumlah produksi optimal sesuai dengan tujuan dan keterbatasan perusahaan.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di **PT. Indo Ceria**, sebuah perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang *packaging*. Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan selama **bulan Januari 2023 hingga Desember 2023**, dimulai dari proses pengumpulan data dan analisis data.

Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis data utama:

- Menentukan nilai awal level dan tren.

Data primer diperoleh dengan cara wawancara dengan pihak manajer produksi, kepala gudang, dan staf perencanaan produksi.

- Menentukan tingkat kesalahan MAPE

Data sekunder meliputi data historis jumlah produksi per bulan, informasi kapasitas mesin serta jam kerja karyawan.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan yaitu dengan studi dokumentasi, wawancara serta observasi. **Studi dokumentasi** digunakan untuk mengumpulkan data produksi masa lalu, laporan permintaan, dan kapasitas operasional. **Wawancara terstruktur** dilakukan dengan staf yang terlibat dalam perencanaan dan pelaksanaan produksi untuk memahami target dan kendala operasional. **Observasi Lapangan dilakukan** untuk melihat langsung proses produksi dan distribusi barang, serta bagaimana sistem perencanaan diterapkan.

Double Eksponential Smoothing

DES digunakan ketika data menunjukkan **tren naik atau turun** tetapi **tidak musiman**. Model ini mengandalkan dua parameter *smoothing*. Rumus yang digunakan yaitu:

$$\begin{aligned} S_t'' &= \alpha S_1' + (1 - \alpha) S_{t-1}' [5] \\ a_t &= 2S_t' - S_t'' [5] \\ b_t &= \frac{\alpha}{1-\alpha} (S_t' - S_t'') [5] \\ (F_{t+m}) &= a_t + b_t m [5] \end{aligned}$$

Langkah-langkah:

- Menentukan nilai awal level dan tren.
- Menghitung peramalan untuk periode selanjutnya.
- Menentukan tingkat kesalahan MAPE

Peramalan dengan Triple Exponential Smoothing (TES)

Digunakan bila data menunjukkan **tren dan pola musiman**. *Triple Eksponential Smoothing* membutuhkan tiga parameter, yaitu level, tren dan musim. Rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} S_t''' &= \alpha S_t'' + (1 - \alpha) S_{t-1}''' [6] \\ a_t &= 3S_t' - 3S_t'' + S_t''' [6] \\ b_t &= \frac{\alpha}{2(1-\alpha)^2} [(6 - 5\alpha) S_t' - (10 - 8\alpha) S_t'' + (4 - 3\alpha) S_t'''] [6] \end{aligned}$$

$$c_t = \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)^2} [S'_t - 2S''_t + S'''_t] \quad [6]$$

$$F_{t+m} = a_t + b_t m + \frac{1}{2} c_t m^2 \quad [6]$$

Langkah-langkah:

1. Mengidentifikasi panjang musim (misalnya 12 bulan).
2. Mengestimasi komponen awal: level, tren, dan musiman.
3. Mengoptimasi nilai α , b_t , dan c_t .
4. Mengukur kesalahan prediksi.

Penentuan Metode Peramalan Terbaik

Untuk memilih metode yang paling akurat antara *Double Eksponential Smoothing* dan *Triple Eksponensial Smoothing*, dilakukan evaluasi dengan menggunakan MAPE. Perhitungan ini dihitung dengan kesalahan absolut tiap periode dengan dibagi nilai observasi, dengan merata-rata kesalahan absolut tersebut [8].

$$MAPE = \sum_{i=1}^n \frac{|PE_i|}{n} \quad [5]$$

Perencanaan Produksi dengan Goal Programming

Goal Programming digunakan untuk menyusun rencana produksi berdasarkan hasil peramalan yang telah dilakukan, dengan mempertimbangkan berbagai kendala dan tujuan. Berikut ini adalah tahapan metode *linear programming* [7]:

- a. Menentukan variable keputusan
- b. Mengidentifikasi fungsi sasaran
- c. Mengidentifikasi masalah yang didasari oleh keterbatasan sumber daya atau kondisi tertentu yang wajib dipenuhi, di mana dasar dari fungsi masalah mencakup penetapan fungsi tujuan dan berbentuk fungsi linear dari variabel keputusan. Berikut ini adalah rumus yang digunakan pada metode *linear programming* :

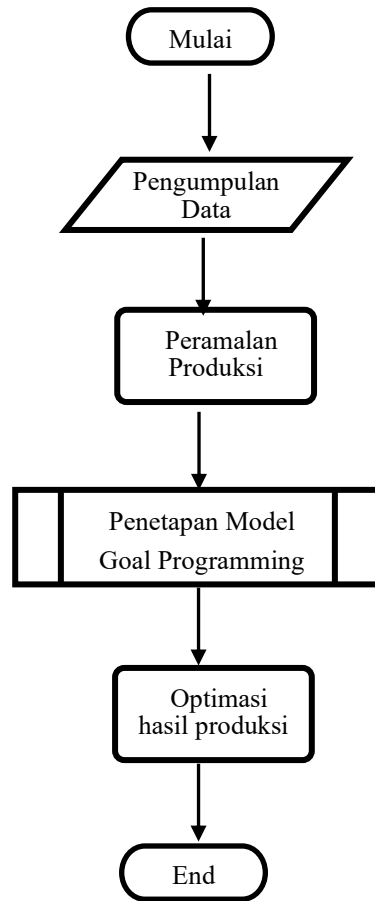
Minimumkan $z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$ berdasarkan pada pembatas [7]:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\leq b_2 \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m \\ x_i &\geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad [7]$$

Dalam penelitian ini digunakan beberapa perangkat lunak dan alat bantu sebagai berikut:

- a. **Microsoft Excel** untuk perhitungan statistik dan visualisasi data tren. Microsoft Excel memiliki kemampuan untuk membantu proses analisis statistik dan visualisasi data secara praktis, termasuk analisis deskriptif, uji hipotesis, dan grafik tren. [10]
- b. **Lingo** untuk menyelesaikan model *Goal Programming*. Perangkat lunak LINGO digunakan sebagai alat melakukan optimasi serta sebagai acuan pembandingan hasil. [8].

Diagram Alir



Gambar 1. Diagram alir penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

1. Hasil Produksi Untuk Tahun 2023

Data produksi ini bersumber dari arsip dokumen perusahaan di bagian rigid, dan digunakan sebagai acuan dalam meramalkan jumlah produksi untuk periode satu tahun mendatang, seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Produksi 2023

Bulan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember	Total
Product Name													
<i>Illig RDM 70K</i>	23674000	22225420	24713240	20812200	20657100	24673500	25645800	19658900	23976500	25349000	18675000	21198600	271259260
<i>Illig RDM 75K/2G</i>	34085490	37649000	39067300	40897400	34980700	38706500	42873400	39657050	37947880	40365270	40785210	36086400	463101600
<i>Illig RDM 75K/3G</i>	45879350	38679700	43768500	42763900	37659050	38564900	43877690	43648900	45843700	39764320	42657050	41765890	504872950
<i>Gabler 92</i>	20556860	23648000	26544000	19875000	21675460	24634500	24548900	26900240	25745900	25786500	6543,40	24678500	287248660
<i>Gabler 98</i>	44574290	39554320	45672500	43798300	40654800	17468,29	39547800	43985680	41698700	40965870	50149,88	42758170	510382320
TOTAL	168769990	161756440	179765540	168146800	162867310	167234200	176493590	173850770	175212680	172230960	164048950	166487560	2036864790

2. Data Kecepatan Produksi

Laju produksi yang telah ditentukan menjadi standar bagi semua mesin yang digunakan, sehingga tidak perlu dilakukan perhitungan manual. Informasi mengenai laju produksi dapat ditemukan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Laju Produksi

Produk	Laju Produksi (pcs/jam)
<i>Illig RDM 70K</i>	30000
<i>Illig RDM 75K/2G</i>	40000
<i>Illig RDM 75K/3G</i>	50000
<i>Gabler 92</i>	25000

3. Data Jam Kerja

PT. Indoceria menjalankan sistem kerja dengan 3 shift. Setiap shift memiliki durasi kerja efektif selama 8 jam tanpa waktu istirahat, karena waktu istirahat diatur bergiliran. Rincian data jam kerja dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Waktu Kerja Tersedia

Bulan	Hari Kerja	Jam Kerja Tersedia (Jam)	Jam Kerja Tersedia (Menit)
Januari 2023	31	744	44640
Februari 2023	28	672	40320
Maret 2023	31	744	44640
April 2023	25	600	36000
Mei 2023	31	744	44640
Juni 2023	30	720	43200
Juli 2023	31	744	44640
Agustus 2023	31	744	44640
September 2023	30	720	43200
Oktober 2023	31	744	44640
November 2023	30	720	43200
Desember 2023	31	744	44640

B. Pengolahan Data

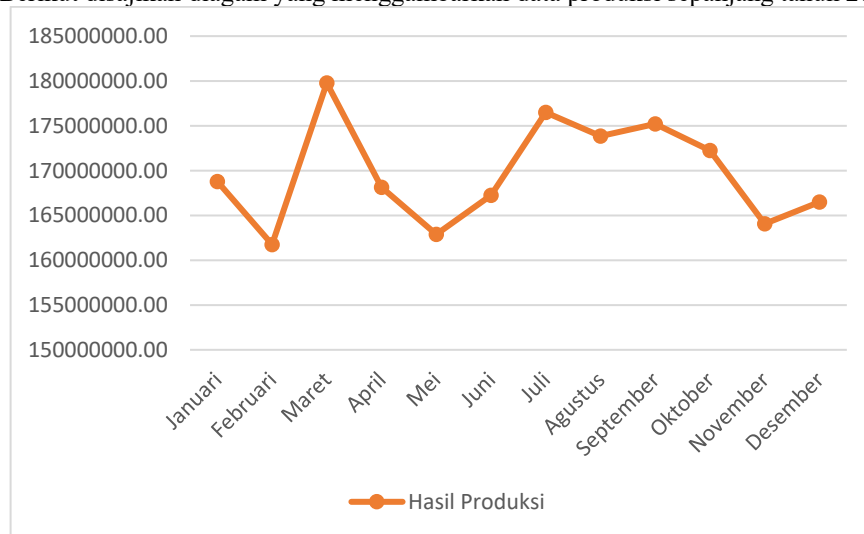
1. Peramalan Hasil Produksi Tahun 2024

a. Tujuan peramalan

Peramalan ini bertujuan memprediksi hasil produksi masing-masing produk untuk periode satu tahun ke depan.

b. Membuat Diagram Pencar

Tujuan dari hal ini adalah menganalisis tren data historis yang dijadikan dasar dalam memilih metode peramalan yang paling tepat. Berikut disajikan diagram yang menggambarkan data produksi sepanjang tahun 2023.



Gambar 1. Grafik Hasil Produksi Tahun 2023

c. Menentukan Metode Peramalan

Berdasarkan pola data yang terlihat pada diagram pencar di atas, terdapat beberapa metode alternatif yang dapat digunakan untuk melakukan peramalan. Untuk menjaga fokus penelitian ini, ruang lingkup permasalahan dibatasi hanya pada metode *double eksponensial* dan metode *triple eksponensial*.

2. Analisa Data Menggunakan *Double Exponential Smoothing Method*.

Metode *Double Exponential Smoothing* adalah teknik peramalan yang menerapkan proses pemulusan sebanyak dua kali sebelum melakukan prediksi. Sebelum pemulusan dilakukan, perlu ditetapkan nilai parameter pemulusan (α) lebih dulu yang berada dalam rentang $0 < \alpha < 1$. Nilai α diperoleh melalui metode *trial and error* dan dipilih berdasarkan nilai MAPE terkecil.

a. Nilai pemulusan pertama (S')

Langkah awal yang dilakukan adalah menghitung pemulusan menggunakan metode *Single Exponential Smoothing* dengan parameter α sebesar 0,1 sehingga digunakan persamaan sebagai berikut:

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S'_{t-1}$$

Untuk *Illig RDM 70K*

Bulan Januari 2023

$t = 1$ dengan nilai S' sama dengan $S' = X_1$ sebesar 23674000 pcs.

Bulan Februari 2023

$$\begin{aligned} S'_2 &= (0,1 \times X_2) + (1 - 0,1)S'_1 \\ &= (0,1 \times 22225420) + (1 - 0,1) \times 23674000 \\ &= 23529142 \end{aligned}$$

Bulan Maret 2023

$$\begin{aligned} S'_3 &= (0,1 \times X_3) + (1 - 0,1)S'_2 \\ &= (0,1 \times 24713240) + (1 - 0,1) \times 23529142 \\ &= 23647551,80 \end{aligned}$$

Perhitungan dilanjutkan hingga $t = 12$, dengan parameter $\alpha = 0.9$, pada *illig RDM 70K*.

Tabel 4. Nilai pada *single exponential smoothing* parameter $\alpha = 0.1$.

$\alpha = 0.1$	Januari T1	Februari T2	Maret T3	April T4	Mei T5	Juni T6	Juli T7	Agustus T8	September T9	Oktober T10	November T11	Desember T12
<i>Illig RDM 70K</i>	23674000	23529142	23647551,80	23364016,62	23093324,96	23251342,46	23490788,22	23107599,39	23194489,45	23409940,51	22936446,46	22762661,81
<i>Illig RDM 75K/2G</i>	34085490	34441841	34904386,90	35503688,21	35451389,39	35776900,45	36486550,41	36803600,36	36918028,33	37262752,50	37614998,25	37462138,42
<i>Illig RDM 75K/3G</i>	45879350	45159385	45020296,50	44794656,85	4408109617	43529476,55	43564297,89	43572758,10	43799852,29	43396299,06	43322374,16	43166725,74
<i>Gabler 92</i>	20556860	20865974	21433776,60	21277898,94	21317655,05	21649339,54	21939295,59	22435390,03	22766441,03	23068446,92	23027082,23	23192224,01
<i>Gabler 98</i>	44574290	44072293	44232313,70	44188912,33	44559521,10	44169048,99	43706924,09	43734799,68	43531189,71	43274657,74	42874880,97	42863209,87

b. Menentukan nilai pemulusan kedua (S'')

Langkah awal yang dilakukan adalah menghitung pemulusan dengan menerapkan metode *double exponential smoothing* menggunakan persamaan berikut: $S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha)S'_{t-1}$

Untuk *Illig RDM 70K*

Bulan Januari 2023

$t = 1$ dengan nilai S'' sama dengan $S' = S'' = X_1$ sebesar 23674000 pcs

Bulan Februari 2023

$$\begin{aligned} S''_2 &= (0,1 \times S'_2) + (1 - 0,1)S'_1 \\ &= (0,1 \times 23529142) + (1 - 0,1) \times 23674000 \\ &= 23529142 \end{aligned}$$

Bulan Maret 2023

$$\begin{aligned} S''_3 &= (0,1 \times S'_3) + (1 - 0,1)S'_2 \\ &= (0,1 \times 23647551,80) + (1 - 0,1) \times 23529142 \\ &= 23647551 \end{aligned}$$

Kemudian lanjutkan perhitungan hingga $t = 12$, parameter $\alpha = 0.9$, di *Illig RDM 75K/2G*. Hasil perhitungannya dapat dilihat di tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan *double exponential smoothing* $\alpha = 0.1$.

$\alpha = 0.1$	Jan t1	Feb t2	Mar t3	Apr t4	Mei t5	Jun t6	Jul t7	Agust t8	Sept t9	Okt t10	Nov t11	Des t12
<i>Illig RDM 70K</i>	23674000	23659514.20	23658317.96	23628887.83	23575331.54	23542932.63	23537718.19	23494706.31	23464684.62	23459210.21	23406933.84	23342506.64
<i>Illig RDM 75K/2G</i>	34085490	34121125.10	34199451.28	34329874.97	34442026.41	34575513.82	34766617.48	34970315.77	35165087.02	35374853.57	35598868.04	35785195.08
<i>Illig RDM 75K/3G</i>	45879350	45807353.50	45728647.80	45635248.71	45479833.45	45284797.76	45112747.77	44958748.81	44842859.16	44698203.15	44560620.25	44421230.80
<i>Gabler 92</i>	20556860	20587771.40	20672371.92	20732924.62	20791397.66	20877191.85	20983402.23	21128601.01	21292385.01	21469991.20	21625700.30	21782352.67
<i>Gabler 98</i>	44574290	44524090.30	44494912.64	44464312.61	44473833.46	44443355.01	44369711.92	44306220.69	44228717.60	44133311.61	44007468.55	43893042.68

c. Nilai konstanta (a_t)

Jika penghitungan dengan metode *single exponential smoothing* dan *double exponential smoothing* selesai, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai konstanta (a_t) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$a_t = 2S'_t - S''_t$$

Untuk *Illig RDM 70K*

Bulan Januari 2023, $t = 1$

$$\begin{aligned} a_t &= 2S'_t - S''_t \\ &= (2 \times 23674000) - 23674000 \end{aligned}$$

$$= 23674000$$

Bulan Februari 2023, $t = 2$

$$\begin{aligned} a_t &= 2S'_t - S''_t \\ &= (2 \times 23529142) - 23659514,20 \\ &= 23398769,80 \end{aligned}$$

Bulan Maret 2023, $t = 3$

$$\begin{aligned} a_t &= 2S'_t - S''_t \\ &= (2 \times 23647551,80) - 23658317,96 \\ &= 23636785,64 \end{aligned}$$

Lanjutkan proses penghitungan sampai $t = 12$, parameter $\alpha = 0.9$, di *Illig RDM 75K*. hasil penghitungannya terdapat pada tabel 6.

Tabel 6. Nilai konstanta a_t

$\alpha = 0.1$	Jan t1	Feb t2	Mar t3	Apr t4	Mei t5	Jun t6	Jul t7	Agust t8	Sept t9	Okt t10	Nov t11	Des t12
<i>Illig RDM 70K</i>	23674000.00	23398769.80	23636785.64	23099145.41	22611318.38	22959752.29	23443858.24	22720492.48	22924294.29	23360670.81	22465959.08	22182816.99
<i>Illig RDM 75K/2G</i>	34085490.00	34762556.90	35609322.52	36677501.45	36460752.36	36978287.08	38206483.33	38636884.96	38670969.63	39150651.42	39631128.45	39139081.77
<i>Illig RDM 75K/3G</i>	45879350.00	44511416.50	44311945.20	43954065.00	42682358.88	41774155.34	42015848.01	42186767.40	42756845.43	42094394.98	42084128.07	41912220.69
<i>Gabler 92</i>	20556860.00	21144176.60	22195181.28	21822873.26	21843912.43	22421487.23	22895188.95	23742179.05	24240497.04	24666902.65	24428464.16	24602095.34
<i>Gabler 98</i>	44574290.00	43620495.70	43969714.76	43913512.05	44645208.74	43894742.96	43044136.26	43163378.66	42833661.83	42416003.87	41742293.39	41833377.06

d. Nilai konstanta (b_t)

Setelah memperoleh hasil perhitungan nilai konstanta (a_t), langkah berikutnya adalah menghitung nilai konstanta (b_t) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$b_t = \frac{\alpha}{1 - \alpha} (S'_t - S''_t)$$

Untuk *Illig RDM 70K*

Bulan Januari 2023, $t = 1$

$$\begin{aligned} b_t &= \frac{0,1}{1 - 0,1} (S'_t - S''_t) \\ &= \frac{0,1}{0,9} (23674000 - 23674000) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Bulan Februari 2023, $t = 2$

$$\begin{aligned} b_t &= \frac{0,1}{1 - 0,1} (S'_t - S''_t) \\ &= \frac{0,1}{0,9} (23659514,20 - 23398769,80) \\ &= -14485,80 \end{aligned}$$

Bulan Maret 2023, $t = 3$

$$\begin{aligned} b_t &= \frac{0,1}{1 - 0,1} (S'_t - S''_t) \\ &= \frac{0,1}{0,9} (23658317,96 - 23636785,64) \\ &= -1196,24 \end{aligned}$$

Proses penghitungan dilanjutkan sampai pada $t = 12$, parameter $\alpha = 0.9$, di *Illig RDM 75K*. Hasil penghitungan ditunjukkan dalam tabel 7.

Tabel 7. Konstanta b_t

$\alpha = 0.1$	Jan t1	Feb t2	Mar t3	Apr t4	Mei t5	Jun t6	Jul t7	Agust t8	Sept t9	Okt t10	Nov t11	Des t12
<i>Illig RDM 70K</i>	0.00	-14485.80	-1196.24	-29430.13	-53556.29	-32398.91	-5214.44	-43011.88	-30021.69	-5474.41	-52276.38	-64427.20
<i>Illig RDM 75K/2G</i>	0.00	35635.10	78326.18	130423.69	112151.44	133487.40	191103.66	203698.29	194771.26	209766.55	224014.47	186327.04
<i>Illig RDM 75K/3G</i>	0.00	-71996.50	-78705.70	-93399.09	-155415.25	-195035.69	-172049.99	-153998.97	-115889.65	-144656.01	-137582.90	-139389.45
<i>Gabler 92</i>	0.00	30911.40	84600.52	60552.70	58473.04	85794.19	106210.37	145198.78	163784.00	177606.19	155709.10	156652.37
<i>Gabler 98</i>	0.00	-50199.70	-29177.66	-30600.03	9520.85	-30478.45	-73643.09	-63491.22	-77503.10	-95405.99	-125843.06	-114425.87

e. Menentukan nilai peramalan (F_{t+m})

Setelah menghitung nilai konstanta (a_t) dan (b_t), proses dilanjutkan dengan menentukan nilai peramalan (F_{t+m}) yang dimulai pada bulan kedua, menggunakan persamaan berikut:

$$(F_{t+m}) = a_t + b_t m$$

Tidak ada nilai peramalan pada bulan Januari 2023, hal ini disebabkan karena dalam penentuan nilai peramalan belum ada nilai konstanta (a_t) dan nilai konstanta (b_t) periode sebelumnya.

Untuk *Illig RDM 70K*

Bulan Februari 2023, $t = 1$

$$F_{1+1} = a_1 + (b_1 \times 1)$$

$$F_2 = 23674000 + (0 \times 1)$$

$$F_2 = 23674000$$

Bulan Maret 2023, $t = 2$

$$F_{2+1} = a_2 + (b_2 \times 1)$$

$$F_2 = 23398769,80 + (-14485,80 \times 1)$$

$$F_2 = 23384284$$

Proses penghitungan dilanjutkan sampai $t = 12$, parameter $\alpha = 0.9$, di *Illig RDM 75K*. Hasil penghitungan terdapat pada tabel 8.

Tabel 8. Peramalan F_{t+m} parameter $\alpha = 0.1$.

$\alpha = 0.1$	Januari T0	Februari T1	Maret T2	April T3	Mei T4	Juni T5	Jul T6	Agustus T7	September T8	Oktober T9	November T10	Desember T11
<i>Illig RDM 70K</i>	0,00	23674000.00	23384284.00	23635589.40	23069715.28	22557762.09	22927353.39	23438643.80	22677480.60	22894272.60	23355196.39	22413682.70
<i>Illig RDM 75K/2G</i>	0,00	34085490.00	34798192.00	35687648.70	36807925.14	36572903.81	37111774.49	38397586.99	38840583.25	38865740.89	39360417.97	39855142.92
<i>Illig RDM 75K/3G</i>	0,00	45879350.00	44439420.00	44233239.50	43860665.90	42526943.63	41579119.65	41843798.03	42032768.43	42640955.78	41949738.97	41946545.17
<i>Gabler 92</i>	0,00	20556860.00	21175088.00	22279781.80	21883425.96	21902385.47	22507281.42	23001399.32	23887377.83	24404281.05	24844508.84	24584173.26
<i>Gabler 98</i>	0,00	44574290.00	43570296.00	43940537.10	43882912.02	44654729.59	43864264.52	42970493.17	43099887.44	42756158.73	42320597.88	41616450.32

3. Analisis Data dengan *Triple Exponential Smoothing Method*.

Metode *Triple Exponential Smoothing* adalah teknik peramalan yang melibatkan tiga tahap pemulusan sebelum akhirnya menghasilkan nilai.

a. Menentukan nilai *smoothing* (pemulusan) ketiga

Tahap awal yang dilakukan adalah menghitung pemulusan ketiga dengan memakai parameter α sebesar 0,1, kemudian diterapkan persamaan berikut:

$$S_t''' = \alpha S_t'' + (1 - \alpha) S_{t-1}'''$$

Untuk *Illig RDM 70K*

Januari 2023, $t = 1$

Untuk $t = 1$ dengan nilai S''' sama dengan $S' = S'' = S''' = X_1$ sebesar 23674000

Februari 2023, $t = 2$

$$S_2''' = \alpha S_2'' + (1 - \alpha) S_1'''$$

$$= (0,1 \times 23659514,20) + (1 - 0,1) \times 23674000$$

$$= 23672551,42$$

Maret 2023, $t = 3$

$$S_3''' = \alpha S_3'' + (1 - \alpha) S_2'''$$

$$= (0,1 \times 23658317,96) + (1 - 0,1) \times 23672551,42$$

$$= 23671128,07$$

Proses penghitungan diteruskan hingga $t = 12$, parameter $\alpha = 0.9$, di *Illig RDM 75K*. Hasil penghitungan terdapat pada tabel 9.

Tabel 9. Hasil *TES* parameter $\alpha = 0.1$.

$\alpha = 0.1$	Jan t1	Feb t2	Mar t3	Apr t4	Mei t5	Jun t6	Jul t7	Agust t8	Sept t9	Okt t10	Nov t11	Des t12
<i>Illig RDM 70K</i>	23674000.00	23672551.42	23671128.07	23666904.05	23657746.80	23646265.38	23635410.66	23621340.23	23605674.67	23591028.22	23572618.78	23549607.57
<i>Illig RDM 75K/2G</i>	34085490.00	34089053.51	34100093.29	34123071.46	34154966.95	34197021.64	34253981.22	34325614.68	34409561.91	34506091.08	34615368.77	34732351.40
<i>Illig RDM 75K/3G</i>	45879350.00	45872150.35	45857800.10	45835544.96	45799973.81	45748456.20	45684885.36	45612271.70	45535330.45	45451617.72	45362517.97	45268389.25
<i>Gabler 92</i>	20556860.00	20559951.14	20571193.22	20587366.36	20607769.49	20634711.73	20669580.78	20715482.80	20773173.02	20842854.84	20921139.38	21007260.71
<i>Gabler 98</i>	44574290.00	44569270.03	44561834.29	44552082.12	44544257.26	44534167.03	44517721.52	44496571.44	44469786.05	44436138.61	44393271.60	44343248.71

b. Menentukan nilai konstanta (a_t)

Setelah selesai melakukan perhitungan dengan metode triple exponential smoothing, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai konstanta (a_t) menggunakan persamaan berikut:

$$a_t = 3S_t' - 3S_t'' + S_t'''$$

Untuk *Illig RDM 70K*

Bulan Januari 2023, $t = 1$

$$\begin{aligned} a_1 &= 3S_1' - 3S_1'' + S_1''' \\ &= (3 \times 23674000) - (3 \times 23674000) + 23674000 \\ &= 23674000 \end{aligned}$$

Bulan Februari 2023, $t = 2$

$$\begin{aligned} a_2 &= 3S_2' - 3S_2'' + S_2''' \\ &= (3 \times 23529142) - (3 \times 23674000) + 23672551,42 \\ &= 23281434,82 \end{aligned}$$

Bulan Maret 2023, $t = 3$

$$\begin{aligned} a_3 &= 3S_3' - 3S_3'' + S_3''' \\ &= (3 \times 23647551,80) - (3 \times 23674000) + 23671128,07 \\ &= 23638829,59 \end{aligned}$$

Proses penghitungan diteruskan hingga $t = 12$, parameter $\alpha = 0.9$, di *Illig RDM 75K*. Hasil penghitungan Nilai terdapat pada tabel 10.

Tabel 10. Hasil penghitungan konstanta a_t

$\alpha = 0.1$	Jan t1	Feb t2	Mar t3	Apr t4	Mei t5	Jun t6	Jul t7	Agust t8	Sept t9	Okt t10	Nov t11	Des t12
<i>Illig RDM 70K</i>	23674000.00	23281434.82	23638829.59	22872290.43	22211727.05	22771494.87	23494620.74	22460019.48	22795089.16	23443219.11	22161156.65	21810073.10
<i>Illig RDM 75K/2G</i>	34085490.00	35051201.21	36214900.15	37644511.17	37183055.87	37801181.53	39413780.01	39825468.47	39668385.83	40169787.86	40663759.40	39763181.44
<i>Illig RDM 75K/3G</i>	45879350.00	43928244.85	43732746.20	43313769.39	41603761.95	40482492.56	41039535.72	41454299.59	42406309.86	41545905.47	41647779.70	41504874.09
<i>Gabler 92</i>	20556860.00	21394558.94	22855407.26	22222289.31	22186541.63	22951154.79	23537260.86	24635849.87	25195341.07	25638222.01	25125285.17	25236874.72
<i>Gabler 98</i>	44574290.00	43213878.13	43774037.47	43725881.29	44801320.17	43711248.96	42529358.03	42782308.39	42377202.40	41860177.00	40995508.86	41253750.28

c. Menentukan nilai konstanta (b_t)

Setelah menghitung nilai konstanta (a_t), langkah berikutnya adalah menghitung nilai konstanta dengan menggunakan persamaan berikut:

$$b_t = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)^2} [(6-5\alpha)S_t' - (10-8\alpha)S_t'' + (4-3\alpha)S_t''']$$

Untuk *Illig RDM 70K*

Bulan Januari 2023, $t = 1$

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{0,1}{2(1-0,1)^2} [(6-5 \times 0,1)23674000 - (10-8 \times 0,1)23674000 + (4-3 \times 0,1)23674000] \\ &= 0 \end{aligned}$$

Bulan Februari 2023, $t = 2$

$$\begin{aligned} b_2 &= \frac{0,1}{2(1-0,1)^2} [(6-5 \times 0,1)23529142 - (10-8 \times 0,1)23659514,20 + (4-3 \times 0,1)23672551,42] \\ &= -41284,53 \end{aligned}$$

Bulan Maret 2023, $t = 3$

$$\begin{aligned} b_3 &= \frac{0,1}{2(1-0,1)^2} [(6-5 \times 0,1)23647551,80 - (10-8 \times 0,1)23658317,96 + (4-3 \times 0,1)23671128,07] \\ &= -729,41 \end{aligned}$$

Perhitungan akan dilanjutkan hingga $t = 12$, parameter $\alpha = 0.9$, pada *Illig RDM 75K*. Nilai pada konstanta b_t parameter $\alpha = 0.1$, terdapat pada tabel 11.

Tabel 11. Hasil Penghitungan konstanta b_t

$\alpha = 0.1$	Jan t1	Feb t2	Mar t3	Apr t4	Mei t5	Jun t6	Jul t7	Agust t8	Sept t9	Okt t10	Nov t11	Des t12
<i>Illig RDM 70K</i>	0.00	-41284.53	-729.41	-81242.69	-144820.97	-75395.97	6379.46	-102502.63	-59531.50	13379.21	-121891.75	-149560.07
<i>Illig RDM 75K/2G</i>	0.00	101560.03	216637.12	351283.94	277122.00	321432.43	466844.26	475164.89	422576.19	442532.28	459862.28	328868.32
<i>Illig RDM 75K/3G</i>	0.00	-205190.02	-210991.89	-239639.45	-401761.47	-490045.09	-395034.89	-321291.00	-195950.24	-269928.30	-237242.71	-232425.40
<i>Gabler 92</i>	0.00	88097.49	235392.87	151777.36	136727.86	206767.64	252856.43	349308.78	381865.66	399450.74	314859.58	301632.84
<i>Gabler 98</i>	0.00	-143069.14	-73869.39	-73453.97	45175.93	-72387.57	-191215.90	-150525.79	-181756.18	-222354.10	-296404.96	-246809.76

d. Menentukan nilai konstanta (c_t)

Setelah menghitung nilai konstanta (a_t) dan (b_t) proses dilanjutkan dengan menentukan nilai konstanta (c_t), menggunakan persamaan berikut:

$$c_t = \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)^2} [S_t' - 2S_t'' + S_t''']$$

Untuk *Illig RDM 70K*

Bulan Januari 2023, $t = 1$

$$c_1 = \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)^2} [S'_1 - 2S''_1 + S'''_1]$$

$$c_1 = \frac{(0,1)^2}{(1-0,1)^2} [23674000 - (2 \times 23674000 + 23674000)]$$

$$= 0$$

Bulan Februari 2023, $t = 2$

$$c_2 = \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)^2} [S'_2 - 2S''_2 + S'''_2]$$

$$c_2 = \frac{(0,1)^2}{(1-0,1)^2} [23529142 - (2 \times 23659514,20 + 23672551,42)]$$

$$= -1448,58$$

Bulan Maret 2023, $t = 3$

$$c_3 = \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)^2} [S'_3 - 2S''_3 + S'''_3]$$

$$c_3 = \frac{(0,1)^2}{(1-0,1)^2} [23647551,80 - (2 \times 23628887,83 + 23671128,07)]$$

$$= 25,23$$

Proses penghitungan diteruskan sampai $t = 12$, parameter $\alpha = 0.9$, pada *Illig RDM 75K*. Hasil penghitungan Nilai pada konstanta c_t parameter $\alpha = 0.1$, terdapat pada tabel 12.

Tabel 12. Nilai pada konstanta c_t parameter $\alpha = 0.1$.

$\alpha = 0.1$	Jan t1	Feb t2	Mar t3	Apl t4	Mei t5	Jun t6	Jul t7	Agust t8	Sept t9	Okt t10	Nov T11	Des T12
<i>Illig RDM 70K</i>	0.00	-1448.58	25.23	-2800.68	-4933.23	-2324.17	626.70	-3215.72	-1595.13	1019.11	-3762.99	-4601.78
<i>Illig RDM 75K/2G</i>	0.00	3563.51	7476.27	11938.39	8917.33	10159.19	14904.90	14673.87	12313.78	12581.93	12748.53	7704.93
<i>Illig RDM 75K/3G</i>	0.00	-7199.65	-7150.60	-7904.88	-13316.01	-15946.45	-12053.24	-9042.81	-4327.60	-6771.48	-5387.02	-5028.97
<i>Gabler 92</i>	0.00	3091.14	8150.94	4931.06	4229.99	6539.11	7926.81	11032.97	11788.20	11991.60	8602.73	7836.78
<i>Gabler 98</i>	0.00	-5019.97	-2415.77	-2316.43	1927.30	-2265.36	-6355.29	-4704.57	-5635.30	-6862.06	-9219.56	-7155.89

e. Menentukan nilai peramalan (F_{t+m})

Setelah memperoleh hasil perhitungan nilai konstanta (a_t), (b_t), dan (c_t) langkah selanjutnya adalah menghitung nilai peramalan (F_{t+m}) yang dimulai pada bulan kedua dengan menggunakan persamaan berikut:

$$F_{t+m} = a_t + b_t m + \frac{1}{2} c_t m^2$$

Pada Januari 2023, tidak terdapat nilai peramalan karena penentuan nilai ramalan memerlukan nilai konstanta (a_t) dan (b_t) dari periode sebelumnya.

Untuk *Illig RDM 70K*

Bulan Februari 2023, $t = 1$

$$F_{1+m} = a_1 + b_1 m + \frac{1}{2} c_1 m^2$$

$$F_{1+1} = 23674000 + (0 \times 1) + \frac{1}{2} (0 \times 1^2)$$

$$F_2 = 23674000$$

Bulan Maret 2023, $t = 2$

$$F_{2+m} = a_2 + b_2 m + \frac{1}{2} c_2 m^2$$

$$F_{2+1} = 23281434,82 + (-41284,53 \times 1) + \frac{1}{2} (-1448,58 \times 1^2)$$

$$F_3 = 23239426$$

Proses penghitungan diteruskan sampai $t = 12$, parameter $\alpha = 0.9$, di *Illig RDM 75K*. Hasil penghitungan terdapat di tabel 13.

Tabel 13. Hasil peramalan F_{t+m}

$\alpha = 0.1$	Jan t1	Feb t2	Mar t3	Apr t4	Mei t5	Jun t6	Jul t7	Agust t8	Sept t9	Okt t10	Nov t11	Des t12
<i>Illig RDM 70K</i>	0.00	23674000.00	23239426.00	23638112.80	22789647.40	22064439.47	22694936.82	23501313.55	22355908.99	22734760.10	23457107.88	22037383.40
<i>Illig RDM 75K/2G</i>	0.00	34085490.00	35154543.00	36435275.40	38001764.30	37464636.54	38127693.56	39888076.71	40307970.30	40097118.91	40618611.10	41129995.94

<i>Illig RDM 75K/3G</i>	0.00	45879350.00	43719455.00	43518179.00	43070177.50	41195342.48	39984474.25	40638474.20	41128487.19	42208195.82	41272591.43	41407843.48
<i>Gabler 92</i>	0.00	20556860.00	21484202.00	23094875.60	22376532.20	22325384.49	23161191.99	23794080.69	24990675.13	25583100.83	26043668.54	25444446.11
<i>Gabler 98</i>	0.00	44574290.00	43068299.00	43698960.20	43651269.10	44847459.76	43637728.71	42334964.49	42629430.32	42192628.57	41634391.87	40694494.12

4. Pemilihan Parameter α

Pemilihan parameter α didasarkan pada nilai MAPE (Mean Absolute Percentage Error). Rentang nilai parameter yang digunakan adalah antara 0,1 hingga 0,9. Semakin kecil nilai MAPE yang diperoleh, maka hasil peramalan semakin mendekati nilai aktual. Persentase kesalahan dalam suatu peramalan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$PE_t = \left(\frac{X_t - F_t}{X_t} \right) 100\%$$

1. Pemilihan MAPE menggunakan *Double Exponential Smoothing Method*

Pada $\alpha = 0,1$ di *Illig RDM 70K* periode ke-2 (Februari 2023) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} PE_2 &= \left(\frac{X_2 - F_2}{X_2} \right) 100\% \\ &= \left(\frac{22225420 - 23674000}{22225420} \right) 100\% \\ &= -6,52\% \\ [PE] &= 6,52\% \end{aligned}$$

Proses penghitungan PE_t akan dilakukan sampai parameter $\alpha = 0,9$, di *Illig RDM 75K/2G*. Hasil penghitungan terdapat pada tabel 14.

Tabel 14. Hasil perhitungan *percentage error* $\alpha = 0.1$.

Nama Mesin	Percentage error Double Exponential Smoothing Parameter $\alpha = 0.1$											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sept	Okt	Nov	Des
<i>Illig RDM 70K</i>	0.00	6.52	5.38	13.57	11.68	8.57	10.60	19.23	5.42	9.68	25.06	5.73
<i>Illig RDM 75K/2G</i>	0.00	9.47	10.93	12.74	5.22	5.51	13.44	3.18	2.35	3.71	3.49	10.44
<i>Illig RDM 75K/3G</i>	0.00	18.61	1.53	3.44	16.47	10.27	5.24	4.14	8.31	7.23	1.66	0.43
<i>Gabler 92</i>	0.00	13.07	20.23	12.10	0.96	11.09	8.32	14.49	7.22	5.36	9.67	0.38
<i>Gabler 98</i>	0.00	12.69	4.60	0.32	8.38	9.84	10.91	2.31	3.36	4.37	7.75	2.67

Setelah memperoleh hasil perhitungan *percentage error*, langkah berikutnya adalah menghitung nilai MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \left(\sum_{t=1}^n \frac{|X_t - F_t|}{X_t} \right) 100\%$$

Dengan $\alpha = 0,1$ dan $n = 12$, hasil analisis kesalahannya adalah :

$$\begin{aligned} MAPE &= \frac{1}{n} \left(\sum_{t=1}^n \frac{|X_t - F_t|}{X_t} \right) 100\% \\ &= \frac{121,44}{12} \\ &= 10,12 \end{aligned}$$

Berikut ditampilkan hasil lengkap perhitungan nilai MAPE dimulai dari parameter $\alpha=0,1$ sampai $\alpha=0,9$.

Tabel 15. Perhitungan nilai MAPE

Nama Mesin	MAPE Parameter α								
	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,3$	$\alpha = 0,4$	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 0,6$	$\alpha = 0,7$	$\alpha = 0,8$	$\alpha = 0,9$
<i>Illig RDM 70K</i>	10.12%	10.70%	11.27%	12.36%	13.48%	20.39%	26.82%	39.90%	80.55%
<i>Illig RDM 75K/2G</i>	6.71%	6.36%	6.63%	7.00%	7.42%	16.60%	22.77%	34.51%	69.88%
<i>Illig RDM 75K/3G</i>	6.44%	6.43%	6.73%	7.13%	7.57%	15.52%	20.59%	30.09%	57.69%
<i>Gabler 92</i>	8.57%	8.26%	8.70%	9.33%	9.82%	20.61%	27.77%	42.34%	87.39%
<i>Gabler 98</i>	5.60%	5.88%	6.30%	6.74%	7.32%	11.51%	15.85%	24.36%	49.19%

Berdasarkan Tabel 15, dapat disimpulkan bahwa parameter α dengan nilai MAPE paing rendah adalah $\alpha=0,1$. Oleh karena itu, perhitungan peramalan akan dilakukan menggunakan metode *DES* dengan parameter α sebesar 0,1.

2. Menentukan MAPE dengan Triple Exponential Smoothing Method

untuk $\alpha = 0,1$ pada Illig RDM 70K periode ke-2 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} PE_2 &= \left(\frac{X_2 - F_2}{X_2} \right) 100\% \\ &= \left(\frac{22225420 - 23674000}{22225420} \right) 100\% \\ &= -6,52\% \\ [PE] &= 6,52\% \end{aligned}$$

Proses penghitungan diteruskan sampai parameter $\alpha = 0.9$, pada Illig RDM 75K. Nilai pada *percentage error* parameter $\alpha = 0.1$, terdapat pada tabel 16.

Tabel 16. Hasil perhitungan *percentage error*

Nama Mesin	Percentage error Double Exponential Smoothing Parameter $\alpha = 0.1$											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sept	Okt	Nov	Des
Illig RDM 70K	0.00	6.52	5.96	13.58	10.32	10.57	11.51	19.55	6.76	10.31	25.61	3.96
Illig RDM 75K/2G	0.00	9.47	10.02	10.91	8.64	3.21	11.07	0.58	6.22	0.66	0.41	13.98
Illig RDM 75K/3G	0.00	18.61	0.11	1.76	14.37	6.82	8.87	6.90	10.29	6.15	3.25	0.86
Gabler 92	0.00	13.07	19.06	16.20	3.23	9.37	5.65	11.55	2.93	0.79	14.96	3.10
Gabler 98	0.00	12.69	5.70	0.23	8.86	10.31	10.34	3.75	2.23	2.99	6.00	4.83

Setelah memperoleh hasil perhitungan *percentage error*, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \left(\sum_{t=1}^n \frac{|X_t - F_t|}{X_t} \right) 100\%$$

Dengan $\alpha = 0,1$ dan $n = 12$, maka hasil analisis kesalahannya adalah :

$$\begin{aligned} MAPE &= \frac{1}{n} \left(\sum_{t=1}^n \frac{|X_t - F_t|}{X_t} \right) 100\% \\ &= \frac{124,68}{12} \\ &= 10,39 \end{aligned}$$

Tabel 17. Perhitungan MAPE parameter $\alpha = 0,1$ sampai parameter $\alpha = 0,9$.

Nama Mesin	MAPE Parameter α								
	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,3$	$\alpha = 0,4$	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 0,6$	$\alpha = 0,7$	$\alpha = 0,8$	$\alpha = 0,9$
Illig RDM 70K	10.39%	11.27%	12.86%	14.62%	17.12%	17.12%	17.12%	17.12%	17.12%
Illig RDM 75K/2G	6.26%	6.58%	7.12%	7.82%	8.89%	53.92%	92.38%	196.94%	737.24%
Illig RDM 75K/3G	6.50%	6.87%	7.65%	8.12%	9.59%	43.77%	74.19%	156.94%	586.73%
Gabler 92	8.33%	9.07%	9.91%	10.83%	12.51%	63.17%	107.49%	232.84%	913.14%
Gabler 98	5.66%	6.28%	6.95%	7.86%	8.98%	31.29%	55.04%	123.32%	490.08%

Berdasarkan Tabel 17, dapat diambil kesimpulan jika parameter α dengan nilai MAPE paling kecil adalah $\alpha=0,1$. Dengan demikian, perhitungan peramalan akan dilakukan menggunakan metode *triple exponential smoothing* parameter α yang digunakan yaitu sebesar 0,1.

C. Perencanaan Produksi PT. Indo Ceria Tahun 2024 dengan Double Exponential Smoothing Method

Nilai MAPE terendah dari peramalan menggunakan metode *DES* dan *TES* didapatkan di $\alpha=0,1$. Namun, MAPE pada metode *DES* menunjukkan tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan *TES*. Sehingga peneliti memutuskan bahwa metode *Double Exponential Smoothing* dengan parameter $\alpha=0,1$ lebih baik jika digunakan dalam peramalan.

Persamaan $F_{t+m} = a_t + b_t m$, digunakan dengan nilai a_t dan b_t , bertujuan untuk memperoleh nilai peramalan yang akan digunakan dalam perencanaan produksi PT. Indo Ceria untuk satu tahun berikutnya.

Berdasarkan data terbaru yang diperoleh, dapat disusun persamaan nilai peramalan untuk periode selanjutnya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_{t+m} &= a_t + b_t m \\ F_{t+m} &= 22182816,99 - 64427,20(m) \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan di atas, perhitungan peramalan untuk perencanaan produksi PT. Indo Ceria selama satu tahun berikutnya bisa dilakukan sebagai berikut:

Hasil peramalan untuk *Illig RDM 70K*, Bulan Januari 2024 (m) = 1

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

$$F_{Desember+1} = 22182816,99 + (-64427,20 \times 1)$$

$$F_{Desember+1} = 22118389,79$$

Hasil peramalan untuk *Illig RDM 70K*, Bulan Februari 2024 (m) = 2

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

$$F_{Desember+2} = 22182816,99 + (-64427,20 \times 2)$$

$$F_{Desember+2} = 22053962,58$$

Hasil peramalan untuk *Illig RDM 70K*, Bulan Februari 2024 (m) = 3

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

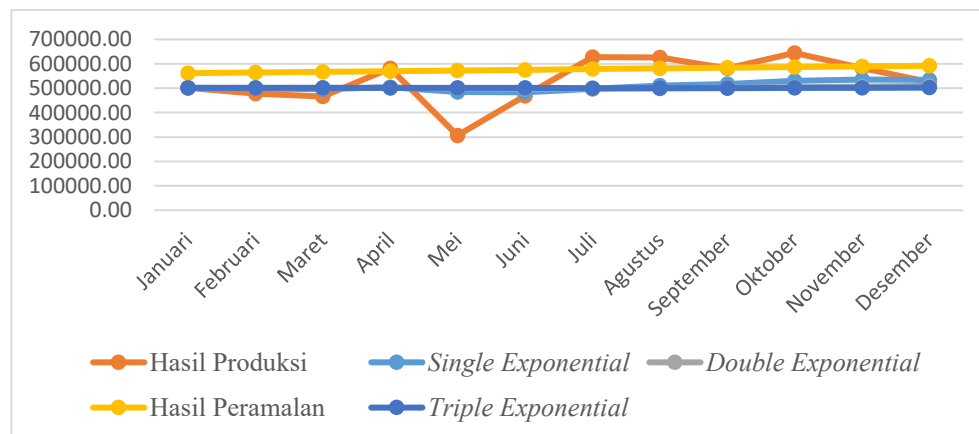
$$F_{Desember+3} = 22182816,99 + (-64427,20 \times 3)$$

$$F_{Desember+3} = 21989535,38$$

Hasil dari proses penghitungan peramalan rencana produksi menghasilkan nilai untuk rencana produksi PT. Indo Ceria yang dihitung menggunakan metode *double exponential smoothing*, dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 18. Perencanaan Produksi PT. Indo Ceria dengan *DES*

Nama Mesin	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Jul	Agustus	September	Oktober	November	Desember
<i>Illig RDM 70K</i>	22118389.79	22053962.58	21989535.38	21925108.18	21860680.98	21796253.77	21731826.57	21667399.37	21602972.17	21538544.96	21474117.76	21409690.56
<i>Illig RDM 75K/2G</i>	39325408.81	39511735.84	39698062.88	39884389.92	40070716.96	40257044.00	40443371.04	40629698.07	40816025.11	41002352.15	41188679.19	41375006.23
<i>Illig RDM 75K/3G</i>	41772831.24	41633441.79	41494052.34	41354662.89	41215273.43	41075883.98	40936494.53	40797105.08	40657715.63	40518326.18	40378936.73	40239547.28
<i>Gabler 92</i>	24758747.71	24915400.08	25072052.45	25228704.82	25385357.19	25542009.57	25698661.94	25855314.31	26011966.68	26168619.05	26325271.42	26481923.79
<i>Gabler 98</i>	41718951.19	41604525.33	41490099.46	41375673.59	41261247.72	41146821.86	41032395.99	40917970.12	40803544.25	40689118.38	40574692.52	40460266.65



Gambar 2. Grafik hasil peramalan dan hasil produksi

Merujuk pada perhitungan di Tabel 18 dan grafik yang ditampilkan pada Gambar 2, jumlah total hasil peramalan tercatat sebanyak 40.460.266,65 pcs.

D. Formulasi Fungsi

1. Variabel Keputusan

Variabel keputusan dalam tulisan ini, merupakan :

X_1 = Jumlah produk *Illig RDM 70K* (cases/35625 pcs)

X_2 = Jumlah produk *Illig RDM 75K/2G* (cases/62500 pcs)

X_3 = Jumlah produk *Illig RDM 75K/3G* (cases/66250 pcs)

X_4 = Jumlah produk *Gabler 92* (cases/41250 pcs)

X_5 = Jumlah produk *Gabler 98* (cases/66250 pcs)

2. Fungsi Sasaran

a. Maksimalkan jumlah produksi

Berdasarkan hasil peramalan untuk masing-masing produk, diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$X_1 \text{ Jan} \geq 22118389,79$$

$$X_2 \text{ Jan} \geq 39325408,81$$

$$X_3 \text{ Jan} \geq 41772831,24$$

$$X_4 \text{ Jan} \geq 24758747,71$$

$$X_5 \text{ Januari} \geq 41718951,19$$

Tujuan dari fungsi diatas yaitu :

$$\text{Minimumkan } Z = \sum_{i=1}^n (d_i^- + d_i^+)$$

b. Meminimumkan jam lembur

Adapun bentuk umum dari fungsi sasaran ini adalah :

$$\sum_{i=1}^n B_i X_i \leq JJK_j$$

Dalam fungsi tujuan, perusahaan berupaya meminimalkan jam lembur karyawan. Dengan demikian, kelebihan jam kerja diharapkan dapat ditekan hingga nol. Oleh karena itu, fungsi ini dimodelkan menggunakan pendekatan *goal programming*.

$$0,02X_1 + 0,01X_2 + 0,01X_3 + 0,01X_4 + 0,01X_5 + d_6^- - d_6^+ \leq JJK_j$$

Tujuannya adalah meminimumkan $mz = d_6^+$

3. Fungsi Tujuan

Mengacu pada tujuan-tujuan yang ingin dicapai, formulasi penyusunan dalam permasalahan goal programming adalah sebagai berikut:

$$\text{Min } Z = P1 \sum_{i=1}^5 (d_i^- + d_i^+) + P2d_6^+$$

$$\text{Kendala : } X_1 \text{ Januari} + d_1^- - d_1^+ = 22118389,79$$

$$X_2 \text{ Januari} + d_2^- - d_2^+ = 39325408,81$$

$$X_3 \text{ Januari} + d_3^- - d_3^+ = 41772831,24$$

$$X_4 \text{ Januari} + d_4^- - d_4^+ = 24758747,71$$

$$X_5 \text{ Januari} + d_5^- - d_5^+ = 41718951,19$$

$$0,02X_1 + 0,01X_2 + 0,01X_3 + 0,01X_4 + 0,01X_5 + d_6^- - d_6^+ = 44640$$

E. Analisis Pemecahan Masalah

Hasil perhitungan dengan metode Goal Programming menunjukkan solusi optimal pada jumlah produksi masing-masing produk, dengan pencapaian target yang memuaskan sesuai yang ditetapkan. Tujuan untuk memaksimalkan jumlah produksi telah tercapai karena deviasi negatifnya bernilai nol.

Tabel 19. Penyimpangan antara target produksi dan solusi optimal.

No.	Bulan	Jumlah Produksi (cases)			
		Target	Kurang d_i^-	Kurang d_i^+	Produksi
1	Jan 2023	168769990	-	-	168769990
2	Feb 2023	161756440	-	-	161756440
3	Mar 2023	179765540	-	-	179765540
4	Apr 2023	168146800	-	-	168146800
5	Mei 2023	162867310	-	-	162867310
6	Juni 2023	167234200	-	-	167234200
7	Juli 2023	176493590	-	-	176493590
8	Agust 2023	173850770	-	-	173850770
9	Sept 2023	175212680	-	-	175212680
10	Okt 2023	172230960	-	-	172230960
11	Nov 2023	164048950	-	-	164048950
12	Des 2023	166487560	-	-	166487560

F. Analisis Pencapaian Sasaran Pemakaian Jam Kerja.

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan perangkat Lingo, terlihat adanya penyimpangan di atas target jam kerja, di mana waktu yang terpakai melebihi waktu yang tersedia.

Tabel 20. Hasil penghitungan penyimpangan waktu kerja dengan *Lingo*.

No.	Bulan	Waktu Kerja (menit)			
		Tersedia	Kurang d_i^-	Lebih d_i^+	Terpakai
1	Januari 2023	44640	-	102533	147173
2	Februari 2023	40320	-	111133	151453
3	Maret 2023	44640	-	102453	147093
4	April 2023	36000	-	119694	155694

5	May 2023	44640	-	102374	147014
6	Juni 2023	43200	-	105214	148414
7	Juli 2023	44640	-	102295	146935
8	Agustus 2023	44640	-	102255	146895
9	September 2023	43200	-	105095	148295
10	Oktober 2023	44640	-	102176	146816
11	November 2023	43200	-	105016	148216
12	Desember 2023	44640	-	102096	146736

Terdapat penggunaan waktu kerja yang melebihi jumlah waktu kerja yang tersedia. Namun, sasaran untuk mengoptimalkan waktu kerja tetap tercapai, meskipun perlu penanganan terhadap kelebihan penggunaan waktu dibandingkan waktu kerja yang tersedia.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dalam Analisis Perencanaan Produksi PT. Indo Ceria, peramalan dilakukan menggunakan metode *Double Exponential Smoothing* yang menghasilkan prediksi lebih akurat dengan parameter $\alpha=0,1$. Persamaan yang diperoleh adalah $F_{(t+m)}=22182816,99-64427,20(m)$. Hasil peramalan produksi PT. Indo Ceria untuk periode Januari 2024 hingga Desember 2024 adalah sebagai berikut: Januari sebesar 169.694.328,74 pcs, Februari sebesar 169.719.065,62 pcs, Maret sebesar 169.743.802,51 pcs, April sebesar 169.768.539,40 pcs, Mei sebesar 169.793.276,29 pcs, Juni sebesar 169.818.013,18 pcs, Juli sebesar 169.842.750,07 pcs, Agustus sebesar 169.867.486,95 pcs, September sebesar 169.892.223,84 pcs, Oktober sebesar 169.916.960,73 pcs, November sebesar 169.941.697,62 pcs, dan Desember sebesar 169.966.434,51 pcs.

Tujuan untuk maksimalkan pemanfaatan waktu kerja sudah tercapai, meskipun terdapat penyimpangan berupa deviasi negatif antara jam kerja tersedia dan jam kerja digunakan. Total jam kerja tersedia adalah 518.400 menit atau 8.640 jam, untuk waktu kerja yang terpakai sebesar 178.073 menit atau 2.967 jam.

REFERENSI

- [1] Anis M., Nandiroh, S., & Utami. A. D. (2007) Optimasi perencanaan produksi dengan metode goal programming, *jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 5(3), 133-143.
- [2] Pradjaningsih, A. Andora, E., & Santosa, A. (2024). Implementasi metode goal programming untuk optimasi produksi cokelat pada UMKM. *Jurnal E-Jurnal Sains dan Matematika*, 12(2), 119-123
- [3] M. B. Soeltanong and C. Sasongko, "Perencanaan Produksi dan Pengendalian Persediaan pada Perusahaan Manufaktur," *Jurnal Riset Akuntansi dan Perpajakan*, vol. 8, no. 1, pp. 14–27, 2021, doi: 10.35838/jrap.2021.008.01.02.
- [4] P. Produksi, "Metode Goal Programming Berbasis QM for Windows dalam Optimasi Perencanaan Produksi," *J. Mipa*, vol. 41, no. 1, pp. 6–12, 2018.
- [5] H. D. E. Sinaga, N. Irawati, and S. Informasi, "Perbandingan Double Moving Average Dengan Double Exponential Smoothing Pada Peramalan," *Jurteksi*, vol. IV, no. 2, pp. 197–204, 2018.
- [6] Ramadiani, R. Syahrani, I. F. Astuti, and Azainil, "Forecasting the number of airplane passengers uses the double and the triple exponential smoothing method," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1524, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1524/1/012051.
- [7] S. Bahri, S. Meutia, J. T. Industri, F. Teknik, and U. Malikussaleh, "OPTIMASI PERENCANAAN PRODUKSI CRUMB RUBBER DENGAN METODE GOAL PROGRAMMING DI PT . BAKRIE SUMATERA PLANTATIONS TBK," vol. 10, no. 1, 2021.
- [8] M. Agustina, P. M. Manajemen, K. Manajemen, S. Informasi, and U. B. Darma, "Menggunakan Pendekatan Model," vol. 2, no. 3, pp. 234–244, 2021.
- [9] Ramadiani, R. Syahrani, I. F. Astuti, and Azainil, "Forecasting the number of airplane passengers uses the double and the triple exponential smoothing method," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1524, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1524/1/012051.
- [10] Firmansyah, A. (2020). Pemanfaatan Microsoft Excel dalam Analisis Statistik dan Penyajian Data. *Jurnal Teknologi Informasi & Komunikasi (J-TIK)*, 5(2), 45–52.

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.

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..

