Penerapan Metode *Brown's Double Exponential Smoothing* dalam Meramalkan Jumlah Penumpang Angkutan Laut di Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar

Orna Waty Faradilla*
Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, faradillaornawaty@gmail.com

Risnawati Ibnas
Program Studi Matematika,, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, risnawati.ibnas@uin-alauddin.ac.id

Ermawati
Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, ermawati@uin-alauddin.ac.id

**Corresponding Author*

ABSTRAK, Penelitian ini membahas tentang peramalan jumlah penumpang angkutan laut di pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar Tahun 2023 dengan menggunakan metode *brown's double exponential smoothing*. Peramalan jumlah penumpang diperlukan oleh pihak instansi dalam membuat perencanaan yang baik untuk menghindari risiko penumpang terlantar saat terjadinya peningkatan jumlah penumpang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui model dan hasil peramalan jumlah penumpang angkutan laut di pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar Tahun 2023. Berdasarkan pada hasil dan pembahasan penelitian, diperoleh kesimpulan dengan nilai parameter $\alpha = 0{,}4$ dan nilai MAPE sebesar 37,85 % memperoleh model peramalan jumlah penumpang angkutan laut di pelabuhan Soekarno-Hattaa Makassar adalah $F_{120+m} = 33.789{,}8 - 83{,}61(m)$; untuk m $1, 2, 3, \dots, 12$. Hasil peramalan jumlah penumpang angkutan laut di pelabuhan Soekarno-Hatta Tahun 2023 dengan menggunakan metode *brown's double exponential smoothing* adalah pada bulan Januari jumlah penumpang sebanyak 33.706 orang, pada bulan Februari jumlah penumpang turun menjadi 33.623 orang dan terus mengalami penurunan bertahap menjadi 32.786 orang pada bulan Desember 2023.

***Kata Kunci**: Jumlah Penumpang, Peramalan, Brown's Double Exponential Smoothing.*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dan juga disebut sebagai negara maritim. Transportasi merupakan hal terpenting di dalam negara maritim dikarenakan luasnya perairan dan banyak sekali pulau[1]. Angkutan di perairan adalah kegiatan mengangkut atau memindahkan penumpang dan barang transportasi dalam negeri maupun antar negara. Angkutan berarti memindahkan orang atau barang dari satu titik ke titik lain dengan menggunakan kendaraan. Alat yang berperan sebagai angkutan laut adalah kapal laut[2].

Untuk memperlancar perdagangan, pemerintahan sangat mengandalkan transportasi laut, yang juga mendukung aksesibilitas, mobilitas, dan perekonomian bangsa. Pelabuhan juga dapat disebut sebagai kawasan transportasi atau sebagai penunjang lalu lintas maritim. Kapal-kapal yang melakukan kegiatan perdagangan, baik kapal dalam negeri maupun kapal internasional yang membawa barang untuk diperdagangkan, datang dan pergi selama kegiatan pelabuhan[3].

Pelabuhan Soekarno-Hatta menjadi salah satu pelabuhan bongkar muat barang dan angkutan orang terbesar di Indonesia. Pelabuhan ini dikelola oleh PT. Pelabuhan Indonesia IV (Pelindo IV)[4]. Sebelumnya telah dilakukan penelitian oleh Nuraini Khoiriyah dan Nita Cahyani tentang peramalan banyaknya pasien rawat jalan dengan menggunakan metode *brown's double exponential smoothing* [5].

Analisis deret waktu merupakan metode peramalan kuantitatif untuk menentukan pola data pada masa lampau yang dikumpulkan berdasarkan urutan waktu, yang disebut data *time* series[6]. Untuk menentukan metode pada *time series* perlu diketahui pola dari data tersebut sehingga peramalan dengan metode yang sesuai dengan pola data dapat dilakukan[7].

Penelitian tentang penerapan metode *brown's double exponential smoothing* sudah pernah dilakukan, tapi kebaruan pada penelitian ini akan diterapkan pada kasus jumlah penumpang. Pada penelitian ini dilakukan peramalan jumlah penumpang angkutan laut di pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar dengan metode *brown's double exponential smoothing*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Peramalan *(Forecasting)*

Peramalan merupakan suatu teknik untuk memperkirakan suatu nilai pada masa yang akan datang dengan memperhatikan data masa lalu maupun data saat ini. Peranan peramalan menjelajahi ke dalam banyak bidang seperti ekonomi, keuangan, pemasaran, produksi, riset operasional, administrasi negara, meteorologi, geofisika, kependudukan dan pendidikan[8] .

Analisis Deret Waktu (*Time Series*)

Analisis deret waktu merupakan teknik statistik yang digunakan untuk memprediksi masa mendatang berdasarkan data yang sudah tersedia. Kegunaan dari analisis deret waktu adalah sebagai alat analisis peramalan yang dapat melihat kondisi masa mendatang[9].

Model *time series* biasanya lebih sering digunakan untuk peramalan. Metode peramalan dengan *time series* memiliki dua teori utama untuk diuji, yaitu *smoothing* dan *decomposition*. S*moothing* menjumlahkan nilai ramalan sebelumnya dan kesalahan antara nilai aktual dan nilai ramalan, sementara *decomposition* membagi data waktu menjadi komponen *trend*, *cyclical*, *seasonal* dan random *effects* kemudian gabungkan prediksi dari komponen-komponen tersebut (tidak termasuk efek acak yang sulit diprediksi)[10].

Analisis Trend

Salah satu model yang dapat digunakan untuk menganalisis *trend* yaitu model linear. *Trend* linear adalah suatu *trend* yang polanya cenderung turun atau naik secara linear. Model regresi linear sederhana untuk analisis *trend* adalah sebagai berikut:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e, \quad i = 1, 2, \dots, n \qquad (2.1)$$

Y_i = Variabel tak bebas dalam *trial* ke- i
β_0 dan β_1 = Parameter
X_i = Variabel bebas dalam *trial* ke- i
e = *Error*

Untuk mendapatkan penaksir yang baik bagi parameter regresi (β_0 dan β_1) dapat digunakan metode kuadrat terkecil. Besarnya nilai *error* diperoleh melalui perhitungan berikut.

$$e = Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i, \quad i = 1,2, \dots, n \qquad (2.2)$$

Sehingga besarnya jumlah kuadrat *error* e adalah:

$$S(\beta_0, \beta_1) = \sum e^2 = \sum(Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2 \qquad (2.3)$$

Untuk meminimumkan *error*, maka ditentukan turunan pertama terhadap parameter β_0 dan β_1.

Langkah pertama menghitung turunan dari persamaan (2.3) tehadap β_0

$$\frac{\partial S(\beta_0,\beta_1)}{\partial \beta_0} = \sum_{i=1}^{n} -2(Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)$$

Selanjutnya tetapkan persamaannya sama dengan nol

$$\sum_{i=1}^{n} -2(Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i) = 0$$
$$\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i) = 0$$
$$\sum_{i=1}^{n} Y_i - \sum_{i=1}^{n} \beta_0 - \sum_{i=1}^{n} \beta_1 X_i = 0$$
$$\sum_{i=1}^{n} Y_i - n\beta_0 - \beta_1 \sum_{i=1}^{n} X_i = 0$$
$$n\beta_0 = \sum_{i=1}^{n} Y_i - \beta_1 \sum_{i=1}^{n} X_i$$
$$\beta_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i - \beta_1 \sum_{i=1}^{1} X_i}{n}$$
$$\beta_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i}{n} - \frac{\beta_1 \sum_{i=1}^{1} X_i}{n}$$
$$\beta_0 = \bar{Y}_1 - \beta_1 \bar{X}_1 \qquad (2.4)$$

Langkah kedua menghitung turunan dari persamaan (2.3) terhadap β_1

$$\frac{\partial S(\beta_0,\beta_1)}{\partial \beta_1} = \sum_{i=1}^{n} 2(Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)(-X_i)$$

Selanjutnya tetapkan persamaannya sama dengan nol

$$\sum_{i=1}^{n} 2(Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)(-X_i) = 0$$
$$\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i) X_i = 0$$
$$\sum_{i=1}^{n} Y_i X_i - \sum_{i=1}^{n} \beta_0 X_i - \sum_{i=1}^{n} \beta_1 {X_i}^2 = 0$$
$$\sum_{i=1}^{n} Y_i X_i - \beta_0 \sum_{i=1}^{n} X_i - \beta_1 \sum_{i=1}^{n} {X_i}^2 = 0$$
$$\sum_{i=1}^{n} Y_i X_i - (\bar{Y}_1 - \beta_1 \bar{X}_1) \sum_{i=1}^{n} X_i - \beta_1 \sum_{i=1}^{n} {X_i}^2 = 0$$
$$\sum_{i=1}^{n} Y_i X_i - \bar{Y}_1 \sum_{i=1}^{n} X_i + \beta_1 \left(\bar{X}_1 \sum_{i=1}^{n} X_i - \sum_{i=1}^{n} {X_i}^2\right) = 0$$
$$\beta_1 \left(\bar{X}_1 \sum_{i=1}^{n} X_i - \sum_{i=1}^{n} {X_i}^2\right) = -\left(\sum_{i=1}^{n} Y_i X_i - \bar{Y}_1 \sum_{i=1}^{n} X_i\right)$$
$$\beta_1 = \frac{-\left(\sum_{i=1}^{n} Y_i X_i - \bar{Y}_1 \sum_{i=1}^{n} X_i\right)}{\bar{X}_1 \sum_{i=1}^{n} X_i - \sum_{i=1}^{n} {X_i}^2}$$
$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i X_i - \bar{Y}_1 X_i)}{\sum_{i=1}^{n} {X_i}^2 - \bar{X}_1 \sum_{i=1}^{n} X_i}$$

1. Untuk suku pembilang

$$\sum_{i=1}^{n}(Y_i X_i - \bar{Y}_1 X_i) = \sum_{i=1}^{n} Y_i X_i - \bar{Y}_1 \sum_{i=1}^{n} X_i = \sum_{i=1}^{n} Y_i X_i - n\bar{X}_1 \bar{Y}_1$$

$= \sum_{i=1}^{n} Y_i X_i - n\overline{X}_1\overline{Y}_1 + n\overline{X}_1\overline{Y}_1 - n\overline{X}_1\overline{Y}_1$
$= \sum_{i=1}^{n} Y_i X_i - \sum_{i=1}^{n} X_i\,\overline{Y}_1 - \sum_{i=1}^{n} Y_i\,\overline{X}_1 + n\overline{Y}_1\overline{X}_1$
$= \sum_{i=1}^{n} (Y_i X_i - X_i\overline{Y}_1 - Y_i\overline{X}_1 + \overline{X}_1\overline{Y}_1)$
$= \sum_{i=1}^{n} (Y_i - \overline{Y}_1)\,(X_i - \overline{X}_1)$

2. Untuk suku penyebut

$\sum_{i=1}^{n} {X_i}^2 - \overline{X}_1 \sum_{i=1}^{n} X_i$
$= \sum_{i=1}^{n} {X_i}^2 - 2\overline{X}_1 \sum_{i=1}^{n} X_i + n{\overline{X}_1}^2$
$= \sum_{i=1}^{n} \left({X_i}^2 - 2X_i\overline{X}_1 + {\overline{X}_1}^2\right)$
$= \sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X}_1)^2$

Maka dihasilkan

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i X_i - \overline{Y}_1 X_i)}{\sum_{i=1}^{n} {X_i}^2 - \overline{X}_1 \sum_{i=1}^{n} X_i}$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \overline{Y}_1)(X_i - \overline{X}_1)}{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X}_1)^2} \qquad (2.5)$$

Jadi, estimasi metode kuadrat terkecil yang didapatkan adalah:[11].

$$\hat{\beta}_0 = \overline{Y}_1 - \hat{\beta}_1\overline{X}_1$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \overline{Y}_1)(X_i - \overline{X}_1)}{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X}_1)^2}$$

Metode Exponential Smoothing

Pengaruh dari metode ini adalah menghilangkan unsur random dalam data sehingga diperoleh suatu pola yang akan berguna dalam meramalkan nilai masa yang akan datang. Metode yang termasuk atau yang digunakan dalam metode *exponential smoothing*, antara lain:

1) *Single exponential smoothing*
2) *Double exponential smoothing*
3) *Triple exponential smoothing*[12].

Jika X_t merupakan data aktual untuk periode t dan F_t merupakan nilai ramalan untuk periode yang sama, maka kesalahan didefinisikan sebagai berikut[13].

$$e = X_t - F_t \qquad (2.6)$$

Metode Brown's Double Exponential Smoothing

Metode *double exponential smoothing* merupakan metode yang diperkenalkan oleh Brown untuk mengatasi diskrepansi yang muncul antara data aktual dan nilai ramalan ketika terdapat *trend* pada pola data. Penjelasan dasar di balik pendekatan eksponensial linear dari Brown serupa dengan metode rata-rata bergerak linear (linear *moving average)*[14]

Persamaan yang dipakai dalam menentukan ramalan menggunakan *brown's double exponential smoothing* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan nilai *single exponential smoothing* (S'_t)

$$S'_t = \alpha X_t + (1-\alpha) S'_{t-1} \qquad (2.7)$$

S'_t = Nilai *single exponential smoothing* pada periode t

α = Parameter *exponential smoothing* dimana $0 < \alpha < 1$

X_t = Nilai aktual periode t

S'_{t-1} = Nilai *single exponential smoothing* pada periode t-1

2. Menentukan nilai *double exponential smoothing* (S''_t)

$$S''_t = \alpha S'_t + (1-\alpha) S''_{t-1} \qquad (2.8)$$

S''_t = Nilai *double exponential smoothing* pada periode t

3. Menentukan nilai konstanta pemulusan (a_t)

$$a_t = 2S'_t - S''_t \qquad (2.9)$$

a_t = Nilai konstanta pemulusan pada periode t

4. Menentukan nilai koefisien *trend* (b_t)

$$b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha}(S'_t - S''_t) \qquad (2.10)$$

b_t = Nilai koefisien *trend* pada periode t

5. Menentukan nilai peramalan

$$F_{t+m} = a_t + b_t(m) \qquad (2.11)$$

F_{t+m} = Nilai peramalan ke- m periode dari t

m = Jumlah periode yang akan diramalkan

Agar mendapatkan nilai α yang tepat, pada umumnya dilakukan *trial and error* untuk menentukan nilai kesalahan terendah. Nilai α dilakukan dengan membandingkan menggunakan interval pemulusan antar $0 < \alpha < 1$.

Untuk dapat menggunakan rumus, maka nilai $\boldsymbol{S'_{t-1}}$ dan $\boldsymbol{S''_{t-1}}$ harus tersedia. Tetapi pada saat $\boldsymbol{t = 1}$, nilai-nilai ini tidak tersedia. Karena nilai-nilai tersebut harus ditentukan pada awal periode, untuk mengatasi ini dapat dilakukan dengan menetapkan $\boldsymbol{S'_t}$ dan $\boldsymbol{S''_t}$ sama dengan

nilai $\boldsymbol{x_1}$ (data aktual).

Ketepatan Peramalan

Ketepatan metode ramalan dilihat dari kesalahan peramalan. Kesalahan peramalan merupakan ukuran ketepatan dan menjadi dasar untuk membandingkan kinerja. MAPE merupakan pengukuran kesalahan yang menghitung ukuran persentase penyimpangan antara data aktual dengan data peramalan. Kemampuan peramalan dikatakan memiliki kinerja yang baik jika memiliki nilai MAPE di bawah 10%. Nilai MAPE dapat dihitung dengan persamaan berikut:[15]

$$PE_t = \left(\frac{X_t - F_t}{X_t}\right) 100\% \quad (2.12)$$

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} |PE_t| \quad (2.13)$$

X_t = Data aktual pada periode ke- t
F_t = Nilai peramalan pada periode ke- t
n = Jumlah data
PE_t = Kesalahan Presentase (*percentage error*)

Semakin rendah nilai MAPE, kemampuan dari model prediksi yang digunakan dapat dikatakan baik, dan untuk MAPE terdapat *range* nilai yang dapat dijadikan bahan pengukuran mengenai kemampuan dari suatu model peramalan. *Range* nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 1[16].

Tabel 2.1 Range Nilai MAPE

Range MAPE	Arti
<10%	Kemampuan model peramalan sangat baik
10 – 20%	Kemampuan model peramalan baik
20 – 50%	Kemampuan model peramalan layak
>50%	Kemampuan model peramalan buruk

3. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan data jumlah penumpang Tahun 2013-2022 di pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar. Data diperoleh dari PT Pelabuhan Indonesia IV Makassar. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah penumpang di pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar setiap bulan dari Tahun 2013 sampai dengan 2022. Definisi jumlah penumpang adalah banyaknya orang yang naik transportasi kapal dari suatu tempat ke tempat yang lain.

Prosedur Analisis

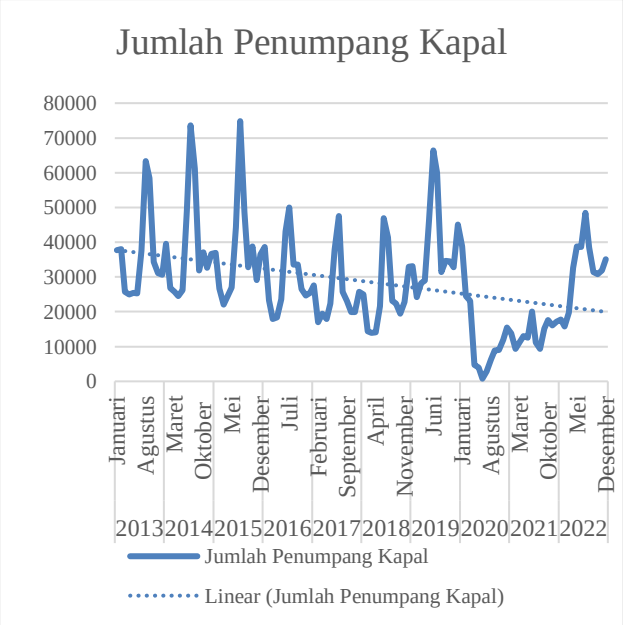
Langkah-langkah analisis yang dilakukan adalah:

1. Melakukan analisis deskriptif.
2. Mengidentifikasi pola data
3. Menentukan nilai parameter *exponential smoothing*
4. Menentukan model peramalan dengan menggunakan metode *Brown's Double Exponential Smoothing*, dengan tahapan:
   a. Menghitung Nilai *Single Exponential Smoothing*
   $$S'_t = \alpha X_t + (1-\alpha) S'_{t-1}$$
   b. Menghitung Nilai *Double Exponential Smoothing*
   $$S''_t = \alpha S'_t + (1-\alpha) S''_{t-1}$$
   c. Menghitung besarnya konstanta pemulusan (a_t)
   $$a_t = 2S'_t - S''_t$$
   d. Menentukan besarnya koefisien *trend* (b_t)
   $$b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha}(S'_t - S''_t)$$
   e. Menghitung nilai peramalan (F_{t+m})
   $$F_{t+m} = a_t + b_t(m)$$
5. Menentukan model terbaik berdasarkan MAPE terkecil
6. Mendapatkan model persamaan *Double Exponential Smoothing*
7. Menentukan peramalan jumlah penumpang angkutan laut Tahun 2023 di pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif dilakukan dengan membuat analisis *trend* jumlah penumpang angkutan laut di pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar Tahun 2013 sampai dengan Tahun 2022.



Gambar 4.1 Analisis *Trend* Jumlah Penumpang Angkutan Laut di Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar Tahun 2013-2022

Gambar 4.1 memperlihatkan pola data. Namun, pada penelitian ini untuk menganalisis pola data dilakukan dengan menggunakan analisis *trend*, dengan persamaan sebagai berikut:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$$

Langkah-langkah analisis *trend*:

a) Hitung rata-rata

$$\overline{X} = \frac{1+2+\cdots+120}{120} = 60{,}5$$

$$\overline{Y} = \frac{37.731+38.091+\cdots+35.120}{120} = 28.867{,}28$$

b) Hitung nilai β_1

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\overline{Y})(X_i-\overline{X})}{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\overline{X})^2}$$

$$= \frac{\sum(Y_i-28.867{,}28)(X_i-60{,}5)}{\sum(x-60{,}5)^2}$$

$$= \frac{-21.512.820}{6.220.080.020}$$

$$= -0{,}003459251$$

c) Hitung nilai β_0

$$\beta_0 = \overline{Y} - \beta_1\overline{X}$$

$$= 28.867{,}28 - (-0{,}003459251)60{,}5$$

$$= 28.867{,}49$$

Maka, diperoleh model linear untuk data jumlah penumpang yaitu $Y_i = 28.867{,}49 - 0{,}003459251\,X_i$. Dengan mensubstitusikan $X_i = 1,2,\ldots,120$. Berdasarkan model analisis *trend* tersebut dapat disimpulkan bahwa data tersebut memiliki pola data *trend* menurun.

Metode Brown's Double Exponential Smoothing

Dalam penyelesaian menggunakan metode *brown*'s *double exponential smoothing* ada beberapa langkah yang dilakukan sesuai rumus yang ditentukan, yaitu sebagai berikut.

a. Menentukan nilai *single exponential smoothing* (S'_t)

Pertama yang harus dilakukan dalam perhitungan *smoothing* menggunakan *single exponential smoothing* dengan nilai parameter α = 0,1 dan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

1) Untuk $t = 1$ (Januari 2013)

Pada saat $t = 1$ nilai S'_t belum tersedia, maka dalam mengatasi masalah ini dapat dilakukan dengan menetapkan nilai S'_1 sama dengan x_1, maka $S'_1 = 37.731$

2) Untuk $t = 2$ (Februari 2013)

$$S'_2 = \alpha X_2 + (1-\alpha)S'_{2-1}$$
$$S'_2 = (0{,}1 \times 38.091) + (1-0{,}1)37.731$$
$$= 3.809{,}1 + 33.957{,}9$$
$$= 37.767$$

3) Untuk $t = 3$ (Maret 2013)

$$S'_3 = \alpha X_3 + (1-\alpha)S'_{3-1}$$
$$S'_3 = (0{,}1 \times 25.740) + (1-0{,}1)37.767$$
$$= 2.574 + 33.990{,}3$$
$$= 36.564{,}3$$

Seterusnya sampai perhitungan S'_t untuk $t = 4$ (April 2013) sampai dengan $t = 120$ (Desember 2022) dengan melakukan perhitungan yang sama.

b. Menentukan nilai *double exponential smoothing* (S''_t)

Untuk menentukan nilai *double exponential smoothing* kita harus memperhatikan besarnya nilai *single exponential smoothing* dengan menggunakan persamaan sebagai

berikut:

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

1) Untuk $t = 1$ (Januari 2013)

Pada saat $t = 1$ nilai S''_t belum tersedia, maka dalam mengatasi masalah ini dapat dilakukan dengan menetapkan nilai S''_1 sama dengan x_1, maka $S''_1 = 37.731$

2) Untuk $t = 2$ (Februari 2013)

$S''_2 = \alpha S'_2 + (1-\alpha)S''_{2-1}$

$S''_2 = (0{,}1 \times 37.767) + (1 - 0{,}1)37.731$

$= 3.776{,}7 + 33.957{,}9$

$= 37.734{,}6$

3) Untuk $t = 3$ (Maret 2013)

$S''_3 = \alpha S'_3 + (1-\alpha)S''_{3-1}$

$S''_3 = (0{,}1 \times 36.564{,}3) + (1 - 0{,}1)37.734{,}6$

$= 3.656{,}43 + 33.961{,}14$

$= 37.617{,}57$

Seterusnya sampai perhitungan S''_t untuk $t = 4$ (April 2013) sampai dengan $t = 120$ (Desember 2022) dengan melakukan perhitungan yang sama.

c. Menentukan nilai konstanta pemulusan (a_t)

Setelah dilakukan perhitungan nilai *single exponential smoothing* dan *double exponential smoothing*, selanjutnya menghitung nilai konstanta pemulusan (a_t) dengan persamaan sebagai berikut:

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

1) Untuk $t = 1$ (Januari 2013)

$a_1 = 2S'_1 - S''_1$

$= 2(37.731) - 37.731$

$= 37.731$

2) Untuk $t = 2$ (Februari 2013)

$a_2 = 2S'_2 - S''_2$

$= 2(37.767) - 37.734{,}6$

$= 37.799{,}4$

3) Untuk $t = 3$ (Maret 2013)

$a_3 = 2S'_3 - S''_3$

$= 2(36.564{,}3) - 37.617{,}57$

$= 35.511{,}03$

Seterusnya sampai perhitungan a_t untuk $t = 4$ (April 2013) sampai dengan $t = 120$ (Desember 2022) dengan melakukan perhitungan yang sama.

d. Menentukan nilai koefisien *trend* (b_t)

Selanjutnya menghitung nilai koefisien *trend* (b_t) dengan menggunakan persamaan berikut:

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

1) Untuk $t = 1$ (Januari 2013)

$b_1 = \frac{\alpha}{1-\alpha}(S'_1 - S''_1)$

$= \frac{0{,}1}{0{,}9}(37.731 - 37.731)$

$= 0$

2) Untuk $t = 2$ (Februari 2013)

$b_2 = \frac{\alpha}{1-\alpha}(S'_2 - S''_2)$

$= \frac{0{,}1}{0{,}9}(37.767 - 37.734{,}6)$

$= 3{,}6$

3) Untuk $t = 3$ (Maret 2013)

$b_3 = \frac{\alpha}{1-\alpha}(S'_3 - S''_3)$

$= \frac{0{,}1}{0{,}9}(36.564{,}3 - 37.617{,}57)$

$= -117{,}03$

Seterusnya sampai perhitungan b_t untuk $t = 4$ (April 2013) sampai dengan $t = 120$ (Desember 2022) dengan melakukan perhitungan yang sama.

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

Langkah selanjutnya yaitu mencari nilai peramalan (F_{t+m}) dimulai dari Februari 2013 menggunakan persamaan berikut:

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

Untuk Januari 2013 tidak memiliki nilai peramalan dikarenakan untuk menentukan nilai peramalan harus memiliki nilai konstanta pemulusan (a_t), nilai koefisien *trend* (b_t) tahun sebelumnya dan untuk nilai $m = 1$.

1) Untuk $t = 1$ (Februari 2013)

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

$F_2 = 37.731 + 0(1)$

$= 37.731$

2) Untuk $t = 2$ (Maret 2013)

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

$F_3 = 37.799{,}4 + 3{,}6(1)$

$= 37.803$

3) Untuk $t = 3$ (April 2013)

$F_{3+1} = a_3 + b_3(1)$

$F_4 = 35.511{,}03 + (-117{,}03)(1)$

$= 35.394$

Seterusnya sampai perhitungan F_{t+m} untuk $t = 4$ (Mei 2013) sampai dengan

$t = 120$ (Desember 2022) dengan melakukan perhitungan yang sama.

Perhitungan yang sama juga dilakukan untuk menentukan nilai peramalan jumlah penumpang angkutan laut di pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar Tahun 2023 dengan metode *brown's double exponential smoothing* dengan nilai parameter $\alpha = 0{,}2$ sampai dengan nilai parameter $\alpha = 0{,}9$.

Pemilihan Parameter Terbaik

Pemilihan parameter α terbaik dipilih berdasarkan nilai terkecil MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*). Karena tidak ada dasar yang objektif untuk penentuan besarnya parameter α yang digunakan, maka dalam penelitian ini parameter α dicari dengan cara *trial and error* dan dipilih berdasarkan nilai MAPE terkecil. Semakin kecil nilai MAPE yang didapat, maka nilai taksiran semakin mendekati nilai sebenarnya atau metode yang dipakai merupakan metode yang terbaik. Kesalahan presentase dari suatu peramalan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

Dengan $\alpha = 0{,}1$ untuk periode ke- 2 (Februari 2013)

$$\begin{aligned} PE_2 &= \left(\frac{X_2 - F_2}{X_2}\right) 100\% \\ &= \left(\frac{38091 - 37731}{38091}\right) 100\% \\ &= 0{,}95\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PE_3 &= \left(\frac{X_3 - F_3}{X_3}\right) 100\% \\ &= \left(\frac{25740 - 37803}{25740}\right) 100\% \\ &= -46{,}86\% \end{aligned}$$

Seterusnya sampai perhitungan PE_t untuk $t = 4$ (April 2013) sampai dengan $t = 120$ (Desember 2022) dengan melakukan perhitungan yang sama.

Perhitungan yang sama juga dilakukan untuk menentukan nilai kesalahan presentasenya (*percentage error*) dari parameter $\alpha = 0{,}2$ sampai dengan $\alpha = 0{,}9$.

Setelah dicari nilai *percentage error*, maka selanjutnya adalah mencari nilai MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} |PE_t|$$

Dengan $\alpha = 0{,}1$ dan $n = 120$, analisis kesalahannya adalah:

$$\begin{aligned} MAPE &= \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} |PE_t| \\ &= \frac{8415{,}74}{120} \\ &= 70{,}13 \end{aligned}$$

Berikut adalah hasil perhitungan secara lengkap nilai MAPE (*Mean Absolute Percentage Error)* dari parameter $\alpha = 0{,}1$ sampai dengan parameter $\alpha = 0{,}9$ yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 4.1 Nilai MAPE *(Mean Absolute Percentage Error)* untuk Parameter α=0,1 sampai dengan parameter α=0,9

Parameter	MAPE *(Mean Absolute Percentage Error)*
0,1	70,13
0,2	50,11
0,3	39,22
0,4	37,85
0,5	39,77
0,6	40,54
0,7	40,72
0,8	40,59
0,9	39,96

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa nilai parameter α yang memiliki nilai MAPE terkecil adalah parameter $\alpha = 0{,}4$ dengan nilai $MAPE = 37{,}85\%$. Untuk meyakinkan nilai parameter α yang paling terbaik maka ditentukan kembali nilai parameter α dengan 2 angka di belakang desimal yaitu α=0,41 sampai dengan parameter α=0,49 yang terdapat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Nilai MAPE *(Mean Absolute Percentage Error)* untuk parameter α=0,4 sampai dengan parameter α=0,49

Parameter	MAPE *(Mean Absolute Percentage Error)*
0,4	37,85
0,41	37,99
0,42	38,13
0,43	38,38
0,44	38,66
0,45	38,91
0,46	39,14
0,47	39,33
0,48	39,50

0,49	39,64

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai parameter α yang memiliki nilai MAPE terkecil adalah parameter $\alpha = 0{,}4$ dengan nilai $MAPE = 37{,}85\%$. Sehingga dapat dilakukan peramalan dengan metode *brown's double exponential smoothing* dengan parameter $\alpha = 0{,}4$.

Peramalan Jumlah Penumpang Angkutan Laut di Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar Tahun 2023 dengan Metode *Brown's Double Exponential Smoothing*

Setelah dilakukan perhitungan nilai *single exponential smoothing*, nilai *double exponential smoothing*, nilai konstanta pemulusan (a_t), dan nilai koefisien *trend* (b_t) dengan menggunakan nilai parameter $\alpha = 0{,}4$, selanjutnya melakukan perhitungan nilai peramalan dengan parameter $\alpha = 0{,}4$.

Untuk menentukan peramalan maka digunakan data jumlah penumpang angkutan laut di pelabuhan Soekarno-Hatta pada Tahun 2013 sampai dengan Tahun 2022. Adapun plot hasil *smoothing* dan peramalan jumlah penumpang yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Berdasarkan pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa nilai peramalan jumlah penumpang menunjukkan garis berwarna kuning yang mengikuti pola data aktual jumlah penumpang pada Tahun 2013 sampai Tahun 2022 yang menunjukkan garis berwarna biru. Sehingga dapat dikatakan bahwa nilai peramalan sudah cukup baik dalam mengimbangi pola data aktual dan tidak terdapat perbedaan yang terlalu jauh antara nilai peramalan dan data aktual.

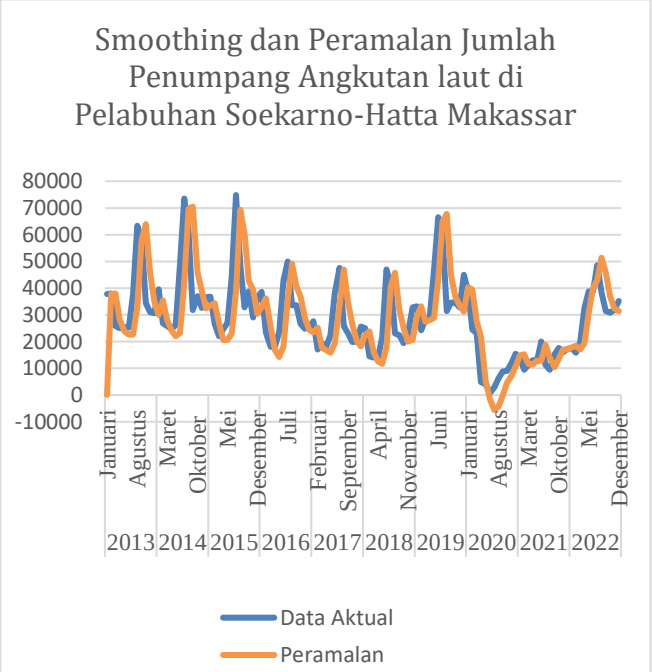
Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan nilai peramalan jumlah penumpang angkutan laut di pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar. Persamaan yang digunakan dalam peramalan adalah $F_{t+m} = a_t + b_t(m)$.

Berdasarkan data terakhir yang diperoleh maka model peramalan untuk tahun berikutnya, yaitu:

$F_{120+m} = 33.789{,}8 + (-83{,}61)(m)$

$F_{120+m} = 33.789{,}8 - 83{,}61(m)$; untuk $m = 1,2,3, \ldots ,12$.

Hasil perhitungan peramalan jumlah penumpang angkutan laut di pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar pada bulan Januari 2023 dimana nilai $m = 1$



Gambar 4.2 Grafik *Smoothing* dan Peramalan Jumlah Penumpang Angkutan Laut di Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar dengan Metode *Brown's Double Exponential Smoothing*

$F_{120+m} = a_t + b_t(m)$

$F_{120+1} = 33.789{,}8 - 83{,}61(1)$

$F_{121} = 33.789{,}8 - 83{,}61$

$F_{121} = 33.706{,}18 \approx 33.706$

Seterusnya sampai perhitungan F_{t+m} untuk $m = 2$ (Februari 2023) sampai dengan $m = 12$ (Desember 2023) dengan melakukan perhitungan yang sama. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Berdasarkan hasil peramalan pada Tabel 4.3, diketahui bahwa jumlah penumpang angkutan laut di pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar pada

Tabel 4.3 Hasil Peramalan Jumlah Penumpang Angkutan Laut di pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar Tahun 2023

No	Bulan	Jumlah Penumpang
1	Januari	33.706
2	Februari	33.623
3	Maret	33.539
4	April	33.455

5	Mei	33.372
6	Juni	33.288
7	Juli	33.205
8	Agustus	33.121
9	September	33.037
10	Oktober	32.954
11	November	32.870
12	Desember	32.786

tahun 2023 mengalami penurunan setiap bulannya. Pada bulan Januari jumlah penumpang sebanyak 33.706 orang, pada bulan Februari jumlah penumpang sebanyak 33.623 orang sampai pada bulan Desember jumlah penumpang sebanyak 32.786 orang.

5. KESIMPULAN

Model peramalan jumlah penumpang angkutan laut di pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar menggunakan metode *Brown's Double Exponential Smoothing* adalah $F_{120+m} = 33.789{,}8 - 83{,}61(m)$; untuk $m = 1,2,3, \dots ,12$. Hasil peramalan jumlah penumpang angkutan laut di pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar Tahun 2013-2019 mengalami penurunan di bulan-bulan tertentu yaitu pada bulan April, Mei dan Juni dan kembali meningkat pada bulan berikutnya. Pada Tahun 2020-2021 mengalami penurunan drastis yang disebabkan karena adanya covid-19. Kemudian pada Tahun 2022 mengalami peningkatan sampai pada bulan Agustus dan kembali mengalami penurunan yang bertahap pada bulan berikutnya. Hal ini berpengaruh pada hasil peramalan jumlah penumpang pada Tahun 2023 dimana jumlah penumpang mengalami kecenderungan penurunan yang bertahap pada setiap bulannya.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] Rahma, I. A., Situmeang, A., & Girsang, J. (2023). Analisis Yuridis Penerbitan Surat Persetujuan Berlayar Mt. Sea Tanker Ii di Kantor Kesyahbandaran dan Otoritas Pelabuhan Batam. *Fakultas Hukum Universitas Batanghari Jambi*, *7*(2), 380.

[2] Prastyo, A., Fadlan, & Fadjriani, L. (2020). Analisis Yuridis Terhadap Keberangkatan Kapal Penumpang Tanpa Adanya Surat Persetujuan Berlayar (Studi Penelitian Kantor Kesyahbandaran dan Otoritas Pelabuhan Khusus Batam. *Zona Keadilan: Program Studi Ilmu Hukum (SI) Universitas Batam*, *10*(03), 4.

[3] Fitriani, R., & Imtiyaz, N. (2023). Pengaruh Transportasi Laut dalam Mendorong Pertumbuhan Ekonomi di Sulawesi Selatan. *Sensistek*, *6*(1), 30.

[4] Hardianti, Said, L. B., & Syafei, I. (2022). Analisis Pengaruh Layanan Terhadap Kepuasan Pengguna Jasa Pelabuhan Soekarno Hatta Makassar. *Jurnal Konstruksi: Teknik Infrastruktur Dan Sains Program Pascasarjana UMI*, *01*(02), 11.

[5] Khoiriyah, N., & Cahyani, N. (2022). Peramalan Banyaknya Pasien Rawat Jalan dengan Menggunakan Metode Brown's Double Exponential Smoothing. *STATKOM: Jurnal Statistika Dan Komputasi*, *1*(1), 23.

[6] Tambuwun, P. F. A., Nainggolan, N., & Langi, Y. A. R. (2023). Peramalan banyaknya Penumpang Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi Manado dengan Metode Winter's Exponential Smoothing dan Seasonal ARIMA. *Jurnal Matematika Dan Aplikasi*, *12*(1), 15.

[7] Saroni, Sokibi, P., & Putri, T. E. (2022). Sistem Prediksi Penjualan Barang Furniture dengan Metode Trend Linear (Studi Kasus: Cv. Independent Furniture). *Jurnal Ilmiah Intech: Information Technology Journal of UMUS*, *4*(01), 65.

[8] Aswi, & Sukarna. (2006). *Analisis Deret Waktu*. Makassar: Andira Publisher.

[9] Pasaribu, S. B., Aji, R. H. S., Utomo, K. wahyu, & Herawati, A. (2021). *Statistika untuk Ekonomi dan Bisnis*. Jakarta Timur: Edu Pustaka.

[10] Wahyu, F., & Hendrik, B. (2023). Perbandingan Algoritma Time series dan Fuzzy Inference System dalam Analisis Data Deret Waktu. *Jurnal Penelitian Teknologi Informasi Dan Sains*, *1*(3), 18.

[11] Hadi, A. S., & Chatterjee, S. (2006). *Regression Analysis By Example*. Canada: Jhon Wiley & Sons.

[12] Zulfauzi, R., & Setyawan, Y. (2022). Peramalan Menggunakan Metode Double Exponential Smoothing dan Fuzzy Time Series Cheng. *Jurnal Statistika Industri Dan Komputasi*, *VII*(1), 35.

[13] Mariyani, T., & Rosyida, I. (2023). Implementasi Metode Double Exponential Smoothing untuk Peramalan Luas Panen Padi di Kabupaten Pati dengan Bantuan Software Minitab 16. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika*, *6*, 708.

[14] Putra, R. A. A., Zahro, H. Z., & Rudhistiar, D. (2023). Penerapan Metode Double Exponential Smoothing untuk Peramalan Penjualan Unit Mobil. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, *7*(4), 2312.

[15] Nurrohmah, S., & Kurniati, E. (2022). *Penerapan Metode Double Exponential Smoothing Dari Brown Untuk Peramalan Jumlah Produksi Air*. *21*(1), 49–60.

[16] Kurniawan, M. A., & Solichin, A. (2021). Peramalan Persediaan Sparepart Menggunakan Metode Double Exponential Smoothing pada PT Mayora Indah TBK. *JOCE IP*, *15*(1), 155