

PERBANDINGAN PERAMALAN JUMLAH PRODUKSI AIR BERSIH PT. AIR MINUM GIRI MENANG (PERSERODA) DENGAN METODE *DOUBLE EXPONENTIAL SMOOTHING* DARI *HOLT* DAN *BROWN* MENGGUNAKAN OPTIMASI ALGORITMA KUADRATIK

COMPARISON OF FORECASTING THE AMOUNT OF CLEAN WATER PRODUCTION OF PT. AIR MINUM GIRI MENANG (PERSERODA) WITH THE DOUBLE EXPONENTIAL SMOOTHING METHOD FROM HOLT AND BROWN USING QUADRATIC ALGORITHM OPTIMIZATION

ERA PAZIRA

Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram.
Jl. Majapahit No.62, Kec. Selaparang, Kota Mataram, Indonesia. Tel./Fax. (0370)6331007,
email: eraphazira99@gmail.com.

Abstrak. Peramalan adalah suatu proses atau metode untuk memprediksi suatu kejadian di masa depan. *Double exponential smoothing* (DES) merupakan model yang digunakan untuk meramalkan data *time series* dengan asumsi memiliki data pola *trend*. Pada penelitian ini DES satu parameter *Brown* dibandingkan dengan DES dua parameter *Holt* untuk memprediksi data jumlah air bersih yang diproduksi oleh PT. Air Minum Giri Menang periode Januari – Juni 2023. Data yang digunakan adalah data bulanan jumlah produksi air bersih PT. Air Minum Giri Menang (Perseroda) periode Januari 2018 – Desember 2022. Metode algoritma kuadratik merupakan suatu metode untuk mencari nilai parameter yang meminimalkan fungsi tujuan yaitu $y(\alpha)$. Fungsi $y(\alpha)$ merupakan nilai MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dari titik α . Hasil perhitungan nilai parameter optimal untuk DES *Brown* $\alpha = 0,096458575$ dengan nilai MAPE 3,2861437 % untuk parameter DES *Holt* $\alpha = 0,529959297$ dan $\beta = 0,414201312$ dengan nilai MAPE 3,9569405 %. Berdasarkan perbandingan nilai MAPE ≤ 10 % studi kelayakan menunjukkan bahwa kedua model sangat akurat untuk peramalan. DES *Brown* terpilih sebagai model peramalan terbaik berdasarkan nilai MAPE terkecil.

Kata kunci: DES *Brown*, DES *Holt*, Algoritma Kuadratik, Peramalan.

Abstract. Forecasting is the process or method of prediction an event in the future. *Double exponential smoothing* (DES) is a model used to forecast time series data, assuming it has trend patterns. In this study, *Brown's one-parameter DES* was compared with *Holt's two-parameter DES* to predict data on the amount of clean water produced by PT. Giri Drinking Water Wins for the period January–June 2023. The data used is monthly data on the amount of clean water produced by PT. Air Minum Giri Menang (Perseroda) for the period January 2018–December 2022. The quadratic algorithm method is a method to find parameter values that minimize the objective function, namely $y(\alpha)$. The $y(\alpha)$ function is the MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) value of the α point. The calculation of the optimal parameter value for DES *Brown* $\alpha = 0,096458575$ with a MAPE value of 3.2861437 % for the DES *Holt* parameter $\alpha = 0,529959297$ and $\beta = 0,414201312$ with a MAPE value of 3.9569405 %. Based on a comparison of MAPE scores of 10%, the feasibility study shows that both models are very accurate for forecasting. DES *Brown* was selected as the best forecasting model based on the smallest MAPE value.

Key words: DES *Brown*, DES *Holt*, Quadratic Algorithm, Forecasting

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumber daya alam dengan fungsi yang sangat penting bagi keberadaan manusia dan makhluk hidup lainnya. Air bersih adalah air baku yang dapat digunakan sebagai bahan utama untuk diminum ataupun dimasak, dapat juga digunakan sebagai keperluan mencuci, mandi ataupun sanitasi (Jannah dan Itratip, 2016). Untuk memperoleh air bersih, dilakukan pengolahan air alam menjadi air bersih yang bisa dimanfaatkan oleh khalayak banyak. Salah satu instansi yang bertanggungjawab melakukan tindakan tersebut adalah Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM), terkhusus untuk pengolahan dan pendistribusian air ke masyarakat yang ada di Kota Mataram dan Kabupaten Lombok Barat ditangani langsung oleh PT. Air Minum Giri Menang (Perseroda).

PDAM merupakan suatu perusahaan Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) yang bergerak dalam bidang penyedia, pengolahan, dan pendistribusian atau penyaluran air bersih ke seluruh negeri. PDAM terdapat di setiap provinsi, kabupaten, dan kotamadya di seluruh Indonesia. Perusahaan ini dikelola negara secara modern, sudah ada sejak zaman penjajahan Belanda pada tahun 1920an. Keberadaan PDAM Giri Menang yang sebelumnya dikenal dengan PDAM Kabupaten Lombok Barat diawali dengan pembangunan sistem penyediaan air bersih di Kota Mataram pada tahun 1973 oleh Direktorat Teknik Penyehatan Departemen Pekerjaan Umum yang dibiayai dari APBN dan Buyers Credit dari Australia. Kini PDAM Giri Menang sudah berganti nama menjadi PT. Air Minum Giri Menang (Perseroda) yang berkantor pusat di jalan Pendidikan No. 39 Dasan Agung Baru, Selaparang, Mataram, Nusa Tenggara Barat (83126). Sumber air yang diolah oleh PT. Air Minum Giri Menang berasal dari air sungai Desa Narmada (Jannah dan Itratip, 2016).

PT. Air Minum Giri Menang memiliki dua program yakni pengolahan dan distribusi air. Sebelum akhirnya air sampai kepada masyarakat yang tercatat sebagai nasabah air PT. Air Minum Giri Menang, air yang sudah diolah kemudian didistribusikan ke reservoir yang selanjutnya didistribusikan ke rumah pelanggan. Beberapa unit pengolahan yang dilakukan oleh pihak terkait yaitu koagulasi (bak pengolahan), sedimentasi (bak pengendapan), dan filtrasi (bak penyerapan air). Hal ini

dilakukan sebagai upaya agar air diolah sesuai dengan SNI (Standar Nasional Indonesia) (Jannah dan Itratip, 2016).

Berdasarkan data yang diperoleh dari website <https://ntb.bps.go.id>, jumlah penduduk Kota Mataram dan Kabupaten Lombok Barat yang tidak stabil dikarenakan selalu adanya kelahiran dan kematian setiap tahunnya sehingga mempengaruhi penggunaan air yang disediakan oleh PT. Air Minum Giri Menang. Selain itu, penggunaan sumur bor juga mempengaruhi jumlah konsumen PT. Air Minum Giri Menang, ditambah lagi oleh cuaca yang semakin tidak menentu setiap harinya membuat jumlah air permukaan maupun air tanah ikut tidak stabil. Jumlah debit air yang diproduksi dan jumlah debit air yang didistribusi saling berpengaruh satu sama lain, jika jumlah permintaan air meningkat maka pihak instansi terkait harus menaikkan jumlah air yang diproduksi agar mampu memenuhi permintaan pelanggan. Oleh karena itu, perlu dilakukan peramalan air yang diproduksi guna memperoleh suatu jalan keluar agar instansi terkait mampu memenuhi permintaan pelanggan dan tetap menjaga kualitas produksi.

Di masa mendatang, dengan tingkat kelahiran dan kematian yang bervariasi, pemanasan global dan hal lainnya yang terjadi secara acak (random) maka akan membuat masyarakat merasa cemas akan ketersediaan air bersih, yang juga akan mempengaruhi data jumlah debit air yang diproduksi oleh PT. Air Minum Giri Menang (Perseroda) yang akan didistribusikan ke rumah pelanggan. Data ini akan berubah pada periode waktu tertentu sehingga bisa dikatakan bahwa data ini merupakan data *time series*. Berdasarkan faktor-faktor alam yang sulit ditebak maka diperlukan sebuah metode peramalan untuk data debit air yang diproduksi demi kelangsungan sumber air sebagian besar masyarakat Kota Mataram dan Kabupaten Lombok Barat. Diperlukan sebuah metode yang mampu meramalkannya dalam kurun waktu beberapa periode ke depan agar masyarakat dapat mengantisipasi kemungkinan terburuk yang bisa saja terjadi.

Peramalan merupakan suatu metode untuk memprediksi kejadian di masa mendatang. Setiap metode peramalan akan menghasilkan hasil peramalan yang tepat apabila peramal mampu mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan model peramalan. Menurut Hanke dan Wichern 2005, faktor yang mempengaruhi

pemilihan model peramalan adalah identifikasi dan pemahaman tentang pola historis dalam data dan horison waktu (Hartanti, 2014:144). Metode peramalan yang baik adalah metode yang menghasilkan peramalan mendekati nilai aktual atau dapat meminimumkan nilai kesalahan atau *forecast error*.

Salah satu metode peramalan data *time series* yang sering digunakan yaitu metode *exponential smoothing*. Metode *exponential smoothing* dibedakan menjadi tiga yaitu *single exponential smoothing*, *double exponential smoothing*, dan *triple exponential smoothing*. Metode *single exponential smoothing* digunakan untuk data runtun waktu yang tidak mengalami unsur *trend* maupun musiman atau bisa dikatakan data bersifat stasioner. Metode *Double Exponential Smoothing* digunakan untuk peramalan data runtun waktu yang mengalami unsur *trend* saja. Metode ini dibagi menjadi dua yaitu metode DES satu parameter dari *Brown* dan metode DES dua parameter dari *Holt*. Menurut penelitian Awwaliyah tentang peramalan jumlah penderita kusta dengan menggunakan *double exponential smoothing* didapatkan hasil metode *Holt* lebih tepat karena diperoleh *forecast error* yang lebih kecil dibandingkan dengan metode *Brown* (Hartanti, 2014:144). Sedangkan metode *triple exponential smoothing* digunakan untuk meramalkan data runtun waktu yang mengalami unsur *trend* dan musiman sekaligus. Metode *triple exponential smoothing* dibedakan menjadi dua yaitu *triple exponential smoothing Brown* dan *triple exponential smoothing Holt-Winters*.

Dalam melakukan suatu peramalan, masalah yang sering muncul adalah bagaimana cara mendapatkan parameter pemulusan yang optimal sehingga hasil peramalan dikatakan tepat atau akurat. Sedangkan metode-metode tersebut belumlah memberikan cara untuk memilih atau menentukan nilai optimal untuk parameter pemulusan. Penentuan parameter biasanya menggunakan cara *trial and error* yaitu dilakukan dengan memilih suatu nilai secara berulang-ulang sampai didapatkan nilai parameter yang optimal. Meski sudah digunakan secara luas dalam bidang apapun, namun metode *trial and error* masih memiliki hasil yang belum efisien untuk mendapatkan akurasi terbaik (Tresnani, dkk., 2018). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memilih dan menentukan nilai optimal untuk parameter pemulusan adalah dengan menggunakan metode numerik. Salah satu metode numerik yang dapat digunakan adalah metode optimasi parameter algoritma kuadrat. Algoritma ini

menggunakan dasar interpolasi fungsi ke bentuk persamaan kuadrat dalam mencari nilai optimum (Nurhidayati, 2012: 2). Berdasarkan uraian di atas akan dilakukan perbandingan antara metode *Double Exponential Smoothing* dari *Holt* dan *Brown*, untuk mengetahui tingkat keakuratan ramalan yang dihasilkan dengan menghitung nilai kesalahan ramalan menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) terkecil. Untuk itu penulis mengangkat judul “Perbandingan Peramalan Jumlah Produksi Air Bersih PT. Air Minum Giri Menang (Perseroda) dengan *Double Exponential Smoothing* dari *Holt* dan *Brown* Menggunakan Optimasi Algoritma Kuadratik”.

MATERI DAN METODE

Peramalan adalah proses memprediksi kejadian yang akan datang dengan menggunakan data-data sebelumnya (data historis) yang nantinya akan menjadi dasar pengambilan keputusan (Makridakis, 2000). Untuk melakukan peramalan diperlukan metode tertentu dan metode mana yang digunakan tergantung dari data dan informasi yang akan diramal serta tujuan yang hendak dicapai.

Dalam peramalan data yang sering digunakan adalah data *time series*. *Time series* merupakan serangkaian pengamatan yang terjadi secara berurutan pada interval waktu yang tetap (Wei, 2006). Pola gerakan data dapat diketahui dengan adanya data *time series*. Data *time series* adalah data yang dikumpulkan dari waktu ke waktu untuk menggambarkan perkembangan atau pertumbuhan suatu variabel.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan peramalan *time series*, salah satunya adalah metode pemulusan eksponensial. Metode ini merupakan proses untuk meningkatkan peramalan secara terus menerus dengan merata ratakan (pemulusan) nilai masa lalu dari sebagian data deret waktu secara menurun (eksponensial). Beberapa metode pemulusan eksponensial, yaitu. (Makridakis, 2000) :

1. *Single Exponential Smoothing*

Metode *Single Exponential Smoothing* merupakan metode yang digunakan pada peramalan jangka pendek yang biasanya hanya satu bulan ke depan yang mengasumsikan bahwa data berfluktuasi di sekitar nilai rata-rata yang tetap tanpa *trend*

atau pola pertumbuhan konsisten. Metode peramalan ini hanya dapat meramalkan data dengan bentuk pola data horizontal (Aden, 2020).

Nilai peramalan dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut : (Makridakis, 2000)

$$F_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)F_{t-1} \quad (1)$$

Dengan,

F_t : nilai peramalan untuk periode t

α : parameter *smoothing*

X_t : data sebenarnya pada periode t

F_{t-1} : nilai peramalan pada periode $t - 1$ (waktu sebelumnya)

2. *Double Exponential Smoothing*

Metode *double exponential smoothing* digunakan pada data deret waktu (*time series*) yang memiliki pola *trend* yang konsisten. Metode ini dibagi menjadi dua yaitu : (Makridakis, 2000)

a. Metode *Double Exponential Smoothing* Satu Parameter dari *Brown*

Metode ini dikembangkan oleh *Brown's* untuk mengatasi perbedaan yang muncul antara data aktual dan nilai peramalan apabila ada *trend* pada polanya. Persamaan yang digunakan pada metode ini adalah (Makridakis, 2000)

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S'_{t-1} \quad (2)$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha)S''_{t-1} \quad (3)$$

$$\alpha_t = 2S'_t - S''_t \quad (4)$$

$$b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha}(S'_t - S''_t) \quad (5)$$

Persamaan yang digunakan untuk membuat peramalan pada periode m yang akan datang adalah:

$$F_{t+m} = \alpha_t + b_t m \quad (6)$$

Dengan,

S'_t : nilai *single exponential smoothing* pada periode t

S''_t : nilai *double exponential smoothing* pada periode t

α : parameter pemulusan yang besarnya $0 < \alpha < 1$

α_t : nilai konstanta pemulusan pada periode t

b_t : nilai koefisien *trend* pada periode t

X_t : data aktual pada periode t

S'_{t-1} : nilai *single exponential smoothing* $t - 1$ (sebelumnya)

S''_{t-1} : nilai *double exponential smoothing* $t - 1$ (sebelumnya)

m : jumlah periode ke m yang akan diramalkan

F_{t+m} : hasil peramalan pada periode $t + m$

Pada saat $t = 1$ nilai-nilai S'_{t-1} dan S''_{t-1} tidak tersedia sehingga rumus persamaan (3.2) dan (3.3) tidak dapat digunakan. Karena nilai-nilai ini harus ditentukan pada awal periode, maka untuk mengatasi masalah ini dapat dilakukan dengan menetapkan S'_t dan S''_t sama dengan nilai X_t (data aktual pertama) atau dengan menggunakan suatu nilai rata-rata dari beberapa nilai pertama sebagai titik awal (Makridakis, dkk. 1999).

a. Metode *Double Exponential Smoothing* Dua Parameter dari *Holt*

Metode *double exponential smoothing* dari *Holt* dalam prinsipnya serupa dengan *Brown* kecuali *Holt* tidak menggunakan rumus *double smoothing* secara langsung. Sebagai gantinya *Holt* memuluskan nilai *trend* dengan parameter yang berbeda dari parameter yang digunakan pada deret asli. Ramalan dari *double exponential smoothing* dari *Holt* di dapat dengan menggunakan dua konstanta atau parameter pemulusan (dengan nilai antara 0 dan 1, dimana $0 < \alpha, \beta < 1$) dan tiga persamaan (Makridakis, 2000) :

Perhitungan pemulusan pada data ke - t

$$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}) \quad (7)$$

Perhitungan nilai konstanta atau nilai kemiringan atau gradien digunakan persamaan:

$$b_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (8)$$

Dengan,

$$b_1 = \frac{(x_2 - x_1) + (x_4 - x_3)}{2} \quad (9)$$

Persamaan yang digunakan untuk membuat peramalan pada periode m yang akan datang adalah:

$$F_{t+m} = S_t + b_t m \quad (10)$$

Dengan,

S_t : nilai *exponential smoothing* pada periode t

α : parameter pemulusan untuk data ($0 < \alpha < 1$)

β : parameter pemulusan untuk estimasi *trend* ($0 < \beta < 1$)

X_t : nilai aktual pada periode t

b_t : estimasi *trend* pada periode t

b_{t-1} : estimasi *trend* pada periode $t - 1$

S_{t-1} : nilai pemulusan periode $t - 1$

m : jumlah period ke m yang akan diramalkan

F_{t+m} : peramalan pada periode $t + m$

Peramalan yang baik adalah peramalan yang menghasilkan atau mendekati data sebenarnya dan memiliki nilai kesalahan peramalan yang kecil. Dalam situasi peramalan, akurasi dipandang sebagai kriteria penolakan untuk memilih suatu metode peramalan. Ketepatan metode peramalan dilihat dari nilai kesalahan peramalan. Kesalahan peramalan merupakan ukuran ketepatan dan menjadi dasar untuk membandingkan kinerja. Di bagian ini, berbagai ukuran akurasi peramalan dijelaskan diantaranya sebagai berikut :

Jika X_t merupakan data aktual untuk periode t dan F_t merupakan ramalan untuk periode ke t maka nilai kesalahan (e_t) pada periode ke t didefinisikan sebagai berikut (Makridakis, 2000) :

$$e_t = X_t - F_t \quad (11)$$

1. Nilai Tengah Galat (*Mean Error*)

$$ME = \frac{\sum_{t=1}^n (e_t)}{n} \quad (12)$$

2. Nilai Tengah Galat Kuadrat (*Mean Square Error*)

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (e_t)^2}{n} \quad (13)$$

3. Nilai Tengah Galat Absolut (*Mean Absolute Error*)

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^n |e_t|}{n} \quad (14)$$

4. Deviasi Standar Galat (*Standard Deviation Error*)

$$SDE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n |e_t|^2}{n}} \quad (15)$$

5. MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |PE_t| \quad (16)$$

Dengan n adalah banyaknya periode dan PE_t adalah kesalahan persentasenya (*percentage error*):

$$PE_t = \left[\frac{X_t - F_t}{X_t} \right] 100 \% \quad (17)$$

Masalah utama dalam melakukan peramalan adalah bagaimana memperoleh nilai parameter pemulusan yang optimal sehingga mendapatkan hasil ramalan yang mendekati data sebenarnya. Cara menentukan nilai parameter α dapat dilakukan dengan optimasi menggunakan algoritma *non-linear* atau menggunakan *trial error* (Makridakis, 1999). Optimasi dapat didefinisikan sebagai proses menemukan kondisi dimana fungsi mencapai nilai maksimum atau minimum. Optimasi parameter α menggunakan algoritma *non-linear* menghasilkan nilai parameter α optimal dengan cepat dan tepat, sedangkan pada cara *trial error* dibutuhkan proses yang panjang dan berulang-ulang sampai didapatkan nilai parameter α yang optimal. Oleh karena itu, agar diperoleh nilai peramalan yang mendekati data sebenarnya dengan cara yang terbaik, maka diperlukan optimasi nilai parameter α menggunakan algoritma *non-linear* (Novalia, dkk, 2018).

Adapun algoritma *non-linear* yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah algoritma kuadrat.

Algoritma ini menggunakan dasar interpolasi fungsi ke bentuk persamaan kuadrat dalam mencari nilai minimum (Nurhidayati, 2012: 2). Bentuk umum persamaan kuadrat :

$$y(\alpha) = a\alpha^2 + b\alpha + c \quad (18)$$

Fungsi kuadrat di atas merupakan bentuk umum dari persamaan polinomial orde 2 yang melalui tiga titik. Karena persamaan fungsi kuadrat berorde 2 maka tinjau tiga buah titik $(\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2)$.

Untuk mendapatkan nilai minimum dari persamaan umum fungsi kuadrat dapat diperoleh menggunakan turunan pertama, sehingga:

$$\alpha = \frac{-b}{2a} \quad (19)$$

Nilai α_0 dan α_2 didefinisikan sebagai titik pendekatan awal yang nilainya bisa ditentukan berdasarkan batasan nilai parameter α dalam pemulusan eksponensial yaitu $0 < \alpha < 1$. Setelah menentukan nilai α_0 dan α_2 maka untuk menentukan nilai α_1 menggunakan rumus (The Jin Ai, 1999) :

$$\alpha_1 = \frac{(\alpha_0 + \alpha_2)}{2} \quad (20)$$

Rumus jarak antara α_0 dan α_1 :

$$h = \alpha_1 - \alpha_0 \quad (21)$$

Apabila jarak interval antara $\alpha_0 - \alpha_1$ dan $\alpha_1 - \alpha_2$ sama dengan h dan dengan harga $y(\alpha_1)$ kurang dari $y(\alpha_0)$ dan $y(\alpha_2)$, maka akan diperoleh absis minimum :

$$\alpha^* = \alpha_1 + \frac{h[y(\alpha_0) - y(\alpha_2)]}{2[y(\alpha_0) - 2y(\alpha_1) + y(\alpha_2)]} \quad (22)$$

Tahapan iterasi selanjutnya dilakukan dengan membandingkan harga yang lebih kecil antara $y(\alpha_1)$ dan $y(\alpha^*)$, dan jarak interval yang semakin kecil dengan perbandingan $1/2$ dari iterasi sebelumnya karena α^* terletak pada interval yang berjarak $\pm h/2$ dari α_1 , sedangkan untuk penentuan nilai h , α_0 dan α_2 yaitu dengan rumus (The Jin Ai, 1999) :

$$h_t = h_{t-1}/2 \quad (23)$$

$$\alpha_0 = \alpha_1 - h \quad (24)$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 + h \quad (25)$$

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Microsoft Excel* dan *Minitab*. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data bulanan Jumlah Produksi Air Bersih (m³) PT. Air Minum Giri Menang (Perseroda) dari bulan Januari 2018 sampai Desember 2022, yang diperoleh dari Kantor Pusat PT. Air Minum Giri Menang (Perseroda).

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengumpulkan data yang akan digunakan dalam peramalan dari instansi yang terkait. Data sekunder pada penelitian ini diperoleh dari Kantor Pusat PT. Air Minum Giri Menang. Data tersebut merupakan data Jumlah Produksi Air Bersih (m³) dalam bulanan dari tahun 2018 sampai 2022.
- b. Eksplorasi secara umum untuk melakukan pengolahan data dengan cara, pertama membuat *scatter plot* sesuai data yang diperoleh yaitu data Jumlah Produksi Air Bersih (m³) PT. Air Minum Giri Menang (Perseroda) tahun 2018 sampai dengan tahun 2022. Tujuannya adalah untuk membuktikan apakah data terdapat *trend* atau tidak, apabila ada maka penelitian bisa dilanjutkan ke tahap pengolahan data selanjutnya.
- c. Optimasi parameter α menggunakan algoritma kuadratik pada metode *double exponential smoothing* tipe *Brown*

Dalam penelitian ini akan digunakan algoritma kuadratik untuk menentukan nilai parameter α optimum pada *double exponential smoothing* satu parameter dari *Brown*, berikut tahapannya;

- 1) Menentukan nilai $\varepsilon, \alpha_0, \alpha_2$. Nilai α_0 dan α_2 didefinisikan sebagai titik pendekatan awal yang nilainya bisa ditentukan berdasarkan batasan nilai parameter α dalam pemulusan eksponensial yaitu $0 < \alpha < 1$. Nilai ε merupakan batas toleransi berhentinya iterasi yaitu 0,001. Nilai ε bergantung pada ketelitian yang diinginkan, artinya peneliti bebas menentukan seberapa

besar batas toleransi berhentinya iterasi yang bernilai positif atau berlaku $\varepsilon > 0$. Semakin kecil nilai ε , maka semakin teliti taksiran yang akan diperoleh dan semakin besar jumlah iterasi yang dibutuhkan.

- 2) Hitung $\alpha_1 = (\alpha_0 + \alpha_2)/2$ dan $h = \alpha_1 - \alpha_0$
- 3) Mencari nilai $y(\alpha_0), y(\alpha_1), y(\alpha_2)$. Pada metode ini nilai $y(\alpha_0), y(\alpha_1), y(\alpha_2)$ merupakan nilai MAPE yang dimasukkan sebagai nilai parameter α pada metode pemulusan eksponensial satu parameter dari *Brown*.
- 4) Membandingkan nilai $y(\alpha_0), y(\alpha_1), y(\alpha_2)$ untuk melakukan pembaruan selang dengan ketentuan sebagai berikut:
 - Jika $y(\alpha_0) < y(\alpha_1)$, maka :
 - $\alpha_2 = \alpha_1$ (α_1 berpindah ke α_2)
 - $\alpha_1 = \alpha_0$ (α_0 berpindah ke α_1)
 - $\alpha_0 = \alpha_1 - h$
 - Jika $y(\alpha_2) < y(\alpha_1)$, maka :
 - $\alpha_0 = \alpha_1$ (α_1 berpindah ke α_0)
 - $\alpha_1 = \alpha_2$ (α_2 berpindah ke α_1)
 - $\alpha_2 = \alpha_1 + h$
- 5) Menghitung α^* menggunakan persamaan (3.27) yaitu :

$$\alpha^* = \alpha_1 + \frac{h[y(\alpha_0) - y(\alpha_2)]}{2[y(\alpha_0) - 2y(\alpha_1) + y(\alpha_2)]}$$

- 6) Membandingkan nilai $y(\alpha^*)$ dengan $y(\alpha_1)$ untuk melakukan pembaruan selang dengan ketentuan sebagai berikut :
 - Jika $y(\alpha^*) < y(\alpha_1)$, maka untuk iterasi selanjutnya :
 - $\alpha_1 = \alpha^*$ (α^* berpindah ke α_1)
 - $\alpha_0 = \alpha_1 - h$
 - $\alpha_2 = \alpha_1 + h$
 - $h = h/2$
 - Jika $y(\alpha^*) > y(\alpha_1)$, maka untuk iterasi selanjutnya :
 - α_1 yang digunakan adalah alpha 1 ketika mencari alpha bintang.
 - $\alpha_0 = \alpha_1 - h$

- $\alpha_2 = \alpha_1 + h$
- $h = h/2$

- 7) Membandingkan nilai h dan ε . Apabila $h > \varepsilon$ maka ulangi dari langkah awal yaitu menentukan α_0 dan α_2 baru berdasarkan nilai sebelumnya. Apabila tidak maka dapat memperoleh kesimpulan bahwa $\alpha_{min} = \alpha_1$ dan $y(\alpha_{min}) = y(\alpha_1)$.
 - 8) Menentukan nilai pemulusan eksponensial tunggal S_t' dan nilai pemulusan eksponensial ganda S_t'' menggunakan persamaan (3.2) dan (3.3).
 - 9) Menentukan besarnya nilai konstanta α_t besarnya slope b_t menggunakan persamaan (3.4) dan (3.5).
 - 10) Menentukan besarnya ramalan F_{t+m} menggunakan persamaan (3.6) .
 - 11) Menentukan nilai kesalahan peramalan menggunakan persamaan (3.16).
- d. Optimasi parameter α dan β menggunakan algoritma kuadratik pada metode *double exponential smoothing* tipe *Holt*.

Dalam penelitian ini akan digunakan algoritma kuadratik untuk menentukan nilai parameter α dan β optimum secara bergantian pada *double exponential smoothing* dua parameter dari *Holt*, berikut tahapannya;

- 1) Menentukan nilai α optimum terlebih dahulu dengan asumsi nilai β konstan, setelah nilai α optimum didapatkan kemudian dilanjutkan dengan mencari nilai β optimum dengan asumsi nilai α konstan.
- 2) Menentukan nilai $\varepsilon, \alpha_0, \alpha_2, \beta_0, \beta_2$. Nilai $\alpha_0, \alpha_2, \beta_0, \beta_2$ didefinisikan sebagai titik pendekatan awal yang nilainya bisa ditentukan berdasarkan batasan nilai parameter α dan β dalam pemulusan eksponensial yaitu $0 < \alpha, \beta < 1$. Nilai ε merupakan batas toleransi berhentinya iterasi yaitu 0,001. Nilai ε bergantung pada ketelitian yang diinginkan, artinya peneliti bebas menentukan seberapa besar batas toleransi berhentinya iterasi yang bernilai positif atau berlaku $\varepsilon > 0$. Semakin kecil nilai ε , maka semakin teliti taksiran yang akan diperoleh dan semakin besar jumlah iterasi yang dibutuhkan.
- 3) Hitung :
 - $\alpha_1 = (\alpha_0 + \alpha_2)/2$ dan $h = \alpha_1 - \alpha_0$

- $\beta_1 = (\beta_0 + \beta_2)/2$ dan $h = \beta_1 - \beta_0$
- 4) Mencari nilai $y(\alpha_0, \beta_0), y(\alpha_1, \beta_1), y(\alpha_2, \beta_2)$. Pada metode ini nilai-nilai fungsi tersebut merupakan nilai MAPE yang dimasukkan sebagai nilai parameter α dan β pada metode pemulusan eksponensial dua parameter dari *Holt*.
- 5) Membandingkan nilai $y(\alpha_0, \beta_0), y(\alpha_1, \beta_1), y(\alpha_2, \beta_2)$, untuk melakukan pembaruan selang dengan ketentuan sebagai berikut:

- Jika $y(\alpha_0, \beta_0) < y(\alpha_1, \beta_1)$, maka :

untuk α ,

- $\alpha_2 = \alpha_1$ (α_1 berpindah ke α_2)
- $\alpha_1 = \alpha_0$ (α_0 berpindah ke α_1)
- $\alpha_0 = \alpha_1 - h$

untuk β ,

- $\beta_2 = \beta_1$ (β_1 berpindah ke β_2)
- $\beta_1 = \beta_0$ (β_0 berpindah ke β_1)
- $\beta_0 = \beta_1 - h$

- Jika $y(\alpha_2, \beta_2) < y(\alpha_1, \beta_1)$, maka :

untuk α ,

- $\alpha_0 = \alpha_1$ (α_1 berpindah ke α_0)
- $\alpha_1 = \alpha_2$ (α_2 berpindah ke α_1)
- $\alpha_2 = \alpha_1 + h$

untuk β ,

- $\beta_0 = \beta_1$ (β_1 berpindah ke β_0)
- $\beta_1 = \beta_2$ (β_2 berpindah ke β_1)
- $\beta_2 = \beta_1 + h$

- 6) Menghitung (α^*, β^*) menggunakan persamaan (3.27) yaitu :

$$(\alpha^*, \beta^*) = (\alpha_1, \beta_1) + \frac{h[y(\alpha_0, \beta_0) - y(\alpha_2, \beta_2)]}{2[y(\alpha_0, \beta_0) - 2y(\alpha_1, \beta_1) + y(\alpha_2, \beta_2)]}$$

- 7) Membandingkan nilai $y(\alpha^*, \beta^*)$ dengan $y(\alpha_1, \beta_1)$ untuk melakukan pembaruan selang dengan ketentuan sebagai berikut :

- Jika $y(\alpha^*, \beta^*) < y(\alpha_1, \beta_1)$, maka untuk iterasi selanjutnya :

untuk α ,

- $\alpha_1 = \alpha^*$ (α^* berpindah ke α_1)
- untuk β ,
- $\beta_1 = \beta^*$ (β^* berpindah ke β_1)
- Jika $y(\alpha^*, \beta^*) > y(\alpha_1, \beta_1)$, maka untuk iterasi selanjutnya :
 - untuk α ,
 - α_1 yang digunakan adalah alpha 1 ketika mencari alpha bintang
 - $\alpha_0 = \alpha_1 - h$
 - $\alpha_2 = \alpha_1 + h$
 - $h = h/2$
 - untuk β ,
 - β_1 yang digunakan adalah beta 1 ketika mencari beta bintang
 - $\beta_0 = \beta_1 - h$
 - $\beta_2 = \beta_1 + h$
 - $h = h/2$
- 8) Membandingkan nilai h dan ε . Apabila $h > \varepsilon$ maka ulangi dari langkah awal yaitu menentukan α_0 , α_2 , β_0 , dan β_2 . Apabila tidak maka dapat memperoleh kesimpulan bahwa $\alpha_{min} = \alpha_1$, $\beta_{min} = \beta_1$ dan $y(\alpha_{min}, \beta_{min}) = y(\alpha_1, \beta_1)$.
 - 9) Menentukan nilai pemulusan S_t menggunakan persamaan (3.7)
 - 10) Menentukan besarnya slope b_t menggunakan persamaan (3.8).
 - 11) Menentukan besarnya ramalan F_{t+m} menggunakan persamaan (3.10) .
 - 12) Menentukan nilai kesalahan peramalan menggunakan persamaan (3.16).
- e. Setelah dilakukan peramalan dengan menggunakan metode pemulusan eksponensial dari Holt dan Brown, hingga tahap peramalan dan pengujian ketepatan hasil ramalan, kemudian dilakukan perbandingan terhadap kedua metode tersebut dengan melihat nilai MAPE terkecil yang diperoleh berdasarkan hasil peramalan.
- f. Kesimpulan yang ingin diperoleh pada penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan metode terbaik yang dapat digunakan dalam peramalan Jumlah Produksi Air Bersih (m^3) PT. Air Minum Giri Menang (Perseroda) untuk waktu mendatang.

HASIL DAN DISKUSI

Dalam penelitian ini dilakukan peramalan menggunakan dua metode yaitu *Double Exponential Smoothing* dari *Holt* dan *Brown* menggunakan Optimasi algoritma kuadratik dalam mencari nilai parameter pemulusan yang optimal, berikut penjelasannya:

1. *Double Exponential Smoothing Brown*

Pada model DES *Brown* dilakukan dua kali penghalusan dan kemudian dilakukan peramalan. Sebelum melakukan peramalan menggunakan model DES *Brown* hal yang pertama yang harus dilakukan yaitu menentukan nilai pemulusan *single* (S'_1) dan nilai pemulusan *double* (S''_1). Dalam penetapan nilai pemulusan *single* dan nilai pemulusan *double*, dapat digunakan nilai aktual yang pertama (X_1) sehingga nilai pemulusan pertama untuk (S'_1) dan (S''_1) akan sama dengan nilai data aktual pertama yaitu (X_1). Selain itu nilai yang akan ditetapkan pada model DES *Brown* yaitu nilai parameter yang akan digunakan dalam metode tersebut. Untuk model ini menggunakan satu parameter yaitu (α). Penentuan parameter pemulusan dilakukan menggunakan metode algoritma kuadratik. Untuk penetapan nilai parameter optimal berdasarkan nilai *mean absolute persentase error* (MAPE).

Dengan menggunakan persamaan dan langkah-langkah analisis data pada metode *Brown* diperoleh hasil perhitungan untuk nilai α menggunakan metode algoritma kuadratik dirangkum pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1 Hasil perhitungan untuk nilai α menggunakan Metode Algoritma Kuadratik

No	α_0	α_1	α_2	α^*	$h_t = h_{t-1}/2$
1	0,01	0,5	0,99	0,574605577	0,49
2	0,255	0,5	0,745	0,359311842	0,245
3	0,1325	0,255	0,3775	0,190584744	0,1225
4	0,07125	0,1325	0,19375	0,116332203	0,06125
5	0,085707203	0,116332203	0,146957203	0,098541874	0,030625
6	0,083229374	0,098541874	0,113854374	0,096580193	0,0153125
7	0,088923943	0,096580193	0,104236443	0,094258868	0,00765625
8	0,092752068	0,096580193	0,100408318	0,096458575	0,003828125
9	0,094544513	0,096458575	0,098372638	0,095864692	0,0019140625
10	0,095501544	0,096458575	0,097415606	0,096159043	0,00095703125
11	0,095980069	0,096458575	0,096937081	0,096312621	0,00047850625

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa iterasi berhenti pada iterasi ke-11 dengan nilai $h = 0,00047850625$ kurang dari 0,001, dan dengan nilai α_1 telah konvergen yang artinya bahwa dengan nilai optimum α sebesar 0,096458575 dan menghasilkan nilai MAPE sebesar 3,2861437 %. Nilai MAPE dapat dicari menggunakan persamaan 16 dan 17.

Table 2 Nilai MAPE untuk α Optimum Metode *Brown*

α	MAPE (%)
0,096458575	3,2861437 %

Berdasarkan dari parameter optimum yang sudah didapatkan pada metode *Brown* sehingga didapatkan fungsi untuk mencari periode ke m sebagai berikut :

$$F_{60+m} = 4.438.231 + 14.183 m$$

2. *Double Exponential Smoothing Holt*

Pada peramalan menggunakan model DES *Holt* dengan dua parameter yaitu (α) dan (β). Sebelum melakukan peramalan, hal pertama yang harus dilakukan yaitu menentukan nilai pemulusan pertama (S_1) dan menentukan suatu nilai untuk nilai *trend* (b_1) pertama. Dalam penetapan nilai pemulusan pertama (S_1), dapat digunakan nilai aktual yang pertama (X_1) sehingga nilai pemulusan pertama (S_1) akan sama dengan nilai data aktual pertama yaitu (X_1). Untuk menentukan nilai *trend* (b_1) pertama menggunakan persamaan (9).

Adapun untuk langkah perhitungannya hampir sama dengan perhitungan DES *Brown*, tetapi dalam model ini karena menggunakan dua parameter yaitu (α) dan (β), sehingga dilakukan pencarian nilai parameter satu per satu. Penentuan parameter dilakukan menggunakan metode algoritma kuadratik dengan mencari nilai α optimum terlebih dahulu dengan menggunakan titik β yang konstan yaitu 0,5. Setelah itu dilanjutkan dengan pencarian nilai β optimum menggunakan nilai α optimum yang sudah didapatkan. Titik $\alpha_0, \beta_0, \alpha_2, \beta_2$ yang didefinisikan sebagai titik pendekatan awal yang nilainya bisa ditentukan berdasarkan batasan nilai parameter α dan β dalam pemulusan eksponensial yaitu $0 < \alpha, \beta < 1$. Titik-titik tersebut nilainya dapat berubah-ubah sampai memenuhi syarat $h < \varepsilon$, maka iterasi sudah terpenuhi dan dihentikan. Nilai ε merupakan batas toleransi berhentinya iterasi yaitu 0,001. Untuk penetapan nilai

parameter optimal berdasarkan nilai *mean absolute persentase error* (MAPE). Berikut pencarian parameter optimum metode *Holt* :

a. Nilai Parameter α Optimum dengan asumsi nilai β Konstan

Dengan menggunakan persamaan dan langkah-langkah analisis data pada metode *Holt* diperoleh hasil perhitungan untuk nilai α menggunakan metode algoritma kuadratik dengan asumsi nilai β konstan dirangkum pada Tabel 3 berikut :

Tabel 3 Data Hasil Perhitungan untuk nilai α optimum dengan nilai $\beta = 0,5$ konstan menggunakan Metode Algoritma Kuadratik

No	α_0	α_1	α_2	α^*	$h_t = \frac{h_{t-1}}{2}$
1	0,01	0,5	0,99	0,737752386	0,49
2	0,255	0,5	0,745	0,56244229	0,245
3	0,3775	0,5	0,6225	0,531506893	0,1225
4	0,470256893	0,531506893	0,592756893	0,525885734	0,06125
5	0,495260734	0,525885734	0,556510734	0,520811457	0,030625
6	0,505498957	0,520811457	0,536123957	0,516579846	0,0153125
7	0,508923596	0,516579846	0,524236096	0,517509836	0,00765625
8	0,512751721	0,516579846	0,520407971	0,517384979	0,003828125
9	0,514665784	0,516579846	0,518493909	0,517270843	0,0019140625
10	0,515622815	0,516579846	0,517536877	0,516928132	0,00095703125
11	0,516101330	0,516579846	0,517058362	0,516600093	0,00047850625

Pada Tabel 3 telah tertera bahwa iterasi berhenti pada iterasi ke-11 karena nilai $h = 0,00047850625$ kurang dari nilai $\varepsilon = 0,001$ dan didapatkan nilai optimum α sebesar 0,516579846.

b. Nilai Parameter β Optimum dengan asumsi nilai α Konstan

Nilai β optimum dicari menggunakan nilai α optimum yang sudah didapatkan yaitu 0,516579846. Dengan menggunakan cara dan langkah analisis data yang sama seperti sebelumnya diperoleh hasil perhitungan untuk nilai β menggunakan metode algoritma kuadratik dengan asumsi nilai α konstan dirangkum pada Tabel 4 berikut :

Tabel 4 Data Hasil Perhitungan untuk nilai β optimum dengan nilai $\alpha = 0,516579846$ menggunakan Metode Algoritma Kuadratik

No	β_0	β_1	β_2	β^*	$h_t = \frac{h_{t-1}}{2}$
1	0,01	0,5	0,99	0,707946877	0,49
2	0,255	0,5	0,745	0,479337066	0,245
3	0,356837066	0,479337066	0,601837066	0,449363740	0,1225
4	0,38811374	0,449363740	0,51061374	0,419639462	0,06125

5	0,389014462	0,419639462	0,450264462	0,419287128	0,030625
6	0,403974628	0,419287128	0,434599628	0,419683765	0,0153125
7	0,411630878	0,419287128	0,426943378	0,416263342	0,00765625
8	0,412435217	0,416263342	0,420091467	0,416068999	0,003828125
9	0,414154937	0,416068999	0,417983062	0,416013252	0,0019140625
10	0,415111968	0,416068999	0,417026030	0,416033722	0,00095703125
11	0,415076691	0,416033722	0,416512238	0,415959605	0,00047850625

Pada Tabel 4 telah tertera bahwa iterasi berhenti pada iterasi ke-11 karena nilai $h = 0,00047850625$ kurang dari nilai $\varepsilon = 0,001$ dan didapatkan nilai β optimum sebesar 0,416033722. Nilai MAPE dapat dicari menggunakan persamaan 16 dan 17.

Tabel 5 Nilai MAPE untuk α dan β Optimum Metode Holt

α	β	MAPE (%)
0,516579846	0,416033722	3,9594362

Berikut adalah tabel nilai α dan β optimum yang dicari bergantian menggunakan nilai α dan β optimum yang sudah didapatkan sebelumnya.

Tabel 6 Nilai α optimum dengan asumsi nilai $\beta = 0,416033722$ konstan.

No	α_0	α_1	α_2	α^*	$h_t = h_{t-1}/2$
1	0,01	0,5	0,99	0,733983783	0,49
2	0,255	0,5	0,745	0,580176585	0,245
3	0,457676585	0,580176585	0,702676585	0,571556087	0,1225
4	0,510306087	0,571556087	0,632806087	0,548072236	0,06125
5	0,517447236	0,548072236	0,578697236	0,538680721	0,030625
6	0,523368221	0,538680721	0,553993221	0,535100918	0,0153125
7	0,527444668	0,535100918	0,542757168	0,531182963	0,00765625
8	0,527354838	0,531182963	0,535011088	0,530278307	0,003828125
9	0,528364245	0,530278307	0,532192379	0,529241498	0,0019140625
10	0,529321276	0,530278307	0,531235338	0,529959297	0,00095703125
11	0,529480781	0,529959297	0,530437813	0,528980783	0,00047850625

Berdasarkan tabel di atas didapatkan nilai α optimum sebesar $\alpha = 0,529959297$

Tabel 7 Nilai β optimum dengan asumsi nilai $\alpha = 0,529959297$ konstan.

No	β_0	β_1	β_2	β^*	$h_t = \frac{h_{t-1}}{2}$
1	0,01	0,5	0,99	0,70259344	0,49
2	0,255	0,5	0,745	0,458616045	0,245
3	0,336116045	0,458616045	0,581116045	0,432347641	0,1225
4	0,371097641	0,432347641	0,493597641	0,400390017	0,06125
5	0,369765017	0,400390017	0,431015017	0,399739274	0,030625
6	0,385077517	0,400390017	0,415702517	0,410158285	0,0153125
7	0,408046267	0,415702517	0,423358767	0,412606259	0,00765625
8	0,408778134	0,412606259	0,416434384	0,412470808	0,003828125
9	0,410692197	0,412606259	0,414520322	0,413966806	0,0019140625
10	0,413563291	0,414520322	0,415477353	0,414201312	0,00095703125
11	0,413722796	0,414201312	0,414679828	0,414185921	0,00047850625

Berdasarkan tabel di atas didapatkan nilai β optimum sebesar $\beta = 0,414201312$

Tabel 8 Nilai MAPE untuk α dan β Optimum Metode *Holt*

α	β	MAPE (%)
0,529959297	0,414201312	3,9569405

Hasil dari kedua parameter baru yang didapatkan digunakan sebagai perbandingan dengan parameter optimum sebelumnya. Berdasarkan tabel 3, 4, 6 dan 7 bahwa setelah dilakukan pengulangan perhitungan nilai parameter α dan β optimum terletak pada rentang titik yang sama yaitu sekitar 0,5 untuk α dan 0,4 untuk β . Sehingga pada penelitian ini digunakanlah titik pencarian terakhir untuk $\alpha = 0,529959297$ dan $\beta = 0,414201312$ sebagai titik parameter optimum metode *Holt*.

Berdasarkan dari parameter optimum yang sudah didapatkan pada metode *Holt* sehingga didapatkan fungsi untuk mencari periode ke m sebagai berikut :

$$F_{60+m} = 4.537.166 + 77.393 m$$

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil pembahasan diketahui bahwa pencarian parameter optimum dilakukan menggunakan metode optimasi Algoritma Kuadratik dengan model DES *Brown* dan DES *Holt*. Pada DES *Brown* satu parameter diperoleh parameter optimum $\alpha = 0,096458575$ dengan nilai MAPE = 3,2861437 % dan model yang didapatkan adalah $F_{60+m} = 4.438.231 + 14.183 m$. Pada DES *Holt* dua parameter diperoleh parameter optimum $\alpha = 0,529959297$ dan $\beta = 0,414201312$ dengan nilai MAPE = 3,9569405 % dan model yang didapatkan adalah $F_{60+m} = 4.537.166 + 77.393 m$. Berdasarkan hasil perbandingan nilai MAPE ≤ 10 % studi kelayakan menunjukkan kedua model sangat akurat untuk peramalan. Untuk itu dapat disimpulkan bahwa DES *Brown* yang lebih baik untuk meramalkan jumlah produksi air bersih PT. Air Minum Giri Menang (Perseroda) untuk periode Januari – Juni 2023, karena nilai MAPE yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan nilai MAPE DES *Holt*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pertama penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua, suami serta anak yang selalu mendukung dan mendo'akan. Kedua, terimakasih kepada Universitas Mataram yang telah memberikan wadah bagi penulis untuk melakukan penelitian sehingga penelitian ini bisa diselesaikan dengan baik. Terimakasih juga penulis ucapkan kepada dosen pembimbing Bapak Zulhan Widya Baskara, S.Si., M.Si. dan Ibu Qurratul Aini, S.Si., M.Sc. yang telah membantu dan membimbing penulis dengan sabar dan ikhlas dalam melakukan penelitian ini, serta terima kasih penulis ucapkan kepada dosen penguji Ibu Mustika Hadijati, S.Si., M.Si. dan Bapak Dr. Irwansyah, S.Si., M.Si. yang telah memberikan banyak saran dan masukan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aden. (2020). *Forecasting The Exponential Smoothing Methods*. Tangerang Selatan : Unpam Press.
- Ambarita, Godman. (2001). *Peran PERPAMSI dalam Era Desentralisasi Menuju Penyediaan Air Minum yang Sehat*. Dipresentasikan pada Seminar Hari Bumi Sedunia, April 2001.
- Badan Pusat Statistik. (2022). "Kependudukan", <https://ntb.bps.go.id/>, diakses pada 5 Mei 2022 pukul 10.14.
- Bidangan, J. Purnamasari, I. dan Hayati, NMB. (2016). Perbandingan Peramalan Metode Double Exponential Smoothing Satu Parameter *Brown* dan Metode *Double Exponential Smoothing* Dua Parameter *Holt*. *Jurnal Statistika, Universitas Muhammadiyah Statistika*, 4(1) : 14.
- Ginting, Rosnaini. (2007). *Sistem Produksi*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Hartanti, O. D. (2014). Perbandingan Hasil Peramalan dengan Metode *Double Exponential Smoothing Holt* dan Metode Jaringan Syaraf Tiruan. *Jurnal Biometrika dan Kependudukan*, 3(2) : 144.
- Heizer, J. dan Render, B. (2009). *Manajemen Operasi*. Terjemahan. Jakarta : Salemba Empat.
- Ibrahim, M., dkk. (2020). Analisis Percepatan Peningkatan IPM Menggunakan Metode *Holt*: Studi Kasus Negara ASEAN. Kota Mataram. UMMAT. *Jurnal kajian penelitian dan pengembangan pendidikan*. 8(1) : 19-26.
- Jannah, W., & Itratip. (2016). Kajian Pengolahan Dan Distribusi Air Minum PDAM Giri Menang. *JIME*, 351-355.
- Mahkya, D. A., Yasin, H., & Mukid, M. A. (2014). Aplikasi Metode *Golden Section* untuk Optimasi Parameter pada Metode *Exponential Smoothing*. *Jurnal gaussian*, 3(4), 605-614.
- Makridakis, S. (2000). *Metode dan Aplikasi Peramalan Jilid 2*. Jakarta: Interakasara.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C. (1995). *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Jakarta: Erlangga.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C. dan McGee, V. E. (1999). *Metode dan Aplikasi Peramalan (terjemahan) Jilid 1 Edisi Revisi*. Alih Bahasa: Hari Suminto, Jakarta: Binarupa Aksara.
- Novalia, Dyah. Sugiman, dan Sunarmi. (2018). Perbandingan Hasil Optimasi Pada Metode *Brown's One-Parameter Double Exponential Smoothing* Menggunakan Algoritma Non- Linear Programming Berbantu Matlab. *UNNES Journal Of Mathematics*, 7(1) : 22.
- Nurhidayati, E. N. (2012). *Penggunaan Algoritma Nonlinear Programming untuk Mengoptimalkan Parameter Alpha dalam Metode Pemulusan Eksponensial Satu Parameter*. Surabaya: Institut Sepuluh November.
- Prastyo, D. D. (2011). *Analisis Time Series*. Online : <http://www.its.ac.id/>. Diakses tanggal 10 November 2011.
- Qarani, M. A., Santoso, R. dan D. Safitri. (2018). Pengembangan Estimasi Parameter Pada Metode *Exponential Smoothing Holt-Winters Additive* Menggunakan Metode Optimasi *Golden Section* (Studi Kasus: Wisatawan Mancanegara yang Menggunakan Jasa Akomodasi di DIY). *Jurnal Gaussian*, 7(4) : 348-360.
- Riska Perdana, Fajar. (2016). Perbandingan Metode DES (*Double Exponential Smoothing*) dengan TES (*Triple Exponential Smoothing*) pada penjualan Rokok (Studi Kasus Toko Utama Lumajang). *JIPI*, 4(1) : 22.

- Romadhona, Budi. (2013). *Perlindungan Hak-Hak Konsumen Dalam Pelayanan Air bersih PDAM Surya Sembada Kota Surabaya*. Skripsi. Yayasan Kesejahteraan Pendidikan dan Perumahan Universitas Pembangunan Nasional, Surabaya.
- Santoso, B. I., Hardinsyah, Siregar, P., & Pardede, S. O. (2011). *Air Bagi Kesehatan*. Jakarta: Centra Communications.
- Siregar, R. (2018). *Perbandingan Hasil Ramalan Produksi Ikan dengan Metode Pemulusan Eksponensial Ganda dari Brown dan Dua Parameter dari Holt di Pelabuhan Perikanan Samudera Belawan Medan*. Sumatera Utara : Universitas Sumatera Utara.
- The Jin Ai. (1999). Optimasi Peramalan Pemulusan Eksponensial Satu Parameter dengan Menggunakan Algoritma *Non- Linear Programming*. *Jurnal Teknologi Industri*, 3(3), 139-148.
- Tresnani, H. W., Agus, S., & Khabib, M. (2018). Optimasi Parameter pada Metode Peramalan *Grey Holt-Winter Exponential Smoothing* dengan *Golden Section*. *Jurnal Berkala MIPA*, 25(3), 312-325.
- Wei, W. S. (2006). *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods*, Second Edition. Boston: Addison Wesley.
- Zainun, N. Y dan Majid, Z. A. (2003). *Low Cost House Demand Predictor*. Malaysia: Universitas Teknologi Malaysia.