

Optimasi Parameter *Holt-Winters Exponential Smoothing* Menggunakan *Multivariabel Golden Section* Untuk Prediksi Penjualan Mobil Indonesia

Mamluatul Hani'ah^{1✉}, Yogi Kurniawan²

¹ Teknik Informatika, Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

² Direktorat Teknologi Informasi, Universitas Brawijaya, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 06-03-2023

Direvisi : 11-03-2023

Diterima : 16-03-2023

Kata Kunci:

Holt-Winters Exponential Smoothing; Multivariable Golden Section; Optimasi Parameter; Prediksi Penjualan.

Keywords :

Holt-Winters Exponential Smoothing; Multivariable Golden Section; Optimasi Parameter; Sales Prediction.

Corresponding Author :

Mamluatul Hani'ah
Teknik Informatika,
Jurusan Teknologi Informasi,
Politeknik Negeri Malang, Indonesia
Email: mamluatulhaniah@polinema.ac.id

ABSTRAK

Keberlangsungan perusahaan otomotif sangat penting untuk Indonesia karena dapat menjadi salah satu penyerap tenaga kerja di Indonesia. Prediksi penjualan merupakan salah satu aspek penting untuk keberlangsungan perusahaan karena dapat digunakan untuk memperkirakan jumlah produksi. Salah satu metode yang memiliki performa baik dalam prediksi penjualan adalah *Holt-Winters exponential smoothing*, akan tetapi metode ini sangat bergantung pada parameter α , β , γ . Jika salah dalam penentuan parameter maka hasil prediksi bisa menjadi tidak akurat. Salah satu cara mengatasi hal tersebut adalah menggunakan optimasi parameter. Pada penelitian ini diusulkan integrasi *Holt-Winters exponential smoothing* dengan *multivariable golden section* untuk menghasilkan parameter yang optimal pada prediksi penjualan mobil di Indonesia. Berdasarkan uji coba, metode usulan dapat digunakan untuk melakukan prediksi dengan rata-rata MAPE sebesar 9% yang termasuk dalam skala akurasi yang tinggi. Selain itu, metode yang diusulkan dibandingkan dengan penelitian terdahulu dan didapatkan hasil bahwa metode yang diusulkan lebih unggul dibandingkan penelitian terdahulu.

ABSTRACT

Automotive companies play a crucial role in absorbing labor in Indonesia, making their sustainability essential for the country. To ensure their sustainability, sales forecasting is vital as it can estimate production volume. Although Holt-Winters exponential smoothing is a reliable method for sales forecasting, it heavily depends on the accurate determination of α , β , and γ parameters. Inaccurate parameter determination can lead to inaccurate predictions, but this issue can be addressed by optimizing parameters. To this end, this study proposes integrating Holt-Winters exponential smoothing with multivariable golden section to generate optimal parameters for forecasting car sales in Indonesia. The proposed method yields an average MAPE of 9%, which is highly accurate in the forecasting scale. Furthermore, the proposed method outperforms previous studies in the same domain.

PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri otomotif di Indonesia sangat cepat dimana banyak perusahaan otomotif memproduksi mobil di dalam negeri. Menurut Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia (Gaikindo) kapasitas produksi mobil buatan Indonesia telah mencapai 2,2 juta unit per tahun (Saragih, 2018). Industri otomotif saat ini menjadi salah satu penyerap utama tenaga kerja di Indonesia. Pada tahun 2017 industri manufaktur dibidang otomotif berhasil menyerap sebanyak 17,01 juta tenaga kerja (Anonim, 2018). Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan industri otomotif memiliki peran penting dalam perekonomian Indonesia karena dapat membantu mengurangi angka pengangguran di negara ini. Oleh karena itu, menjaga kelangsungan perusahaan otomotif ini menjadi sangat penting bagi Indonesia.

Teknologi informasi telah memberikan banyak manfaat bagi manusia di berbagai bidang seperti Pendidikan(Hani'ah, Kurniawan, dkk., 2021), Kesehatan(Setya dkk., 2023), Pertanian(Mayasari dkk., 2020), dan juga dalam bidang ekonomi(Bengkulu dkk., 2022). Dalam bidang ekonomi, teknologi informasi sering digunakan dalam penelitian untuk melakukan prediksi penjualan (Kumar Jha & Pande, 2021). Prediksi penjualan dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap perusahaan, karena jika prediksi tersebut tidak tepat, maka ketersediaan stok barang dapat tidak sesuai dengan permintaan pasar. Hal ini dapat mengakibatkan kerugian bagi perusahaan, baik karena kekurangan stok barang atau kelebihan stok yang tidak terjual. Sebaliknya, jika prediksi penjualan dilakukan dengan tepat, maka informasi tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk membuat keputusan yang tepat dalam perusahaan (Nguyen dkk., 2021). Dengan demikian, teknologi informasi dapat membantu perusahaan dalam mengambil keputusan sehingga perusahaan dapat memberikan kebijakan yang sesuai.

Dalam industri otomotif, prediksi penjualan mobil di masa depan sangat penting sebagai salah satu upaya untuk mempersiapkan produksi dan menjaga ketersediaan stok barang. Prediksi penjualan dapat dilakukan dengan menggunakan data penjualan pada bulan-bulan sebelumnya untuk memprediksi penjualan pada bulan berikutnya. Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk prediksi penjualan adalah teknik statistika (Verstraete dkk., 2020). Penelitian yang dilakukan di Afrika Selatan (Makatjane & Moroke, 2016) menggunakan metode *Holt-Winters exponential smoothing* dan metode seasonal-ARIMA untuk memprediksi penjualan mobil dengan menggunakan data dari Januari 1994 hingga Desember 2013. Berdasarkan penelitian tersebut metode *Holt-Winters exponential smoothing* memberikan prediksi yang lebih tepat jika dibandingkan dengan metode seasonal-ARIMA.

Penelitian lainnya (Lee dkk., 2018) membandingkan beberapa algoritma seperti *Simple Moving Average* (SMA), *Weighted Moving Average* (WMA), *Simple Exponential Smoothing* (SES), *Holt Linear Trend* (HL), *Holt-Winters* (HW), dan *Centered Moving Average* (CMA) untuk melakukan prediksi kebutuhan listrik. Dari hasil penelitian tersebut, ditemukan bahwa *Holt-Winters exponential smoothing* memberikan performa yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma lainnya. Dengan demikian teknik *Holt-Winters exponential smoothing* merupakan salah satu metode yang baik dalam melakukan prediksi.

Penelitian yang dilakukan oleh (Ririd dkk., 2021) memiliki fokus pada prediksi penjualan mobil Indonesia dengan menggunakan metode *Holt-Winters exponential smoothing*. Metode ini membutuhkan tiga buah parameter yaitu α , β , dan γ dalam melakukan prediksi. Dalam melakukan prediksi penjualan mobil Indonesia dengan menggunakan metode *Holt-Winters exponential smoothing*, parameter α , β , dan γ merupakan faktor penting yang harus diperhatikan. Karena, penentuan parameter yang tidak tepat akan berdampak pada ketidakakuratan prediksi. Oleh karena itu, pada penelitian yang dilakukan oleh (Ririd dkk., 2021), dilakukan proses uji coba untuk mendapatkan nilai parameter α , β , dan γ yang optimal. Namun, proses ini membutuhkan 729 kombinasi nilai parameter α , β , dan γ dengan nilai parameter dalam rentang 0-1. Sehingga, proses penentuan parameter menjadi kurang efisien karena memakan waktu yang lama akibat harus mencoba satu persatu kombinasi yang tepat.

Penelitian (Hani'ah, Putri, dkk., 2021) melakukan optimasi parameter *Holt-Winters exponential smoothing* dengan menggunakan metode *golden section*. Metode *Golden Section* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah *non-linear*

programming dengan satu variable. Pada penelitian tersebut, pencarian parameter α menggunakan optimasi *Single Exponential Smoothing* dengan *golden section*. Pencarian parameter β menggunakan optimasi *Holt's Linear Method* dengan *golden section*. Kemudian integrasi *golden section* dengan *Holt-Winters* akan menghasilkan parameter γ . Namun demikian, hasil optimasi parameter dengan menggunakan *golden section* hanya dengan satu variabel belum dapat memastikan keoptimalan parameter untuk metode *Holt-Winters exponential smoothing*. Hal ini dikarenakan hasil optimasi parameter parameter α pada *Single Exponential Smoothing* belum tentu cocok dengan parameter yang dibutuhkan dalam metode *Holt-Winters exponential smoothing*.

Penelitian ini mengusulkan pendekatan baru untuk memprediksi penjualan mobil di Indonesia dengan mengintegrasikan *Holt-Winters exponential smoothing* dengan *Multivariable golden section*. *Multivariable golden section* yang digunakan pada penelitian ini merupakan perbaikan algoritma *golden section* untuk mengatasi optimasi pada n-variable yang diusulkan penelitian (Rani dkk., 2019). Metode *Multivariable golden section* digunakan untuk mendapatkan nilai parameter α , β , dan γ yang optimal sebagai parameter dari *Holt-Winters exponential smoothing*. Diharapkan dengan nilai parameter yang optimal, akan dihasilkan prediksi penjualan yang memiliki *error* yang kecil. Dengan demikian, penelitian ini berfokus pada pengembangan metode prediksi penjualan mobil di Indonesia yang lebih akurat dan efisien menggunakan metode *Multivariable golden section* untuk pengoptimalan nilai parameter pada metode *Holt-Winters exponential smoothing*.

METODE PENELITIAN

Data

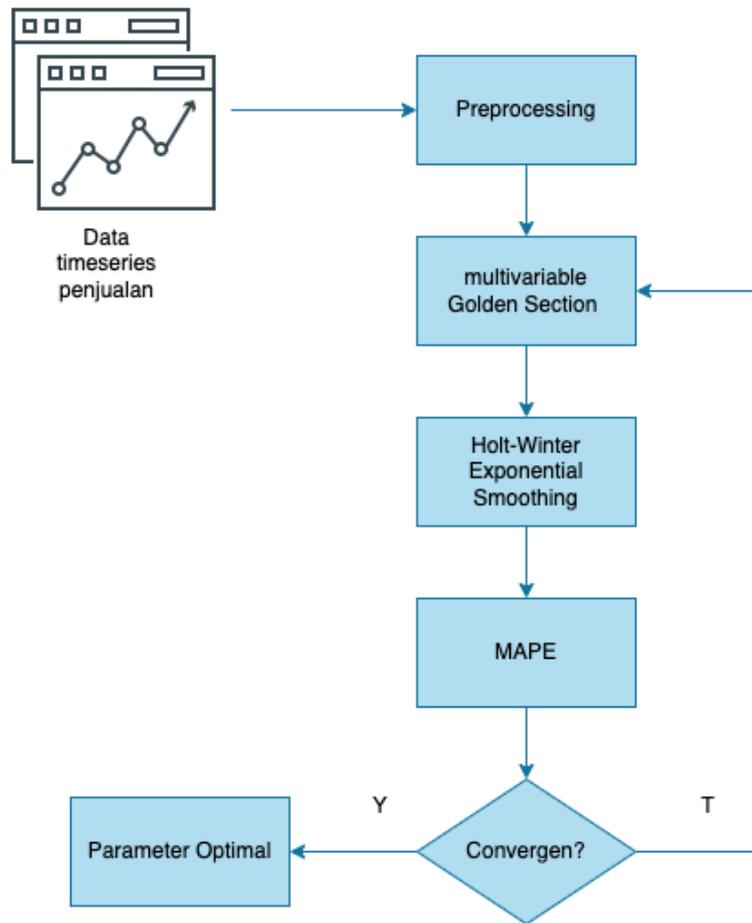
Data yang digunakan pada penelitian ini adalah berdasarkan data pada penelitian sebelumnya (Hani'ah, Putri, dkk., 2021) yaitu data penjualan mobil di Indonesia. Data didapatkan secara gratis pada situs Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia (Gaikindo). Data tersebut mencakup periode 9 tahun mulai dari Januari 2011 hingga Desember 2019. Dalam penelitian ini, hanya empat merek mobil yang digunakan, yaitu Toyota, Honda, Daihatsu, dan Suzuki.

Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini, diusulkan sebuah pendekatan baru untuk memprediksi penjualan mobil di Indonesia dengan melakukan integrasi antara *Holt-Winters exponential smoothing* dengan *Multivariable golden section*. Rangkaian tahapan dari metode penelitian yang diusulkan dapat dilihat pada gambar 1. Tahap pertama adalah (i) proses input data penjualan mobil, (ii) tahap kedua adalah tahap *preprocessing*, dan (iii) tahap ketiga adalah optimasi masing-masing parameter menggunakan metode *Multivariable golden section* untuk menghasilkan parameter optimal.

Tahap *Preprocessing*

Tahap pertama dari penelitian ini adalah tahap *preprocessing*, yang bertujuan untuk mempersiapkan data sebelum melakukan pencarian parameter yang optimal atau prediksi penjualan mobil. Pada tahap ini, data dikelompokkan berdasarkan merek mobil yang digunakan, yaitu Toyota, Honda, Daihatsu, dan Suzuki. Setelah dilakukan *preprocessing* didapatkan hasil data bersih sebanyak 108 bulan data dari tahun 2011 sampai dengan tahun 2019 Untuk tahap pelatihan, penelitian ini menggunakan data dari tahun 2011 hingga tahun 2018, sementara data tahun 2019 digunakan untuk tahap pengujian.



Gambar 1. Tahapan Metode Penelitian Yang Diusulkan

Multivariable Golden Section

Penemuan parameter α , β , γ optimal pada metode Holt – Winters exponential smoothing seringkali dengan menggunakan uji coba dengan *trial-error* (Dewi dan Listiowarni, 2020; Ririd dkk., 2021). Seringkali teknik uji coba dengan *trial-error* membutuhkan waktu yang lama karena harus menguji kemungkinan-kemungkinan yang optimal. Pada penelitian ini untuk mendapatkan parameter yang optimal dilakukan dengan menggunakan *multivariable golden section* (Rani dkk., 2019). Pada awalnya metode *golden section* hanya dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dengan satu variabel. Pada penelitian (Rani dkk., 2019) metode *golden section* dimodifikasi sehingga bisa digunakan untuk menemukan parameter untuk n-variabel (*multivariable*). Langkah-langkah *multivariable golden section* untuk optimasi tiga parameter adalah sebagai berikut (Rani dkk., 2019) :

Tentukan nilai batas atas (a), batas bawah (b), dan nilai toleransi (ϵ) untuk menghentikan iterasi. Pada penelitian ini digunakan $a=0$, $b=1$, dan nilai $\epsilon= 0.00000001$

Menentukan nilai Golden ratio

$$r = \frac{-1+\sqrt{5}}{2} \tag{1}$$

Menentukan nilai awal $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$

$$x_1 = a_1 + (1 - r) * b_1 - a_1, x_2 = a_1 + r * b_1 - a_1 \tag{2}$$

$$y_1 = a_2 + (1 - r) * b_2 - a_2, y_2 = a_2 + r * b_2 - a_2 \tag{3}$$

$$x_1 = a_3 + (1 - r) * b_3 - a_3, x_3 = a_3 + r * b_3 - a_3 \tag{4}$$

Dimana a adalah batas atas untuk parameter 1,2,3, $a_1 < x < b_1, a_2 < y < b_2, a_3 < z < b_3$

Dimana b adalah batas bawah untuk parameter 1,2,3

Aturan eliminasi wilayah batas atas dan batas bawah untuk fungsi multivariabel menggunakan nilai fungsi 2^n titik, untuk optimasi 3 parameter, maka nilai $n=3$ sehingga akan didapatkan 8 titik, yaitu

$$A(x_1, y_1, z_1), B(x_1, y_2, z_1), C(x_1, y_1, z_2), D(x_1, y_2, z_2), E(x_2, y_1, z_1), F(x_2, y_2, z_1), G(x_2, y_1, z_2), H(x_2, y_2, z_2)$$

Hitung fungsi untuk setiap titik yang dihasilkan, pada penelitian ini berdasarkan nilai MAPE yang dihasilkan oleh *Holt-Winters exponential smoothing*,

Untuk fungsi unimodal untuk minimalisasi menggunakan aturan berikut :

Jika $f(A) = \min\{f(A), f(B), f(C), f(D), f(E), f(F), f(G), f(H)\}$, maka eliminasi $x_2 < x < b_1$, $y_2 < y < b_2$, $z_2 < z < b_3$ sehingga $b_1 = x_2$, $b_2 = y_2$, $b_3 = z_2$

Jika $f(B) = \min\{f(A), f(B), f(C), f(D), f(E), f(F), f(G), f(H)\}$, maka eliminasi $x_2 < x < b_1$, $y_2 < y < y_1$, $z_2 < z < b_3$ sehingga $b_1 = x_2$, $a_2 = y_1$, $b_3 = z_2$

Jika $f(C) = \min\{f(A), f(B), f(C), f(D), f(E), f(F), f(G), f(H)\}$, maka eliminasi $x_2 < x < b_1$, $y_2 < y < b_2$, $a_3 < z < z_1$ sehingga $b_1 = x_2$, $b_2 = y_2$, $a_3 = z_1$

Jika $f(D) = \min\{f(A), f(B), f(C), f(D), f(E), f(F), f(G), f(H)\}$, maka eliminasi $x_2 < x < b_1$, $a_2 < y < y_1$, $a_3 < z < z_1$ sehingga $b_1 = x_2$, $a_2 = y_1$, $a_3 = z_1$

Jika $f(E) = \min\{f(A), f(B), f(C), f(D), f(E), f(F), f(G), f(H)\}$, maka eliminasi $a_1 < x < x_1$, $y_2 < y < b_2$, $z_2 < z < b_3$ sehingga $a_1 = x_1$, $b_2 = y_2$, $b_3 = z_2$

Jika $f(F) = \min\{f(A), f(B), f(C), f(D), f(E), f(F), f(G), f(H)\}$, maka eliminasi $a_1 < x < x_1$, $a_2 < y < y_1$, $z_2 < z < b_3$ sehingga $a_1 = x_1$, $a_2 = y_1$, $b_3 = z_2$

Jika $f(G) = \min\{f(A), f(B), f(C), f(D), f(E), f(F), f(G), f(H)\}$, maka eliminasi $a_1 < x < x_1$, $y_2 < y < b_2$, $a_3 < z < z_1$ sehingga $a_1 = x_1$, $b_2 = y_2$, $a_3 = z_1$

Jika $f(H) = \min\{f(A), f(B), f(C), f(D), f(E), f(F), f(G), f(H)\}$, maka eliminasi $a_1 < x < x_1$, $a_2 < y < y_1$, $a_3 < z < z_1$ sehingga $a_1 = x_1$, $a_2 = y_1$, $a_3 = z_1$

Jika $\sqrt{(b_1 - a_1)^2 + (b_2 - a_2)^2 + (b_3 - a_3)^2} < \varepsilon$ maka ulangi Langkah ketiga

Menetapkan nilai minimum diantara kombinasi

Jika $f(A) = \min\{f(A), f(B), f(C), f(D), f(E), f(F), f(G), f(H)\}$

maka nilai minimum: x_1, y_1, z_1

Jika $f(B) = \min\{f(A), f(B), f(C), f(D), f(E), f(F), f(G), f(H)\}$

maka nilai minimum: x_1, y_2, z_1

Jika $f(C) = \min\{f(A), f(B), f(C), f(D), f(E), f(F), f(G), f(H)\}$

maka nilai minimum: x_1, y_1, z_2 ,

Jika $f(D) = \min\{f(A), f(B), f(C), f(D), f(E), f(F), f(G), f(H)\}$

maka nilai minimum: x_1, y_2, z_2

Jika $f(E) = \min\{f(A), f(B), f(C), f(D), f(E), f(F), f(G), f(H)\}$

maka nilai minimum: x_2, y_1, z_1

Jika $f(F) = \min\{f(A), f(B), f(C), f(D), f(E), f(F), f(G), f(H)\}$

maka nilai minimum: x_2, y_2, z_1

Jika $f(G) = \min\{f(A), f(B), f(C), f(D), f(E), f(F), f(G), f(H)\}$

maka nilai minimum: x_2, y_1, z_2

Jika $f(H) = \min\{f(A), f(B), f(C), f(D), f(E), f(F), f(G), f(H)\}$

maka nilai minimum: x_2, y_2, z_2

Holt-Winters Exponential Smoothing

Holt-Winters exponential smoothing merupakan salah satu metode berbasis statistik yang dapat digunakan untuk melakukan prediksi pada data *time series*. Metode ini membutuhkan tiga buah parameter yaitu parameter α , β , γ yang bernilai 0–1. Parameter α merupakan konstanta pemulusan level, parameter β merupakan konstanta pemulusan trend, dan parameter γ merupakan konstanta pemulusan musiman. Berdasarkan pemodelan musiman *Holt-Winters exponential smoothing* memiliki dua buah pendekatan *Multiplicative Holt-Winters* (MHW) dan *Additive Holt-Winters* (AHW). Perbedaan dari kedua metode ini terdapat pada tahap pemulusan musiman dan prediksinya, dimana pada MHW dilakukan perkalian dengan faktor pemulusan sedangkan pada AHW dilakukan penjumlahan dengan faktor pemulusan. Berikut merupakan tahapan dari *Holt-Winters exponential smoothing* (Aini dkk., 2022; Togos dkk., 2023):

Menentukan nilai pemulusan level:

$$\ell_t = \alpha \frac{y_t}{s_{t-m}} + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1}) \quad (5)$$

Menentukan nilai pemulusan trend:

$$b_t = \beta^*(\ell_t - \ell_{t-1}) + (1 - \beta^*)b_{t-1} \quad (6)$$

Menentukan nilai pemulusan musiman dan prediksi:

Multiplicative Holt-Winters (MHW):

$$\text{Pemulusan musiman : } s_t = \frac{\gamma y_t}{\ell_{t-1} + b_{t-1}} + (1 - \gamma)s_{t-m} \quad (7)$$

$$\text{Prediksi: } \hat{y}_{t+h|t} = (\ell_t + b_t h) s_{t-m+h_m^+} \quad (8)$$

Additive Holt-Winters (AHW):

$$\text{Seasonal: } s_t = \gamma(y_t - \ell_{t-1} - b_{t-1}) + (1 - \gamma)s_{t-m} \quad (9)$$

$$\text{Prediksi: } \hat{y}_{t+h|t} = \ell_t + b_t h + s_{t-m+h_m^+} \quad (10)$$

Dimana : m adalah Panjang musim, ℓ_t merepresentasikan level, b_t pertumbuhan, s_t adalah komponen musim, $\hat{y}_{t+h|t}$ merupakan prediksi dengan h adalah periode kedepannya dan $h_m^+ = [(h - 1) \bmod m] + 1$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, digunakan data penjualan mobil pada empat merek mobil. Data yang telah terkumpul sebanyak 108 data. Dari total data tersebut, sebanyak 96 data digunakan untuk proses pelatihan, sementara 12 data lainnya digunakan untuk proses pengujian. Proses pelatihan dan pengujian dilakukan secara terpisah untuk setiap merek mobil yang diteliti, yaitu Toyota, Honda, Daihatsu, dan Suzuki.

Proses pelatihan dilakukan dengan menggunakan metode *Multiplicative Holt-Winters* (MHW) dan *Additive Holt-Winters* (AHW). Kedua metode tersebut membutuhkan parameter α , β ,

dan γ yang harus dioptimalkan agar menghasilkan hasil prediksi yang optimal. Pada penelitian ini, optimasi parameter dilakukan dengan menggunakan metode *Multivariabel golden section*, sehingga masing-masing data dilatih dengan menggunakan integrasi *Multiplicative Holt-Winters* dengan *Multivariabel golden section* (MHW-MGS) dan integrasi *Additive Holt-Winters* dengan *Multivariabel golden section* (AHW-MGS).

Dari hasil integrasi kedua metode tersebut, diperoleh parameter optimal untuk masing-masing merek mobil. Parameter yang optimal tersebut didapatkan dengan mencari nilai error terkecil menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebagai metrik evaluasi. Parameter yang optimal didapatkan berdasarkan kombinasi parameter dari *multivariabel Golden Section* yang memiliki MAPE terendah pada data pelatihan. Selanjutnya, parameter optimal yang diperoleh pada proses pelatihan, digunakan untuk melakukan prediksi pada data pengujian. Dari proses ini akan dihasilkan nilai prediksi selama 12 bulan. Nilai prediksi tersebut akan dibandingkan dengan nilai aktual dari data pengujian dan selanjutnya akan dievaluasi menggunakan metrik evaluasi yang sama, yaitu MAPE. Dengan demikian, dari proses ini dapat diketahui performa keakuratan model prediksi yang dihasilkan dan memastikan bahwa model tersebut dapat digunakan untuk memprediksi penjualan mobil di Indonesia dengan cukup akurat.

MAPE merupakan salah satu teknik untuk mengukur ketepatan prediksi dalam bentuk prosentase (Ahmed dkk., 2020). MAPE dihitung dengan cara menghitung rata-rata dari selisih hasil prediksi dengan nilai sebenarnya. Formula untuk menghitung MAPE dapat dilihat pada persamaan 11. Dimana y_i^* hasil prediksi penjualan, y_i merupakan data penjualan sebenarnya, dan N adalah jumlah keseluruhan data (Wei dkk., 2019).

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{y_i^* - y_i}{y_i} \right| \times 100\% \quad (11)$$

Nilai MAPE memiliki rentang dari 0% hingga 100%. MAPE perlu diinterpretasikan untuk mengetahui skala keakuratan model. Interpretasi ini digunakan untuk mengetahui kualitas dari model berdasar Nilai MAPE yang dihasilkan. Tabel 1 merupakan interpretasi nilai MAPE (Winoto & Roy, 2023), Berdasarkan tabel 1 diketahui bahwa nilai nilai MAPE kurang dari 10% dianggap model yang baik memiliki akurasi yang baik untuk prediksi, nilai 10 - 20% menunjukkan prediksi yang baik, nilai MAPE 20 - 50% menunjukkan prediksi dengan alasan yang artinya memungkinkan untuk perbaikan, sedangkan MAPE > 50% dianggap tidak akurat.

Tabel 1. Interpretasi Nilai MAPE

Sumber : (Winoto & Roy, 2023)

MAPE (%)	Interpretasi
< 10	Akutasi tinggi (<i>Highly Accurate Forecasting</i>)
11 - 20	Peramalan yang baik (<i>Good Forecasting</i>)
20 - 50	Peramalan dengan alasan (<i>Reasonable Forecasting</i>)
>50	Peramalan tidak akurat (<i>Inaccurate Forecasting</i>)

Tabel 2 dan Tabel 3 merupakan contoh data hasil uji coba prediksi penjualan mobil merek Toyota dengan menggunakan metode MHW-MGS dan AHW-MGS. Masing-masing proses optimasi baik menggunakan AHW ataupun MHW membutuhkan iterasi sebanyak 40 iterasi hingga didapatkan parameter yang optimal. Melalui kedua tabel tersebut, terlihat bahwa terdapat perbedaan nilai parameter α , β , γ yang digunakan pada kedua metode tersebut. Perbedaan ini dapat berpengaruh signifikan terhadap hasil prediksi dan keakuratan hasil prediksi yang dihasilkan, seperti yang ditunjukkan oleh nilai MAPE yang tercatat pada tabel. Semakin nilai MAPE mendekati 0 maka semakin akurat prediksi yang dihasilkan. Dengan kata lain, nilai-nilai parameter yang berbeda akan menghasilkan nilai prediksi yang berbeda pula, sehingga performa prediksi dapat dipengaruhi oleh pemilihan parameter yang tepat. Oleh karena itu, pemilihan parameter yang optimal pada metode AHW dan MHW menjadi hal yang sangat penting untuk memastikan prediksi penjualan mobil yang tepat.

Tabel 2. Pencarian Parameter Optimal Merek Toyota Menggunakan MHW-MGS

Iterasi	Parameter alpa	Parameter Beta	Parameter Gamma	MAPE
1	0.38196601	0.23606798	0.76393202	9.3501755
2	0.47213595	0.14589803	0.85410197	8.3017404
3	0.52786405	0.09016994	0.90983006	7.4584303
4	0.52786405	0.05572809	0.94427191	7.2103101
...
...
38	0.50598465	4.3701E-09	0.95915907	6.76149085
39	0.50598465	2.7009E-09	0.95915907	6.76149085
40	0.50598465	1.6692E-09	0.95915907	6.76149085

Tabel 3. Pencarian Parameter Optimal Merek Toyota Menggunakan AHW-MGS

Iterasi	Parameter alpa	Parameter Beta	Parameter Gamma	MAPE
1	0.38196601	0.23606798	0.76393202	8.66565089
2	0.47213595	0.14589803	0.85410197	7.48052817
3	0.47213595	0.09016994	0.90983006	6.48979055
4	0.47213595	0.05572809	0.94427191	6.134545
...
...
38	0.47383697	4.3701E-09	0.95637624	6.01566085
39	0.47383697	2.7009E-09	0.95637624	6.01566084
40	0.47383697	1.6692E-09	0.95637624	6.01566084

Tabel 4 menunjukkan hasil optimasi parameter α , β , γ dengan menggunakan MHW- MGS dan AHW- MGS. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa setiap merek mobil memiliki parameter optimal yang berbeda-beda, hal ini terjadi karena masing-masing merek memiliki pola data yang unik. Oleh karena itu, penting untuk melakukan optimasi parameter secara terpisah untuk setiap merek agar dapat menghasilkan model prediksi yang lebih akurat dan efektif. Dengan demikian, akan memungkinkan untuk menghasilkan nilai prediksi yang lebih baik dan meminimalkan kesalahan dalam memprediksi penjualan mobil pada masing-masing merek.

Model yang telah dibuat dengan menggunakan integrasi *Holt-Winters exponential smoothing* dengan *Multivariable golden section* harus dievaluasi untuk mengetahui seberapa akurat model yang dibuat. Untuk itu, hasil parameter pada tabel 4 digunakan untuk melakukan prediksi pada data pengujian. Hasil MAPE untuk masing-masing merek mobil dengan menggunakan metode MHW-MGS dan AHW-MGS terdapat pada tabel 5. Dari tabel 5, dapat dilihat bahwa rata-rata MAPE yang dihasilkan oleh metode MHW-MGS adalah 9.03%, sedangkan metode AHW-MGS memiliki MAPE sebesar 9.02%. Meskipun MHW-MGS memberikan hasil prediksi yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan AHW-MGS, namun kedua model tersebut memberikan MAPE kurang dari 10%. Hal ini menunjukkan bahwa model yang diusulkan dapat memberikan prediksi yang memiliki akurasi tinggi, sebagaimana dapat dilihat pada rentang skala akurasi yang tinggi pada tabel 1.

Tabel 4. Hasil Optimasi Parameter pada MHW dan AHW

Merek	MHW - MGS			AHW - MGS		
	Parameter alpa	Parameter Beta	Parameter Gamma	Parameter alpa	Parameter Beta	Parameter Gamma
Toyota	0.50598	1.67E-09	0.959159	0.47384	1.67E-09	0.95638
Honda	0.43070	1.67E-09	0.939336	0.10406	1.67E-09	1.00000
Daihatsu	0.03464	1.67E-09	0.326238	0.02875	1.67E-09	0.40325
Suzuki	1.00000	1.67E-09	0.357048	0.61803	1.67E-09	0.11226

Berdasarkan tabel 5 juga dapat dilihat hasil MAPE untuk setiap merek mobil, nilai MAPE terendah terdapat pada merek Toyota yang menggunakan metode AHW-MGS dengan nilai MAPE sebesar 6.02%, sementara nilai MAPE terbesar terdapat pada merek Honda yang

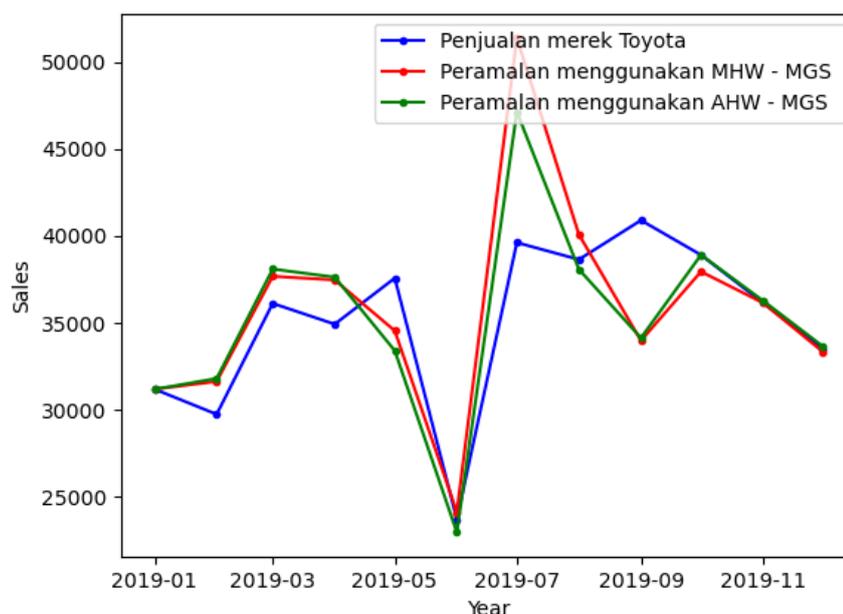
menggunakan metode MHW-MGS dengan nilai MAPE sebesar 12.98%. Terlepas dari perbedaan ini, nilai MAPE pada merek mobil Toyota, Daihatsu, dan Suzuki secara keseluruhan berada pada skala akurasi yang tinggi, sedangkan nilai MAPE pada merek Honda masih berada pada skala peramalan yang baik.

Tabel 5. Performa Metode Usulan

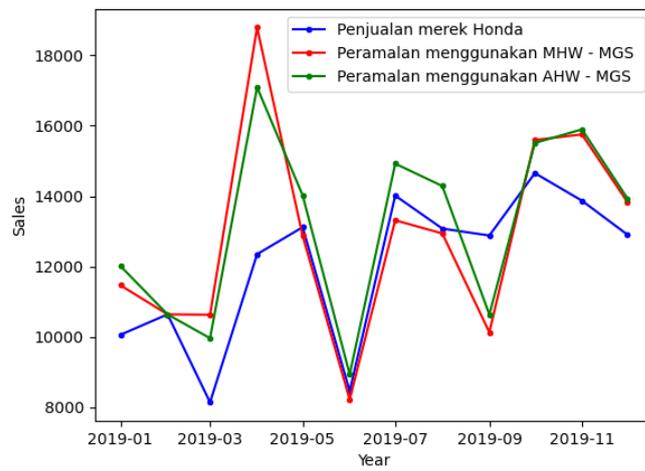
Merek	MAPE	
	MHW - MGS (%)	AHW - MGS (%)
Toyota	6.76	6.02
Honda	12.98	12.85
Daihatsu	7.93	7.28
Suzuki	8.43	9.95
Rata-rata	9.03	9.02

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas terkait hasil prediksi dari model yang diusulkan, diberikan grafik sebagai hasil visualisasi antara nilai prediksi dengan data penjualan sebenarnya (*actual data*). Hasil prediksi pada data pengujian dalam bentuk grafik ditunjukkan pada gambar 2. Garis warna biru adalah data penjualan yang sebenarnya, garis hijau merupakan hasil prediksi menggunakan MHW-MGS, sedangkan garis merah merupakan hasil prediksi menggunakan AHW-MGS. Pada grafik dapat dilihat bahwa hasil prediksi dari metode MHW-MGS dan AHW-MGS saling berdekatan yang artinya MHW-MGS dan AHW-MGS tidak memiliki banyak perbedaan performa.

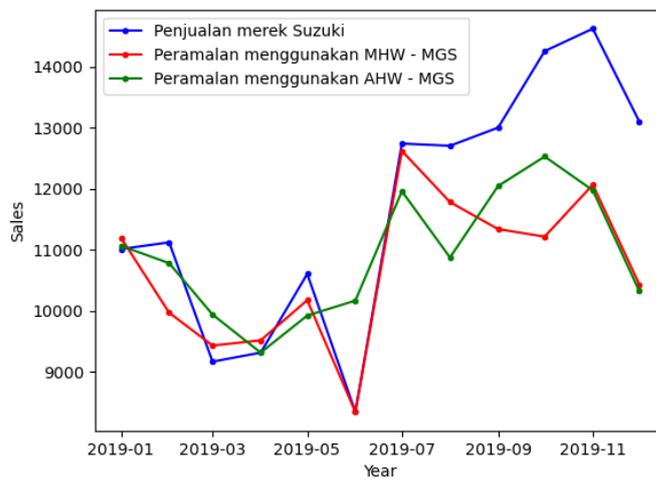
Setelah melakukan evaluasi terhadap model yang dibuat menggunakan integrasi *Holt-Winters exponential smoothing* dengan *Multivariable golden section*, percobaan selanjutnya adalah melakukan perbandingan nilai MAPE antara metode yang diusulkan dengan nilai MAPE yang dihasilkan oleh penelitian terdahulu. Perbandingan ini sangat penting untuk mengetahui seberapa unggul performa dari metode yang diusulkan jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Hasil perbandingan ini terdapat pada Tabel 6, di mana terdapat dua metode dari penelitian terdahulu yang dibandingkan dengan metode yang diusulkan. Pendekatan uji coba merupakan hasil dari penelitian (Ririd dkk., 2021), *Golden section – Holt winters* merupakan hasil dari penelitian (Hani'ah, Putri, dkk., 2021).



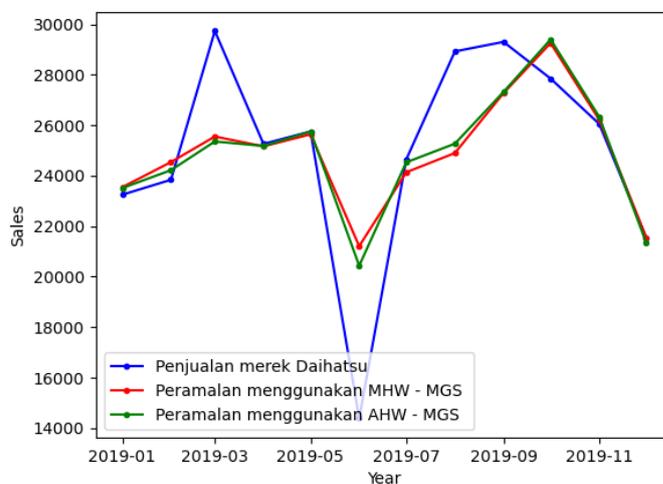
Gambar 2. Grafik Hasil Prediksi Pada Data Pengujian



Gambar 3. Grafik Hasil Prediksi Pada Data Pengujian



Gambar 4. Grafik Hasil Prediksi Pada Data Pengujian



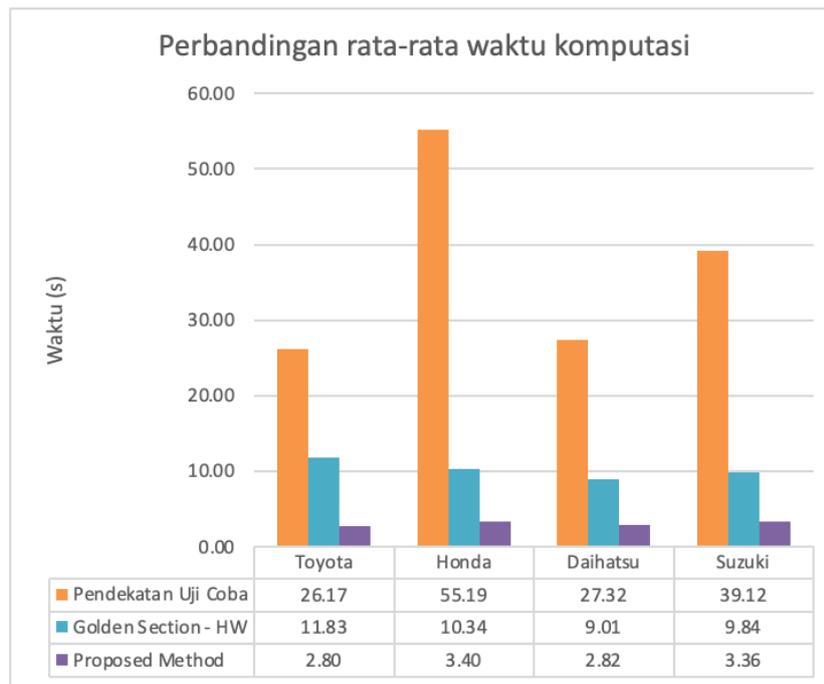
Gambar 5. Grafik Hasil Prediksi Pada Data Pengujian

Dari hasil perbandingan yang terdapat pada tabel 6, dapat dilihat bahwa metode yang diusulkan memiliki performa yang lebih unggul dibanding dengan penelitian sebelumnya. Hal ini terbukti dengan nilai MAPE yang lebih rendah dari metode usulan jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dengan melakukan optimasi parameter *Holt-Winters exponential smoothing* menggunakan metode *multivariable golden section*, dapat memperbaiki hasil prediksi jika dibandingkan penelitian (Hani'ah, Putri, dkk., 2021; Ririd dkk., 2021). Hal ini menunjukkan bahwa metode yang diusulkan memiliki performa dalam meningkatkan akurasi prediksi penjualan mobil Indonesia.

Tabel 6. Perbandingan Rata-Rata MAPE Metode Usulan Dengan Penelitian Terdahulu

Merek	Pendekatan Ujicoba – MHW (Ririd dkk., 2021)	Pendekatan Ujicoba - AHW (Ririd dkk., 2021)	Golden Section - MHW (Hani'ah, Putri, dkk., 2021)	Golden Section - AHW (Hani'ah, Putri, dkk., 2021)	Metode usulan MHW - MGS	Metode usulan AHW - MGS
Toyota	8.29	7.79	11.91	11.75	6.76	6.02
Honda	13.26	14.14	15.02	27.07	12.98	12.85
Daihatsu	12.17	12.11	17.29	20.06	7.93	7.28
Suzuki	9.76	9.86	68.55	34.25	8.43	9.95
Rata-rata	10.87	10.97	28.19	23.28	9.03	9.02

Untuk menguji lebih lanjut performa metode usulan, dilakukan pengujian waktu komputasi (*running time*) dengan cara membandingkan waktu komputasi metode usulan dengan penelitian sebelumnya (Hani'ah, Putri, dkk., 2021; Ririd dkk., 2021). Tujuan dari pengujian waktu komputasi ini adalah untuk mengetahui metode yang lebih efisien dari segi waktu dalam melakukan prediksi penjualan mobil. Hasil pengujian waktu komputasi direpresentasikan dalam bentuk grafik pada gambar 6. Waktu komputasi yang dibandingkan dalam satuan detik. Berdasarkan gambar 6, dapat terlihat bahwa metode yang diusulkan lebih unggul dengan waktu komputasi yang paling minimum. Keunggulan ini disebabkan karena metode yang diusulkan dapat memberikan nilai parameter α , β , γ dalam satu proses eksekusi dengan rata-rata iterasi pada proses pelatihan sebanyak 40 iterasi. Jumlah iterasi ini lebih rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Ririd dkk., 2021) yang memerlukan iterasi sebanyak 729 kombinasi nilai parameter α , β , γ , sehingga membuat pencarian parameter optimal menjadi lebih lama. Sementara itu, penelitian (Hani'ah, Putri, dkk., 2021) melakukan tiga kali eksekusi untuk mendapatkan parameter α , β , γ . Dimana setiap eksekusi akan melakukan iterasi untuk mendapatkan masing-masing parameter sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan metode usulan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa metode usulan tidak hanya memiliki performa prediksi yang lebih unggul, tetapi juga lebih efisien dari sisi waktu komputasi yang rendah dalam menghasilkan parameter optimal.



Gambar 6. Perbandingan Rata-Rata Waktu Komputasi Metode Usulan Dengan Penelitian Terdahulu

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan optimasi parameter *Holt-Winters exponential smoothing* dengan menggunakan metode *multivariable golden section*. Sebanyak empat merek mobil yang diuji yaitu Toyota, Honda, Daihatsu, dan Suzuki. Parameter yang dioptimasi adalah tiga buah parameter yang dibutuhkan oleh *Holt-Winters exponential smoothing* untuk melakukan prediksi, yaitu parameter α , β , dan γ . Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dapat memberikan rata-rata MAPE sebesar 9%, yang dapat dikatakan sebagai peramalan dengan akurasi yang tinggi. Selain itu, terlihat bahwa merek mobil Toyota merupakan merek mobil yang memiliki performa terbaik dengan MAPE terkecil yaitu rata-rata MAPE 6.4%, sedangkan merek mobil Honda memiliki rata-rata MAPE tertinggi sebesar 12.9%. Dalam penelitian yang dilakukan, tidak hanya dilakukan optimasi parameter *Holt-Winters exponential smoothing* dengan menggunakan metode *multivariable golden section*, tetapi juga dilakukan analisis terhadap performa prediksi penjualan mobil berdasarkan merek mobil yang diuji. Berdasarkan pengujian dapat disimpulkan bahwa metode usulan tidak hanya memiliki performa prediksi yang lebih unggul, tetapi juga lebih efisien dengan waktu komputasi yang rendah dalam menghasilkan parameter optimal.

Saran

Pada penelitian selanjutnya, untuk memberikan prediksi yang semakin akurat, dapat dilakukan dengan menggunakan fitur eksternal yang dapat mempengaruhi penjualan mobil. Beberapa fitur eksternal yang dapat digunakan adalah hari libur, promo (Chen dkk., 2018), dan juga opini masyarakat terhadap produk tersebut (Zhang dkk., 2022). Penggunaan fitur eksternal ini memungkinkan model untuk mendapatkan informasi tambahan berkaitan dengan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi penjualan, sehingga diharapkan dapat memberikan prediksi yang lebih akurat. Dengan demikian, penggunaan fitur eksternal dapat menjadi penelitian selanjutnya dalam pengembangan metode prediksi penjualan mobil.

REFERENSI

- Ahmed, R., Sreeram, V., Mishra, Y., & Arif, M. D. (2020). A Review And Evaluation Of The State-Of-The-Art In PV Solar Power Forecasting: Techniques And Optimization. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, *124*, 109792. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2020.109792>
- Aini, A. N., Intan, P. K., & Ulinuha, N. (2022). Predikisi Rata-Rata Curah Hujan Bulanan Di Pasuruan Menggunakan Metode Holt-Winters Exponential Smoothing. *JRST (Jurnal Riset Sains Dan Teknologi)*, *5(2)*, 117–122. <https://doi.org/10.30595/jrst.v5i2.9702>
- Anonim. (2018). *Industri Manufaktur akan Serap 17,98 Juta Tenaga Kerja di 2018*. <https://www.gaikindo.or.id/industri-manufaktur-akan-serap-1798-juta-tenaga-kerja-di-2018/>
- Bengkulu, U., Supratman, J. W., Limun, K., Muara, K., & Hulu, B. (2022). Peramalan Pertumbuhan Ekonomi Provinsi Bengkulu Menggunakan Single Moving Average, Single Eksponential Smoothing Dan Ensemble. *Teorema: Teori Dan Riset Matematika*, *7(1)*, 161–170. <https://doi.org/10.25157/TEOREMA.V7I1.7002>
- Chen, T., Yin, H., Chen, H., Wu, L., Wang, H., Zhou, X., & Li, X. (2018). TADA: Trend Alignment With Dual-Attention Multi-Task Recurrent Neural Networks For Sales Prediction. *Proceedings - IEEE International Conference On Data Mining, ICDM, 2018-November*, 49–58. <https://doi.org/10.1109/ICDM.2018.00020>
- Dewi, N. P., & Listiowarni, I. (2020). Implementasi Holt-Winters Exponential Smoothing Untuk Peramalan Harga Bahan Pangan Di Kabupaten Pamekasan. *Digital Zone: Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, *11(2)*, 219–231. <https://doi.org/10.31849/DIGITALZONE.V11I2.4797>
- Hani'ah, M., Kurniawan, Y., & Rozi, I. F. (2021). Live (Online--Java Exercise) Java Programming Language Learning System For Lab And Online Test. *Matrix: Jurnal Manajemen Teknologi Dan Informatika*, *11(1)*, 1–10.
- Hani'ah, M., Putri, I. K., & Ririd, A. R. T. H. (2021). Parameter Optimization Of Holt - Winters Exponential Smoothing Using Golden Section Method For Predicting Indonesian Car Sales. *Proceedings - IEIT 2021: 1st International Conference On Electrical And Information Technology*, 21–26. <https://doi.org/10.1109/IEIT53149.2021.9587379>
- Kumar Jha, B., & Pande, S. (2021). Time Series Forecasting Model For Supermarket Sales Using FB-Prophet. *Proceedings - 5th International Conference On Computing Methodologies And Communication, ICCMC 2021*, 547–554. <https://doi.org/10.1109/ICCMC51019.2021.9418033>
- Lee, Y. W., Tay, K. G., & Choy, Y. Y. (2018). Forecasting Electricity Consumption Using Time Series Model. *International Journal Of Engineering end Technology*, *7(4)*, 218–223.
- Makatjane, K., & Moroke, N. (2016). Comparative Study Of Holt-Winters Triple Exponential Smoothing And Seasonal Arima: Forecasting Short Term Seasonal Car Sales In South Africa. *Makatjane KD, Moroke ND*.
- Mayasari, K., Muljono, P., Fatchiya, A., Teknologi, B. P., & Jakarta, P. (2020). Kepuasan Pengguna Informasi Pertanian Dan Strategi Diseminasi Teknologi Pertanian Melalui Pemanfaatan Aplikasi Itani User Satisfaction Of Agriculture Information And Strategy Of

- Agricultural Technology Dissemination Through Itani Applications. *Jurnal Penyuluhan*, 16(1), 174–184. <https://doi.org/10.25015/16202029753>
- Nguyen, H. D., Tran, K. P., Thomassey, S., & Hamad, M. (2021). Forecasting And Anomaly Detection Approaches Using LSTM And LSTM Autoencoder Techniques With The Applications In Supply Chain Management. *International Journal Of Information Management*, 57, 102282. <https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2020.102282>
- Rani, G. S., Jayan, S., & Nagaraja, K. v. (2019). An Extension Of Golden Section Algorithm For N-Variable Functions With MATLAB Code. *IOP Conference Series: Materials Science And Engineering*, 577(1), 12175.
- Ririd, A. R. T. H., Hani'ah, M., & Putri, I. K. (2021). Peramalan Penjualan Mobil Menggunakan Holt–Winters Exponential Smoothing. *Sentia* 2021, 12(0). <http://sentia.polinema.ac.id/index.php/SENTIA2021/article/view/392>
- Saragih, F. A. (2018, Januari 17). Kapasitas Produksi Mobil Indonesia Tembus 2,2 Juta Unit. *Kompas*. <https://otomotif.kompas.com/read/2018/01/17/122310015/kapasitas-produksi-mobil-indonesia-tembus-22-juta-unit>
- Setya, V. H., 1, H., Dazki, E., & Artikel, R. (2023). Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Diet Terhadap Penderita Penyakit Jantung Menggunakan Metode TOPSIS. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(1), 183–191. <https://doi.org/10.33379/GTECH.V7I1.2013>
- Togos, K., Marpaung, P., Rusgiyono, A., & Wilandari, Y. (2023). Perbandingan Metode Holt Winter's Exponential Smoothing Dan Extreme Learning Machine Untuk Peramalan Jumlah Barang Yang Dimuat Pada Penerbangan Domestik Di Bandara Utama Soekarno Hatta. *Jurnal Gaussian*, 11(3), 439–446. <https://doi.org/10.14710/J.GAUSS.11.3.439-446>
- Verstraete, G., Aghezzaf, E. H., & Desmet, B. (2020). A Leading Macroeconomic Indicators'based Framework To Automatically Generate Tactical Sales Forecasts. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106169. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2019.106169>
- Wei, N., Li, C., Peng, X., Zeng, F., & Lu, X. (2019). Conventional Models And Artificial Intelligence-Based Models For Energy Consumption Forecasting: A Review. *Journal Of Petroleum Science And Engineering*, 181, 106187. <https://doi.org/10.1016/J.PETROL.2019.106187>
- Winoto, A. A., & Roy, A. F. V. (2023). Model Of Predicting The Rating Of Bridge Conditions In Indonesia With Regression And K-Fold Cross Validation. *International Journal Of Sustainable Construction Engineering And Technology*, 14(1), 249–259. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2023.14.01.022>
- Zhang, M., Xu, H., Ma, N., & Pan, X. (2022). Intelligent Vehicle Sales Prediction Based On Online Public Opinion And Online Search Index. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 10344, 14(16), 10344. <https://doi.org/10.3390/SU141610344>