

Prediksi Curah Hujan Berdasarkan Analisis Deret Waktu di PIT A, B, dan C PT. Darma Henwa Kalimantan Timur

YUNITA KHUSMIAWATI, HAERUDDIN, JANUAR FERY IRAWAN

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Email: haeruddin@unej.ac.id

ABSTRAK

Curah hujan berpengaruh terhadap kegiatan operasional pertambangan, termasuk di PT. Darma Henwa site Bengalon yang memiliki tiga pit. Curah hujan tinggi sering menyebabkan genangan air pada area tambang, terganggunya kegiatan produksi, dan mempengaruhi keselamatan kerja. Oleh karena itu dibutuhkan prediksi curah hujan sesuai karakteristik wilayah untuk mendukung perencanaan operasional. Salah satu metode prediksi yang efektif adalah deret waktu dengan pendekatan seperti *Moving average* (MA), *Weights moving average* (WMA), dan *Exponential Smoothing*. Berdasarkan analisis pada Pit A, B, dan C, metode terbaik untuk analisis pola curah hujan adalah *weights moving average* [1,2,3] karena memiliki rata-rata *error* terkecil yaitu berkisar 0,90-1,35. Prediksi curah hujan dengan metode *exponential smoothing* didapatkan hasil antara 2,40-7,63mm dan tergolong sedang untuk wilayah Bengalon dengan grafik stabil. Metode prediksi terbaik adalah kombinasi *weights moving average* [1,2,3] dengan MAE 1,14; MSE 3,34; RMSE 1,77; MAPE 20,14% dan *exponential smoothing* dengan MAE 2,04; MSE 6,64; RMSE 2,54; MAPE 18,52%. Kombinasi kedua metode tersebut dapat meningkatkan akurasi dalam prediksi curah hujan di Site Bengalon PT. Dharma Henwa, Kalimantan Timur.

Kata kunci: curah hujan, prediksi, metode deret waktu, Bengalon.

ABSTRACT

Rainfall has a significant impact on mining operations, including at PT Darma Henwa Bengalon site which has three pits. High rainfall causes puddles at the front, disrupting production, and safety risk. Rainfall prediction is needed according to improve operational planning. One effective prediction method is time series with model as *Moving average* (MA), *Weights moving average* (WMA), and *Exponential Smoothing*. Based on the analysis of Pit A, B, and C, the best method for analyzing rainfall patterns is *weights moving average* [1,2,3] because has a small average error in 0.90-1.35. Rainfall prediction using *exponential smoothing* has results 2.40-7.63 mm classified as moderate rainfall with stable graphics. The best prediction method is a combination of *weights moving average* [1,2,3] with MAE of 1.14; MSE 3.34; RMSE 1.77; MAPE 20.14% and *exponential smoothing* with MAE 2.04; MSE 6.64; RMSE 2.54; MAPE 18.52%. The combination of both methods can improve the accuracy of rainfall prediction.

Keywords: Rainfall, prediction, time series method, Bengalon

1. PENDAHULUAN

Curah hujan menjadi salah satu faktor alam dengan dampak yang signifikan terhadap kegiatan pertambangan. Curah hujan frekuensi tinggi menyebabkan tanah tidak dapat menampung air sehingga air akan mengalir tipis di permukaan tanah atau *run off* (Ardiansyah, 2021). Akibatnya akan menghambat kegiatan produksi secara sementara, kerusakan alat, hingga risiko keselamatan bagi pekerja tambang. Kondisi front penambangan yang terlalu banyak air menghambat kegiatan operasi tambang sehingga kurang maksimal dalam pencapaian target produksi. Salah satu solusi yang dapat dilakukan yaitu menerapkan metode prediksi curah hujan berbasis data (Dianmahendra, 2021).

Prediksi curah hujan menjadi aspek penting dalam akurasi informasi cuaca dan iklim (Kurnia, 2022). Prediksi curah hujan dilakukan untuk mengidentifikasi pola curah hujan sehingga kegiatan produksi dapat optimal. Kajian lebih lanjut terkait prediksi curah hujan secara akurat dapat dijadikan sebagai salah satu cara untuk mengendalikan air limpasan yang masuk ke bukaan tambang agar proses penambangan tidak terganggu (Syarifuddin, 2017). Hujan menjadi bagian dari siklus hidrologi yang dipicu oleh perubahan parameter cuaca secara signifikan. Beberapa perusahaan pertambangan di Indonesia harus mulai memberikan perhatian khusus terhadap curah hujan setiap tahunnya agar dapat mengendalikan jumlah air yang masuk dan keluar di *front* penambangan melalui prediksi curah hujan menggunakan metode yang tepat.

PT. Darma Henwa Tbk (DEWA) merupakan perusahaan pertambangan di Indonesia dengan beberapa *project* salah satunya berada di Bengalon, Kalimantan Timur. Pada *project* ini, DEWA sebagai kontraktor dalam kegiatan penambangan batubara sistem tambang terbuka. Lokasi penambangan dari PT. Darma Henwa Tbk Bengalon *Coal Project*, Kalimantan Timur termasuk wilayah dengan curah hujan yang cukup tinggi (Wijanarko, 2023). Pada tahun 2017, DEWA mencapai intensitas curah hujan tinggi dan pompa pada saat itu tidak bekerja dengan baik, menyebabkan genangan air meluap dari sump dan menenggelamkan front penambangan (Maryenti & Murad, 2020). Hal ini menyebabkan proses produksi terpaksa dihentikan yang berdampak pada kerugian waktu dan biaya secara signifikan. Situasi yang terjadi menunjukkan bahwa sistem penyaliran di DEWA kurang responsif dalam kondisi cuaca yang ekstrem. Berdasarkan situasi tersebut dibutuhkan solusi dalam meningkatkan sistem penyaliran tambang dan mendukung kelancaran sistem operasional melalui prediksi curah hujan menggunakan metode yang tepat dan akurat.

Banyak metode yang dapat digunakan dalam prediksi curah hujan menyesuaikan kondisi lingkungan pertambangan. Deret waktu merupakan salah satu pendekatan yang efektif dalam memprediksi curah hujan (Puspitasari dkk., 2019). Deret waktu menganalisis curah hujan periode pendek maupun panjang menyesuaikan kebutuhan. Pemodelan curah hujan di suatu wilayah cukup penting untuk perencanaan sumber daya air secara optimal di pertambangan (Hariadi, 2019; Prasetyo, 2023). Beberapa contoh metode deret waktu yang dapat digunakan prediksi curah hujan adalah *Moving average* (MA), *Weights moving average* (WMA), dan *Exponential Smoothing* (ES). Penggunaan metode ini dalam pertambangan diharapkan meningkatkan sistem penyaliran, mengoptimalkan kegiatan operasional, sebagai parameter target produksi berkala, dan meminimalkan potensi kecelakaan kerja sehingga perusahaan dapat mengambil keputusan yang lebih baik berbasis data.

Metode *Moving average* (MA), *Weights moving average* (WMA), dan *Exponential Smoothing* (ES) digunakan penelitian ini karena ketiga pendekatan tersebut merupakan metode yang sederhana dan efektif untuk melakukan prediksi dengan data historis bersifat fluktuatif seperti

curah hujan (**Saranyadevi, 2021**). Metode tersebut cocok diterapkan untuk wilayah PT. Darma Henwa dengan jenis operasional tambang terbuka yang dapat mengalami curah hujan tidak terduga sehingga berdampak pada kegiatan penambangan (**Reddy, 2017**). Metode MA digunakan untuk menghaluskan data dan melihat tren jangka pendek, WMA akan memberikan bobot pada data historis sehingga lebih peka terhadap perubahan yang terjadi, dan ES menyesuaikan bobot untuk menghasilkan prediksi lebih akurat. Ketiga metode tersebut akan dibandingkan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini yaitu memperoleh metode prediksi yang sesuai karakteristik curah hujan di PT. Darma Henwa *site* Bengalon, meningkatkan perencanaan sistem penyaliran dan operasional secara lebih optimal.

Beberapa studi yang telah dilakukan di PT. Darma Henwa terbatas pada variasi model pendekatan. Berdasarkan uraian diatas, menjadi motivasi melakukan penelitian terkait prediksi curah hujan di PT. Darma Henwa menggunakan analisis deret waktu. Penelitian ini akan mendeskripsikan keterkaitan metode deret waktu dalam prediksi curah hujan di PT. Darma Henwa sehingga dapat dikembangkan serta dibandingkan tingkat akurasi data hasil prediksi. Data hasil metode prediksi terbaik diharapkan dapat mengatasi permasalahan pada penyaliran tambang dan menjadi salah satu parameter penentuan target produksi perusahaan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di PT. Darma Henwa *site* Bengalon yang secara administrasi terletak di Desa Sepaso Timur, Kecamatan Bengalon, Kabupaten Kutai Timur, Kalimantan Timur dapat dilihat Gambar 1. Secara astronomis terletak antara 113°44" Bujur Timur dan 119°00" Bujur Timur serta diantara 2°33" Lintang Utara dan 2°25" Lintang Selatan. Stratigrafi lokasi penelitian dibagi menjadi 4 satuan batuan, yaitu satuan batu pasir Balikpapan dan satuan batu lempung Balikpapan Miosen Tengah-Miosen Akhir, satuan timbunan tambang dan satuan timbunan reklamasi yang berumur Holosen. Struktur geologi pada daerah penelitian yaitu terdapat sesar turun berarah tenggara-barat laut.



Gambar 1. Lokasi penelitian di PT. Darma Henwa site Bengalon

PT. Darma Henwa *site* Bengalon memiliki iklim tropis dengan dua musim utama yaitu musim hujan dan musim kemarau. Curah hujan tinggi terutama terjadi pada bulan-bulan musim hujan, biasanya dari November hingga April. PT. Darma Henwa *site* Bengalon memiliki 3 pit yang aktif beroperasi yaitu Pit A, B, dan C dengan kondisi karakteristik wilayah yang cukup berbeda. Pit A memiliki topografi curam dengan intensitas curah hujan cukup tinggi sehingga

rawan bencana longsor dan erosi. Pit B berada pada lokasi yang lebih datar daripada Pit A, sehingga rentan terhadap genangan air selama curah hujan tinggi. Pit A, B, dan C memiliki lokasi cukup berdekatan tetapi analisis prediksi curah hujan tetap dilakukan pada setiap pit untuk mengetahui model pendekatan terbaik dan meminimalkan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil prediksi seperti ketinggian, vegetasi, dan pola angin.

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis yaitu mengidentifikasi permasalahan yang dihadapi PT. Darma Henwa *site* Bengalon yang terkait prediksi curah hujan untuk mendukung perencanaan sistem penyaliran di Pit A, B, dan C. Tujuan penelitian ini untuk meningkatkan sistem penyaliran tambang dan meminimalkan potensi genangan air yang terjadi selama musim hujan berlangsung dengan melakukan pengujian pada beberapa metode prediksi curah hujan menggunakan analisis deret waktu. Data curah hujan dikumpulkan dan diolah menggunakan *software jupyter notebook* dan bahasa *python*. Hasil prediksi dilakukan analisis melalui perbandingan dengan pola data aktual dan pengukuran akurasi prediksi untuk mengetahui kemampuan metode. Hasil tersebut diharapkan dapat meningkatkan sistem penyaliran di PT. Darma Henwa *site* Bengalon lebih adaptif terhadap perubahan cuaca, meminimalkan risiko operasional, dan meningkatkan keselamatan pekerja.

2.2 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Penelitian ini menggunakan data rata-rata curah hujan historis di Pit A dan B tahun 2013-2023 dan Pit C tahun 2019-2023 PT. Darma Henwa *site* Bengalon. Penggunaan data rata-rata ini cocok digunakan untuk prediksi jangka pendek dapat mengidentifikasi tren curah hujan lebih jelas sehingga meminimalkan risiko akibat perubahan cuaca (**Wahyudi, 2022**). Data penelitian diperoleh dari berbagai sumber seperti informasi perusahaan, *website* Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), jurnal, buku, dan penelitian terdahulu.

Data curah hujan historis Pit A, B, dan C diolah menggunakan *software jupyter notebook* dengan bahasa *Python*. Data historis tersebut dikelompokkan sesuai periode yaitu per bulan dan dianalisis menggunakan metode *Moving Average* (MA) dan *Weights Moving Average* (WMA) untuk mengidentifikasi pola curah hujan dan perubahan iklim selama beberapa tahun kemudian dilakukan pendekatan *Exponential Smoothing* (ES) untuk prediksi curah hujan pada periode mendatang. Hasil dari masing-masing metode dilakukan evaluasi untuk mengetahui tingkat kemampuan dan akurasi menggunakan *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Squared Error* (MSE), *Root Mean Squared Error* (RMSE), dan *Mean Absolute Percent Error* (MAPE).

2.3 Metode Prediksi Curah Hujan

Metode deret waktu (*time series*) memprediksi menggunakan data historis dan menghasilkan asumsi bahwa yang terjadi di masa depan merupakan pola dari masa lalu (**Render, 2012**). Metode ini banyak digunakan berbagai sektor karena hasil akurat dan periode menyesuaikan kebutuhan. Model deret waktu membaca pola musiman yang terjadi pada data curah hujan historis sehingga membuat pola baru di masa depan dengan periode tertentu (**Yuliantin dkk., 2023**). Deret waktu (*time series*) dapat menjadi alternatif metode prediksi curah hujan di pertambangan untuk solusi masalah yang terjadi. Berikut metode prediksi curah hujan deret waktu yang dapat digunakan antara lain:

1. Metode *Moving average* (MA)

Metode *moving average* merupakan model yang berfokus pada fluktuasi data. Metode *moving average* meratakan data dan mengurangi fluktuasi jangka pendek. Menurut **Sudibyo (2020)** hasil analisis *moving average* lebih rinci daripada *autoregresif* karena cenderung memperhatikan *error* data dan dapat dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$F_1 = \frac{(Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_2)}{N} \quad (1)$$

Keterangan:

- F_1 = hasil peramalan untuk periode t (mm)
 N = jumlah periode
 Y_t = data historis (mm)
 $Y_{t-1} \dots Y_2$ = data historis periode 2 hingga t-n (mm)

2. Metode *Weights moving average* (WMA)

Metode *Weights moving average* merupakan salah satu model identifikasi pola curah hujan dengan memberikan bobot berbeda dan lebih tinggi pada setiap data. Bobot yang lebih besar membuat metode ini lebih responsif, sehingga tren yang berkembang dapat terdeteksi lebih cepat. Menurut **Sylvia (2022)** metode *Weights moving average* dapat ditulis secara matematis pada Persamaan 2.

$$F_1 = \frac{(w_1 Y_t + w_2 Y_{t-1} + w_3 Y_{t-2})}{\sum w} \quad (2)$$

Keterangan:

- F_1 = hasil peramalan untuk periode t (mm)
 w_1, w_2, w_3 = bobot diberikan pada nilai-nilai data
 Y_t = data historis periode t (mm)
 Y_{t-1} = data historis periode t-1 (mm)
 Y_{t-2} = data historis periode t-2 (mm)
 w = bobot yang diberikan

3. Metode *Single Exponential Smoothing* (SES)

Metode *Single Exponential Smoothing* adalah salah satu metode dalam analisis deret waktu untuk meramalkan data dengan pola acak sederhana periode jangka pendek karena kurang mampu menangkap pola musiman yang berubah seiring waktu. Menurut **Sudibyo (2020)** metode ini memberi bobot berupa *level* (α) dan dapat ditulis pada Persamaan 3.

$$F_t = \alpha A_{t-1} + (\alpha - 1) F_{t-1} \quad (3)$$

Keterangan:

- F_t = prediksi baru (mm)
 $F_{(t-1)}$ = prediksi sebelumnya (mm)
 α = konstanta penghalus ($0 < \alpha < 1$)
 $A_{(t-1)}$ = data aktual periode sebelumnya (mm)

2.4 Pengukuran Tingkat Akurasi

Setiap metode prediksi memiliki kemampuan bervariasi sehingga menghasilkan data dengan memiliki tingkat akurasi berbeda. Menurut **Chicco (2021)** nilai *error* yang semakin mendekati aktual maka kemampuan metode tersebut baik dan dapat digunakan secara berkelanjutan sehingga dapat dihitung menggunakan Persamaan 4 sampai 7.

$$\text{forecast error} = \text{nilai aktual} - \text{nilai prediksi} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{\sum |\text{forecast error}|}{n} \quad (5)$$

$$MSE = \frac{\sum (\text{forecast error})^2}{n} \quad (6)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{\text{forecast error}}{\text{actual}} \right| \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan:

MAE = Mean Absolute Error

MSE = Mean Squared Error

MAPE = Mean Absolute Percentage Error

n = jumlah data

Nilai prediksi yang semakin mendekati aktual berarti kemampuan metode semakin baik. Menurut **Chicco (2021)** range nilai MAPE dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Range nilai MAPE

Range MAPE (%)	Keterangan
<10	Model prediksi sangat baik
10-20	Model prediksi baik
20-50	Model prediksi layak
≥50	Model prediksi buruk

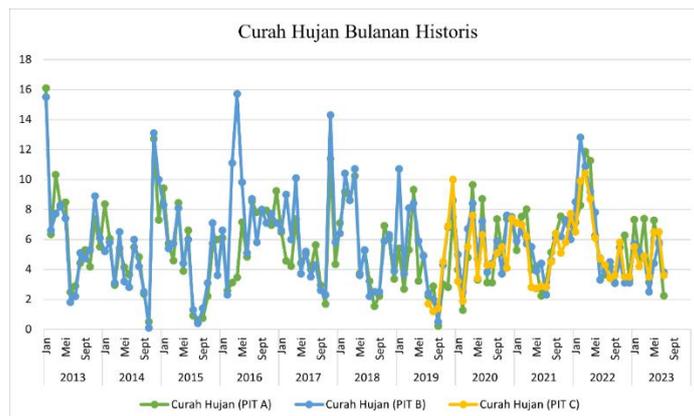
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Curah Hujan Aktual di PT. Darma Henwa Site Bengalon

PT. Darma Henwa *site* Bengalon memiliki 3 pit aktif beroperasi yaitu Pit A, B, dan C dengan karakteristik wilayah yang berbeda. Topografi Pit A curam dengan intensitas curah hujan cukup tinggi sehingga rawan longsor dan erosi. Pit B berada pada lokasi yang lebih datar daripada Pit A, sehingga rentan terhadap genangan air selama musim hujan. Sistem drainase dan analisis curah hujan yang tepat diperlukan dalam mengurangi dampak tersebut. Topografi Pit C sama dengan Pit A yang berbukit dan rentan terjadi longsor pada lereng tertentu. Curah hujan tinggi membutuhkan analisis lanjutan untuk mengetahui Model prediksi yang tepat sehingga dapat meningkatkan sistem penyaliran dan perencanaan mitigasi risiko tambang.

Lokasi Pit A, B, dan C cukup berdekatan tetapi analisis prediksi curah hujan dilakukan pada setiap pit untuk mengetahui model pendekatan terbaik dan meminimalkan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil prediksi seperti ketinggian, vegetasi, dan pola angin. Data curah hujan setiap pit diolah dengan analisis deret waktu yang terdiri dari beberapa model pendekatan sehingga dapat mengidentifikasi perbedaan data hasil prediksi. Sebaran data curah hujan historis setiap pit bervariasi sehingga divisualisasikan untuk mengetahui perubahan intensitas dan distribusi curah hujan dari tahun ke tahun dapat dilihat Gambar 2.

Prediksi Curah Hujan Berdasarkan Analisis Deret Waktu di Bengalon Coal Project PT. Darma Henwa Kalimantan Timur



Gambar 2. Grafik curah hujan bulanan historis Pit A, B, dan C

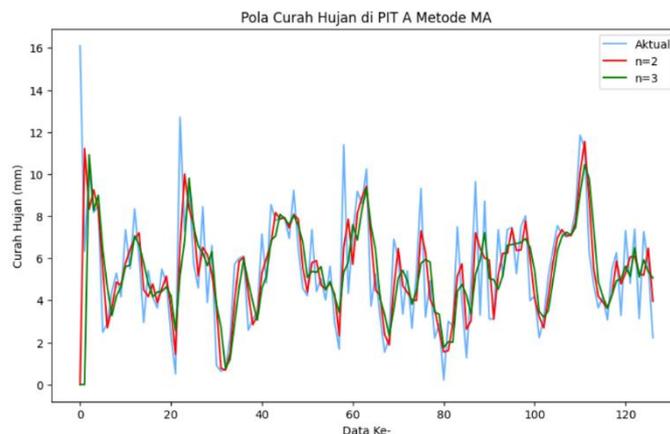
Penelitian ini hanya menggunakan data rata-rata curah hujan historis Pit A, B, dan C di PT. Darma Henwa *site* Bengalon. Penggunaan data rata-rata ini cocok digunakan untuk prediksi jangka pendek karena mengidentifikasi tren curah hujan lebih jelas sehingga meminimalkan risiko kesalahan pengambilan keputusan akibat perubahan cuaca (**Wahyudi, 2022**). Curah hujan yang berlangsung pada ketiga pit bervariasi dan terdapat beberapa puncak hujan di bulan tertentu. Garis hijau menunjukkan curah hujan di Pit A tahun 2013-2023 diidentifikasi memiliki pola bervariasi curah hujan tinggi dan rendah terjadi secara bergantian. Garis biru merupakan data curah hujan bulanan historis pada Pit B tahun 2013-2023. Secara umum, pola curah hujan Pit B serupa dengan Pit A terdapat fluktuasi curah hujan yang cukup tajam pada beberapa periode. Garis kuning merupakan curah hujan historis Pit C tahun 2019-2023 menunjukkan pola bervariasi dengan beberapa puncak hujan yang signifikan pada awal sampai tengah periode.

3.2 Analisis Pola Curah Hujan Menggunakan Metode *Moving average* (MA)

Metode *moving average* digunakan untuk mengidentifikasi pola data historis curah hujan dengan menghitung rata-rata dari beberapa data pada periode tertentu. Hasil metode ini dipengaruhi oleh periode yang digunakan. Semakin besar periode yang digunakan maka akan semakin lambat metode dalam respon data (**Nurfaidah, 2023**). Penggunaan periode pada metode ini dapat menjadi salah satu parameter tingkat akurasi data hasil, sehingga sangat diperhatikan dalam penggunaannya.

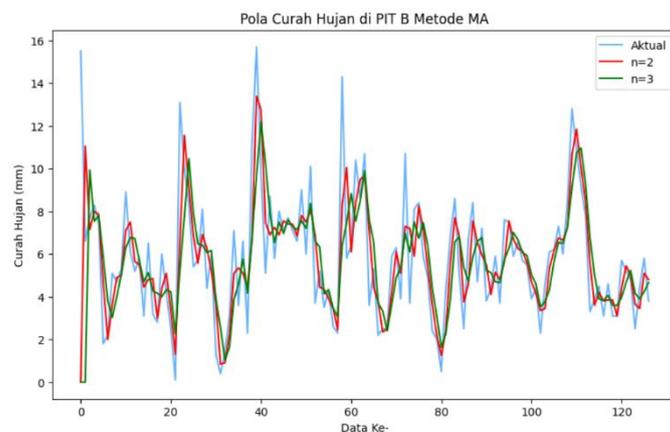
Pendekatan kali ini menggunakan *window* 2 dan 3 untuk mengetahui pengaruh periode terhadap hasil prediksi dapat dilihat dari perbedaan antara pola hasil prediksi dan data sebenarnya. Perbandingan hasil identifikasi pola curah hujan kedua periode dapat digunakan untuk evaluasi kemampuan metode yang lebih sesuai dengan karakteristik data curah hujan di Pit A, B, dan C. Analisis pola curah hujan menggunakan *moving average* periode 2 dan 3 merujuk pada jumlah data untuk menghitung jumlah rata-rata yang bergerak yaitu dua atau tiga data terakhir. Periode ini dipilih karena bersifat sederhana dan mudah diimplementasikan serta lebih responsif terhadap perubahan data dibanding periode yang lebih panjang.

Analisis pola curah hujan menggunakan metode *moving average* diolah menggunakan *software jupyter notebook* dan pustaka bahasa *python*. Berikut hasil analisis pola curah hujan historis tahun 2023 disajikan bentuk grafik sehingga memudahkan dalam identifikasi pola curah hujan yang terjadi. Berikut grafik pola curah hujan Pit A dapat dilihat Gambar 3.



Gambar 3. Grafik pola curah hujan Pit A tahun 2013-2023 metode MA

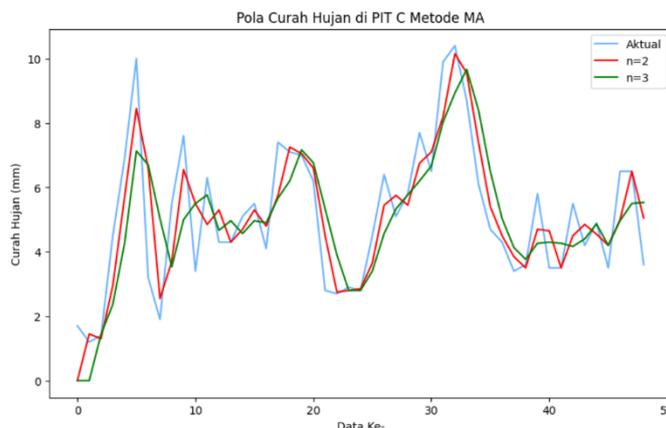
Gambar 3 menunjukkan pola curah hujan di Pit A dengan menggunakan periode 2 dan 3. Data historis curah hujan di pit A tahun 2013-2023 mencakup 127 data diolah menggunakan *software jupyter notebook*. Garis merah menunjukkan penggunaan periode 2 terlihat mengikuti pola-pola umum yang terjadi pada garis data aktual. Namun, pada beberapa titik mengalami fluktuasi dan ketidakcocokan data seperti garis aktual yang terletak jauh lebih tinggi, terutama terjadi pada puncak curah hujan. Secara keseluruhan grafik tersebut dapat diidentifikasi pola curah hujan yang terjadi sehingga metode *moving average* cukup baik digunakan di Pit A. Perbedaan hasil dapat terlihat pada penggunaan periode, penggunaan periode 2 lebih menghasilkan fluktuasi data yang lebih rendah daripada periode 3, sehingga identifikasi pola curah hujan di Pit A dengan metode *moving average* lebih baik menggunakan periode 2. Adapun visualisasi pola curah hujan yang terjadi di Pit B dapat dilihat Gambar 4.



Gambar 4. Grafik pola curah hujan Pit B tahun 2013-2023 metode MA

Pada Gambar 4 merupakan pola curah hujan di Pit B periode 2 dan 3. Grafik mengidentifikasi pola curah hujan 127 data historis curah hujan tahun 2013 sampai 2023. Sebagian besar pola umum pada garis data aktual diikuti oleh garis periode 2. Namun, beberapa titik memiliki fluktuasi cukup besar, seperti terlihat pada data pertama antara garis prediksi dan garis data aktual memiliki perbedaan. Hal ini berarti data aktual memiliki lonjakan yang jauh lebih tinggi dari hasil prediksi. Fluktuasi data yang cukup besar sering terjadi pada puncak curah hujan. Kedua garis prediksi menunjukkan pola fluktuasi data dari rendah ke tinggi. Grafik dengan penggunaan periode 3 lebih banyak ketidaksesuaian pada titik puncak curah hujan, terutama data ke-0 hingga ke-60. Berdasarkan uraian grafik tersebut, penggunaan metode *moving average* untuk analisis pola curah hujan di Pit B periode 2 terlihat mendekati garis data aktual

dibandingkan menggunakan periode 3 dengan kesalahan lebih sedikit pada titik-titik puncak curah hujan. Adapun visualisasi pola curah hujan yang terjadi di Pit C dapat dilihat Gambar 5.

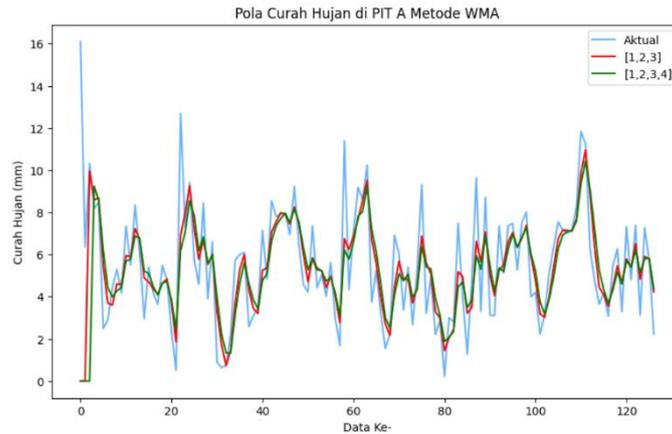


Gambar 5. Grafik pola curah hujan Pit C tahun 2013-2023 metode MA

Gambar 5 tersebut visualisasi terkait pola curah hujan di Pit C sebanyak 49 periode dengan cakupan data historis curah hujan tahun 2019-2023. Pada grafik dapat diidentifikasi bahwa garis periode 2 mampu mengikuti pola umum yang terjadi pada data aktual. Beberapa titik data terlihat kurang akurat antara garis aktual dan prediksi tetapi periode 2 menghasilkan fluktuasi lebih rendah daripada periode 3. Garis merah periode 2 terindikasi banyak mendekati garis data aktual terutama rentang data ke-10 sampai ke-40. Secara umum analisis pola curah hujan metode *moving average* pada Pit C cukup baik terlihat dari kemampuan menangkap pola umum curah hujan. Penggunaan metode *moving average* untuk pit C lebih baik dengan periode 2 karena menghasilkan data prediksi lebih mendekati data aktual daripada periode 3.

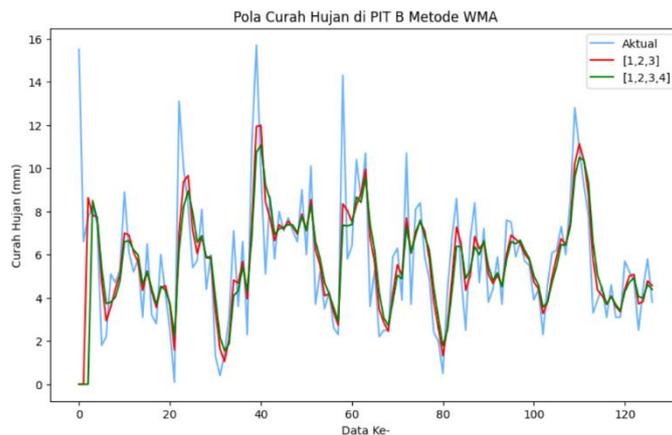
3.3 Analisis Pola Curah Hujan Metode *Weights moving average* (WMA)

Metode *weights moving average* memberikan bobot berbeda pada data historis, berbeda dengan *moving average* yang menggunakan bobot sama. Pengolahan data untuk metode *weights moving average* menggunakan *software jupyter notebook* tidak jauh berbeda dengan metode *moving average* dan hanya menambahkan beberapa langkah tambahan seperti memberi bobot yang berbeda pada setiap data uji. Pada penelitian ini metode *weights moving average* menggunakan 2 bobot yang berbeda yaitu [1, 2, 3] untuk 3 data terakhir dan [1,2,3,4] untuk 4 data terakhir. Penggunaan bobot ini untuk mengetahui pengaruh data historis terhadap nilai yang akan dihitung untuk menghasilkan data hasil lebih akurat dan responsif terhadap perubahan data. Penggunaan kedua bobot tersebut juga dianggap lebih relevan dalam analisis pola curah hujan karena bersifat linear dan bertahap. Berikut grafik terkait pola curah hujan yang terjadi pada Pit A dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik pola curah hujan Pit A tahun 2013-2023 metode WMA

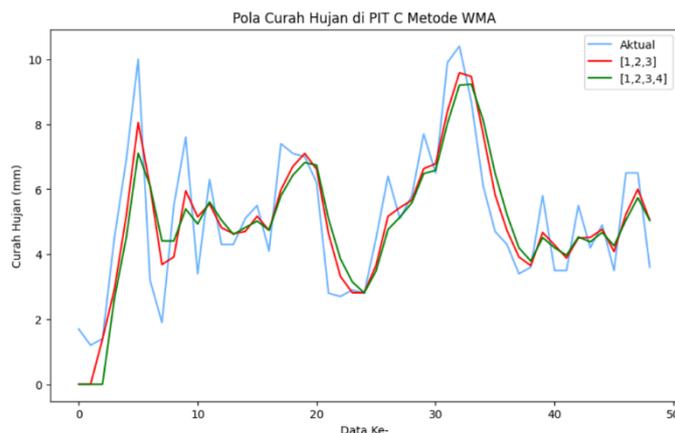
Gambar 6 menunjukkan cara kerja *weights moving average* menganalisis pola curah hujan di Pit A. Garis bobot [1,2,3] terlihat mengikuti beberapa pola curah hujan aktual garis biru. Namun, terdapat beberapa titik dengan perbedaan signifikan antara prediksi dan data aktual. Perbedaan yang terjadi tergolong wajar karena tidak terindikasi lonjakan yang tinggi dengan data aktual. Pada grafik dengan bobot [1,2,3] menghasilkan data yang lebih responsif terhadap data, sedangkan grafik dengan penggunaan bobot [1,2,3,4] menghasilkan garis lebih konstan namun masih memiliki beberapa titik data yang menciptakan perbedaan antara data aktual dan prediksi. Visualisasi pola curah hujan di Pit B disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik pola curah hujan Pit B tahun 2013-2023 metode WMA

Gambar 7 tersebut secara umum dapat diidentifikasi bahwa bobot [1,2,3] dapat mengikuti pola curah hujan aktual di garis biru. Namun, beberapa garis tidak akurat terutama pola curah hujan puncak dan menghasilkan perbedaan cukup besar dengan data aktual. Grafik tersebut memiliki garis aktual yang cukup bervariasi dengan garis prediksi mengikuti beberapa pola umum yang terjadi. Grafik dengan bobot [1,2,3] lebih responsif pada perubahan data yang terjadi sedangkan bobot [1,2,3,4] lebih lambat merespon perubahan data. Pola curah hujan yang terjadi pada Pit B lebih baik dilakukan analisis menggunakan metode *weights moving average* dengan penggunaan bobot [1,2,3] daripada bobot [1,2,3,4]. Pola curah hujan di Pit C dari 2019-2023 disajikan pada Gambar 8.

Prediksi Curah Hujan Berdasarkan Analisis Deret Waktu di Bengalon Coal Project PT. Darma Henwa Kalimantan Timur

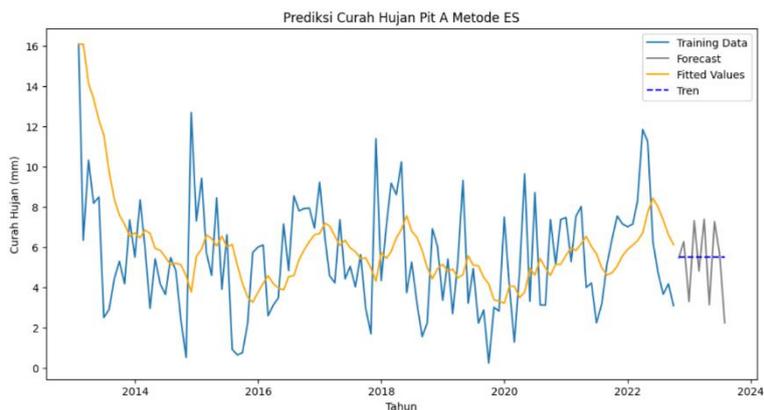


Gambar 8. Grafik pola curah hujan Pit C tahun 2013-2023 metode WMA

Gambar 8 menyajikan hasil prediksi curah hujan di Pit C menggunakan metode *weights moving average* dengan bobot yang berbeda. Grafik tersebut juga dapat diidentifikasi perbedaan hasil dari penggunaan dua bobot yang berbeda. Garis merah yang merupakan penggunaan bobot [1,2,3] terlihat berusaha mengikuti pola yang terjadi data curah hujan aktual yaitu titik biru. Namun, terdapat beberapa titik data yang kurang berhasil membaca pola data aktual terutama pada puncak dan lembah data. Beberapa titik data yang kurang berhasil dibaca polanya sehingga memiliki perbedaan yang cukup terlihat. Garis pola curah hujan menggunakan metode *weights moving average* cenderung lebih stabil sedangkan data aktual lebih fluktuatif dan menyebar. Grafik dengan bobot [1,2,3] cenderung lebih cepat merespon perubahan pola pada data sehingga lebih mengikuti beberapa pola umum yang terjadi. Grafik dengan bobot [1,2,3,4] cenderung kurang dalam merespon perubahan pola data yang mendadak sehingga membentuk garis yang cukup stabil dan halus.

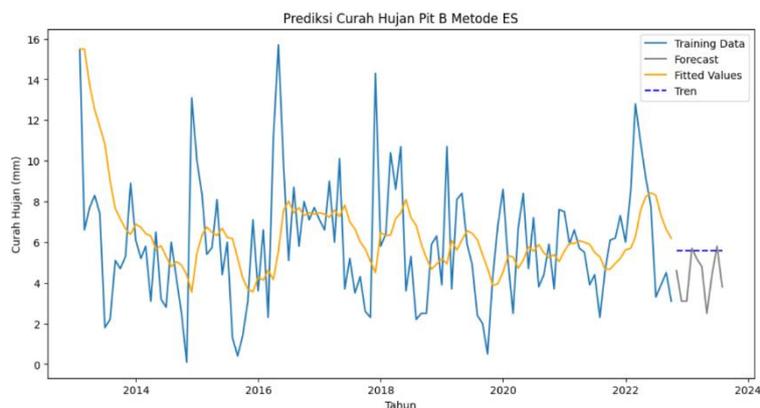
3.4 Prediksi Curah Hujan Menggunakan Metode Exponential Smoothing (ES)

Metode exponential smoothing memberikan bobot pada data lebih lama dan mampu membaca pola dan tren jangka pendek secara adaptif sehingga dapat menghasilkan data lebih akurat dan responsif terhadap perubahan pola curah hujan. Metode exponential smoothing dapat dilakukan dengan berbagai software seperti jupyter notebook pustaka python yaitu statmodels yang memiliki berbagai fungsi prediksi. Metode ini terdiri beberapa jenis seperti Simple Exponential Smoothing (SES) untuk data tanpa tren dan musiman, Double Exponential Smoothing (DES) untuk data dengan tren, dan Triple Exponential Smoothing (Holt-Winters) yang mempertimbangkan pola musiman. Penelitian ini hanya menyajikan metode simple exponential smoothing karena sesuai dengan jenis pola curah hujan historis setiap pit yang cenderung acak namun stasioner. Metode single exponential smoothing menghasilkan tingkat akurasi yang baik dan lebih efisien dalam melakukan prediksi (Fitria, 2018). Hasil prediksi mencakup 12 periode karena pola musiman yang terjadi setiap tahun, ketersediaan data bulanan, kemudahan interpretasi, kemampuan model menangkap tren musiman, dan relevansi untuk perencanaan jangka panjang sehingga praktis untuk satu siklus tahunan. Berikut grafik hasil prediksi curah hujan Pit A dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil prediksi curah hujan Pit A metode ES

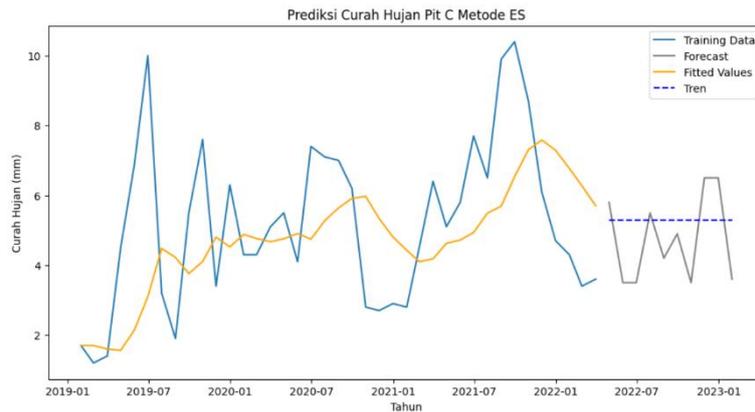
Berdasarkan Gambar 4.9 Grafik tersebut menggambarkan analisis prediksi curah hujan di Pit A menggunakan metode *Exponential Smoothing*. Data historis curah hujan ditampilkan dengan garis data aktual warna biru yang menunjukkan fluktuasi signifikan dari tahun 2013 hingga 2023. Untuk memuluskan data tersebut, digunakan *Exponential Smoothing* menghasilkan nilai pemulusan, ditunjukkan oleh garis oranye. Garis ini lebih halus, mencerminkan pola tren dan musiman curah hujan. Prediksi curah hujan untuk tahun 2023 hingga 2024 ditampilkan dengan garis abu-abu, yang menunjukkan pola serupa dengan tren historis, namun dengan fluktuasi yang lebih terkontrol. Selain itu, garis putus-putus biru merepresentasikan tren umum curah hujan yang cenderung stabil di masa depan. Secara keseluruhan, metode ini efektif dalam menyederhanakan data historis dan memberikan prediksi yang lebih terstruktur, sehingga dapat mendukung perencanaan operasional Pit A. Adapun visualisasi grafik hasil prediksi curah hujan di Pit B dapat dilihat Gambar 10.



Gambar 10. Hasil prediksi curah hujan Pit B metode ES

Gambar 10 menampilkan prediksi curah hujan di Pit B metode *Exponential Smoothing*. Garis data aktual memiliki fluktuasi signifikan, sedangkan garis oranye menunjukkan data yang telah dimuluskan. Hal ini terjadi karena metode *exponential smoothing* cenderung menghaluskan data dengan mengurangi perubahan ekstrem pada prediksi (Kahar, 2019). Prediksi tahun 2023-2024 ditampilkan garis abu-abu dengan pola lebih stabil, sementara garis putus-putus biru menunjukkan tren. Metode ini efektif menyederhanakan data historis dan memberikan gambaran tren curah hujan untuk mendukung perencanaan operasional Pit B. Grafik hasil prediksi curah hujan di Pit C dapat dilihat Gambar 11.

Prediksi Curah Hujan Berdasarkan Analisis Deret Waktu di Bengalon Coal Project PT. Darma Henwa Kalimantan Timur



Gambar 11. Hasil prediksi curah hujan Pit C metode ES

Gambar 11 menunjukkan bahwa data aktual curah hujan (garis biru) memiliki variasi besar dengan perubahan ekstrem di atas 8 mm, sedangkan garis prediksi (merah) cenderung stabil pada kisaran 4-6 mm. Setelah data ke-20, garis prediksi mengikuti tren penurunan curah hujan historis namun tetap stabil. Metode *exponential smoothing* efektif dalam memperkecil variasi data aktual dan menganalisis tren rata-rata jangka pendek, tetapi kurang mampu menangkap perubahan ekstrem. Pendekatan tambahan diperlukan untuk meningkatkan akurasi hasil.

3.5 Perbandingan akurasi hasil prediksi metode MA, WMA, dan ES

Perbandingan akurasi metode dilakukan untuk mengetahui kemampuan pendekatan dalam analisis data historis, termasuk tren jangka panjang dan fluktuasi musiman. Hasil prediksi dipengaruhi oleh pengolahan sebelumnya, *error* besar pada tahap ini dapat menyebabkan *error* besar pada pengujian data (Nurfaizin, 2023). Pemilihan metode disesuaikan tujuan dan kebutuhan operasional tambang. Perbandingan akurasi metode dapat dilihat Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan akurasi hasil prediksi metode MA, WMA, dan ES

PIT	Error	Moving average		Weights moving average		Exponential Smoothing
		n= 2	n= 3	[1,2,3]	[1,2,3,4]	
PIT A	MAE	1,36	1,57	1,22	1,51	1,98
	MSE	4,63	5,70	4,27	5,83	6,64
	RMSE	2,15	2,39	2,07	2,41	2,58
	MAPE (%)	16,71	16,25	16,13	15,48	17,68
PIT B	MAE	1,37	1,71	1,31	1,56	2,22
	MSE	4,70	6,41	4,53	5,87	8,48
	RMSE	2,17	2,53	2,13	2,42	2,91
	MAPE (%)	16,63	16,06	16,44	15,84	16,31
PIT C	MAE	0,84	1,21	0,90	1,09	1,91
	MSE	1,18	2,27	1,22	1,77	4,81
	RMSE	1,09	1,51	1,11	1,33	2,14
	MAPE (%)	27,01	24,25	27,86	26,01	21,56

Tabel 5 menunjukkan bahwa metode *weights moving average* bobot [1,2,3] memiliki kemampuan dalam prediksi curah hujan di seluruh pit dengan baik. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil akurasi yaitu kemampuan model dan jumlah data historis dalam pengolahan. Penggunaan kombinasi metode dalam prediksi curah hujan juga dapat digunakan untuk meningkatkan nilai akurasi data hasil. Kombinasi metode *weights moving average* bobot

[1,2,3] dan *exponential smoothing* dapat digunakan karena memiliki nilai akurasi yang cenderung kecil dan mendekati aktual.

4. KESIMPULAN

Metode terbaik untuk analisis pola curah hujan di Pit A, B, dan C PT. Dharma Henwa adalah *weights moving average* bobot [1,2,3] karena lebih responsif dalam mengidentifikasi perubahan pola yang berkembang. Hal ini dapat dilihat dari rata-rata *error* yang cenderung kecil berada direntang 0,90 sampai 1,35 serta hasil perhitungan akurasi meliputi MAE sebesar 1,14; MSE 3,34; RMSE 1,77; dan MAPE 20,14%. Penggunaan metode *weights moving average* bobot [1,2,3] dalam analisis pola curah hujan membantu perusahaan menentukan solusi sistem penyaliran di lingkungan pertambangan. Prediksi curah hujan menggunakan metode *exponential smoothing* pada Pit A,B, dan C memiliki hasil berbeda. Data hasil prediksi berkisar antara 2,40 mm sampai 7,63 mm tergolong sedang untuk wilayah Bengalon dengan grafik hasil prediksi juga cenderung lebih stabil. Faktor yang mempengaruhi hasil prediksi yaitu jumlah data historis yang digunakan dalam pengolahan. Semakin banyak data historis yang digunakan maka, kemampuan prediksi metode semakin baik dan membentuk pola baru untuk beberapa periode ke depan. Perhitungan akurasi dilakukan setiap metode dan pit sehingga menghasilkan data bervariasi. Akurasi yang mendekati aktual merupakan metode dengan kemampuan prediksi baik sehingga dapat disimpulkan bahwa kombinasi metode *weights moving average* bobot [1,2,3] dan metode *exponential smoothing* dengan MAE 2,04; MSE 6,64; RMSE 2,54; MAPE 18,52% dapat meningkatkan hasil prediksi sehingga lebih tepat dan akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh civitas akademik Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Jember dan teman-teman teknik pertambangan angkatan 2020 yang telah memberikan dukungan terhadap penyusunan penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Ardiansyah, M., Suyono, S., Titisariwati, I., Cahyadi, T. A., & Kresno, K. (2021). Analisis Perbandingan Perhitungan Curah Hujan Rencana Berdasarkan Periode Ulang Hujan Dengan Metode Gumbell, Metode Log Pearson III, Metode Iway Kadonya Studi Kasus Tambang Andesit. *Jurnal Inovasi Pertambangan dan Lingkungan*. 1(2), 52-58.
- Chicco, D., Warrens, M. J., & Jurman, G. (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *Peerj computer science*. 7: e623.
- Dianmahendra, D. (2021). Perencanaan Penyaliran Tambang di Wilayah Kerja Pt. Kideco Jaya Agung, Kecamatan Batu Sopang, Kabupaten Paser, Kalimantan Timur. *Bachelor's thesis*. Jakarta: Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah.

- Fitria, V.A. (2018). Parameter Optimization of Single Exponential Smoothing Using Golden Section Method for Groceries Forecasting. *Jurnal Sains, Matematika, dan Terapan*, 4(2), 89-97.
- Hariadi, V., Saikhu, A., Zakiya, N., Wijaya, A. Y., & Baskoro, F. (2019). Multivariate Time Series Forecasting Using Recurrent Neural Networks for Meteorological Data. *In Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Kedirgantaraan, Senatik*. (5).
- Kahar, L. B. (2019). Prediksi curah hujan menggunakan Algoritma Additive Holt-Winter dengan optimalisasi nilai parameter penghalus. *Doctoral dissertation*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Kurnia, W. G. (2022). Prediksi Curah Hujan Bulanan Menggunakan Multi Prediktor Di Zom 313 Sulawesi Tenggara. *Megasains*. 13(1), 1-5.
- Maryenti, N. R., & Murad, M. (2020). Evaluasi Penyaliran di Pit A, sebagai Proyeksi Aktivitas Penambangan PT. Darma Henwa Tbk, Bengalon Coal Project, Kalimantan Timur. *Bina Tambang*. 5(1), 40-50.
- Nurfaidah, H., & Abidin, W. (2023). Penerapan Metode Single *Moving average* Dalam Peramalan Curah Hujan Kota Makassar. *Jurnal MSA (Matematika dan Statistika serta Aplikasinya)*, 11(2), 134-139.
- Nurfaizin, A., & Hakim, D. K. (2023). Analisis Frekuensi Curah Hujan Kecamatan Nusawungu Menggunakan Metode Gumbel Dan Peramalan Menggunakan Exponential Smoothing: Analysis of Rainfall Frequency in Nusawungu District Using the Gumbel Method and Forecasting Using Exponential Smoothing. *Jurnal Media Pratama*, 17(2), 125-139.
- Puspitasari, W., Rustiana, S., Suparman, Y., & Purwandari, T. (2019). Perbandingan Hasil Peramalan Curah Hujan Bulanan Kota Bogor dengan Seasonal Autoregressive Integrated *Moving average* (SARIMA) dan Singular Spectrum Analysis (SSA). *Prosiding Sendik*. 5(2), 206.
- Reddy, J. R., Ganesh, T., Venkateswaran, M., & Reddy, P. (2017). Forecasting of monthly mean rainfall in Coastal Andhra. *International Journal of Statistics and Applications*. 7(4), 197-204.
- Render, B., & Stair Jr, R. M. (2012). *Quantitative Analysis for Management*, 11e. USA: Pearson Education.
- Saranyadevi, M., & Mohideen, A. K. (2021). Forecasting the rainfall using time series model. *Science, Mathematics and Engineering Journal*. 25(2), 169–179.
- Sudibyo, N. A., Iswardani, A., Septyanto, A. W., & Wicaksono, T. G. (2020). Prediksi inflasi di indonesia menggunakan metode moving average, single exponential smoothing dan

- double exponential smoothing. *Jurnal Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika*. 1(2), 123-129.
- Syarifuddin, S., Widodo, S., & Nurwaskito, A. (2017). Kajian Sistem Penyaliran pada Tambang Terbuka Kabupaten Tanah Bumbu Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Geomine*. 5(2), 1-9.
- Sylvia, S. (2022). Implementasi dan Analisa Metode Peramalan Exponential Smoothing dan Weighted Moving Average Untuk Permintaan Produk Minuman Kopi K di CV Fajar Timur Lestari. *Journal of Industrial Engineering & Management Research*. 3(4), 139-147.
- Wahyudi, D., & Papatungan, I. V. (2022). Peramalan Peramalan Curah Hujan Dengan Model Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) terhadap Stasiun Meteorologi Fatmawati Soekarno Kota Bengkulu. *AUTOMATA*. 3(2).
- Wijanarko, L. C. P., Wicaksono, A. P., & Gomareuzzaman, M. (2023). Analisis Nilai Laju Erosi dengan Menggunakan Metode Petak Kecil pada Lahan Reklamasi di Desa Keraitan, Kecamatan Bengalon, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur (Studi Kasus PT. Darma Henwa Bengalon Coal Project). *In Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumian SATU BUMI*. 4(1), 23-24.
- Yuliatin, U., Wardhana, A. S., Dewi, A. K., & Hamdani, C. N. (2023). Pemodelan Energi Listrik yang Dihasilkan oleh PV Menggunakan Metode Time Series dan Neural Network untuk Komparasi. *EDUKASIA: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*. 4(2), 11-23.