

PERAMALAN PRODUKSI KOPI BERBASIS MODEL FUNGSI TRANSFER MENGUNAKAN PENDEKATAN DATA SCIENCE TERHADAP VARIABILITAS CURAH HUJAN DI PROVINSI LAMPUNG

Victor Asido Elyakim P

Sistem Informasi, STIKOM Tunas Bangsa

Jl. Jend. Sudirman Blok A, No.1, 2 & 3, Pematangsiantar, Sumatera Utara, Indonesia

victorasidoelyakim@gmail.com

ABSTRAK

Produksi kopi di Provinsi Lampung sangat dipengaruhi oleh perubahan iklim, khususnya variabilitas curah hujan, sehingga diperlukan metode peramalan yang mampu mengakomodasi pengaruh faktor eksternal tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model fungsi transfer dalam meramalkan produksi kopi bulanan dengan curah hujan sebagai variabel input, menggunakan data periode Januari 2017 hingga Desember 2023 yang bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS). Data dibagi menjadi data latih sebesar 80% dan data uji sebesar 20%. Tahapan analisis meliputi uji stasioneritas menggunakan uji Augmented Dickey–Fuller (ADF) dan transformasi Box–Cox, pemodelan SARIMA, proses prewhitening, serta analisis Cross-Correlation Function (CCF). Hasil analisis menunjukkan bahwa data curah hujan dan produksi kopi telah stasioner terhadap rata-rata dengan nilai p -value ADF kurang dari 0,05 serta stasioner terhadap ragam setelah dilakukan transformasi. Model terbaik untuk curah hujan adalah ARIMA(1,0,0)(1,0,1) [12], sedangkan produksi kopi mengikuti model ARIMA(0,0,4)(0,0,4) [12]. Analisis CCF menunjukkan adanya hubungan yang signifikan pada lag ke-1 ($t-1$). Model fungsi transfer terbaik diperoleh dengan orde $b = 1$, $r = 2$, dan $s = 0$, dengan nilai Akaike Information Criterion (AIC) sebesar 1214,448. Meskipun model mampu menangkap pola musiman produksi kopi, evaluasi hasil peramalan menghasilkan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 95,5%. Tingginya nilai MAPE ini disebabkan oleh kelemahan rumus MAPE yang sangat sensitif ketika membagi selisih galat dengan nilai aktual produksi (Y_t) yang mendekati nol pada saat di luar musim panen (off-season), sehingga menghasilkan lonjakan persentase galat yang ekstrem.

Kata kunci : curah hujan; data science; fungsi transfer; peramalan; produksi kopi; SARIMA

1. PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu komoditas unggulan perkebunan di Indonesia yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan memberikan kontribusi besar terhadap perekonomian nasional. Indonesia termasuk dalam tiga besar produsen kopi dunia setelah Brasil dan Vietnam dengan produksi mencapai sekitar 11,85 juta kantong pada periode 2022/2023 [5].

Provinsi Lampung merupakan salah satu provinsi penghasil kopi utama, terutama kopi robusta yang memiliki cita rasa khas dan banyak diminati di pasar domestik maupun ekspor, dengan kontribusi sekitar 15,60% terhadap total produksi kopi nasional pada tahun 2022. Produksi kopi di Provinsi Lampung menunjukkan fluktuasi dari tahun ke tahun dan sangat bergantung pada kondisi iklim, khususnya variabilitas curah hujan. Data curah hujan bulanan periode 2017–2023 menunjukkan nilai maksimum sebesar 411,6 mm pada Januari 2020 dan minimum 0,0 mm pada Agustus 2020, dengan rata-rata bulanan sekitar 158,29 mm [14].

Pada saat yang sama, produksi kopi bulanan berkisar dari 35 ton pada Februari 2019 hingga 34.508 ton pada Juli 2019 dengan rata-rata sekitar 9.381,70 ton per bulan, mencerminkan pola musim panen dan luar musim yang sangat tajam. Keragaman curah hujan dapat memengaruhi pembungaan, pembesaran buah,

dan kualitas panen, yang akan berdampak langsung pada volume produksi kopi [13].

Metode peramalan deret waktu konvensional seperti ARIMA dan SARIMA umumnya hanya memanfaatkan informasi historis dari variabel target tanpa memperhitungkan secara eksplisit pengaruh faktor eksternal. Padahal, data historis BPS menunjukkan fluktuasi produksi kopi tidak merespons curah hujan pada bulan yang sama secara instan, melainkan membutuhkan jeda waktu tertentu (lag effect). Oleh karena itu, pemodelan multiple time series seperti Fungsi Transfer dipilih karena merupakan pendekatan yang paling logis dan akurat dalam mengakomodasi efek tunda (lag effect) serta struktur gangguan (noise) secara simultan dibandingkan model regresi biasa [16].

Penelitian ini menawarkan kebaruan dengan mengaplikasikan model fungsi transfer pada sektor kopi robusta di Provinsi Lampung, memanfaatkan variabilitas curah hujan sebagai faktor eksternal utama melalui pendekatan data science. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membangun model SARIMA univariat yang optimal untuk data curah hujan dan produksi kopi bulanan di Provinsi Lampung, menentukan struktur model fungsi transfer yang sesuai untuk menggambarkan hubungan dinamis beserta efek lag antara kedua variabel, serta

mengevaluasi seberapa akurat kinerja peramalan model tersebut menggunakan metrik seperti MAPE.

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah

- Bagaimana membangun model SARIMA univariat yang optimal untuk data curah hujan dan produksi kopi bulanan di Provinsi Lampung?
- Bagaimana menentukan struktur model fungsi transfer yang sesuai untuk menggambarkan hubungan dinamis antara curah hujan dan produksi kopi, termasuk efek lag dan deret noise?
- Seberapa akurat model fungsi transfer yang diperoleh dalam meramalkan produksi kopi pada periode data uji setelah memasukkan curah hujan sebagai variabel input eksternal?

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

- Mengembangkan model SARIMA terbaik untuk masing-masing seri curah hujan dan produksi kopi bulanan di Provinsi Lampung
- Menyusun model fungsi transfer yang menangkap hubungan dinamis antara curah hujan dan produksi kopi dengan mempertimbangkan keterlambatan pengaruh dan struktur deret noise
- Mengevaluasi kinerja peramalan model fungsi transfer menggunakan data uji dan mengkategorikan tingkat akurasi berdasarkan nilai MAPE

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Studi Terdahulu

Penelitian terdahulu menunjukkan efektivitas model fungsi transfer dalam berbagai bidang. Dewi meramalkan jumlah uang beredar M2 di Indonesia menggunakan fungsi transfer single input dengan MAPE 1,36% yang dikategorikan sangat akurat. Widodo menggunakan model fungsi transfer untuk menganalisis pengaruh produksi perikanan tangkap terhadap Nilai Tukar Nelayan dan menemukan pengaruh signifikan dengan lag satu hingga dua bulan. Arniati dan Sediono & Tito menunjukkan bahwa model fungsi transfer efektif untuk meramalkan jumlah kasus demam berdarah dengue (DBD) dengan memasukkan faktor iklim. Penelitian ini menawarkan kebaruan dengan fokus pada komoditas kopi dan analisis mendalam terhadap struktur lag musiman.

2.2. Analisis Deret Waktu dan Peramalan

Deret waktu (time series) merupakan serangkaian observasi terhadap suatu variabel yang dicatat secara berurutan berdasarkan waktu. Pola yang terbentuk dapat mencakup komponen tren, musiman, siklus, dan fluktuasi acak yang dapat dimanfaatkan untuk meramalkan kondisi di masa mendatang.

Peramalan adalah proses memperkirakan nilai suatu variabel di masa depan berdasarkan informasi historis dan model statistik yang sesuai. Metode peramalan dapat dikelompokkan menjadi pendekatan univariat dan multivariat. Pendekatan univariat, seperti ARIMA, hanya menggunakan informasi dari variabel itu sendiri, sedangkan pendekatan multivariat dapat memasukkan satu atau lebih variabel eksternal yang

diduga berpengaruh. Pemilihan metode bergantung pada sifat data, pola yang terbentuk, dan ketersediaan informasi eksternal yang relevan.

2.3. Stasioneritas Deret Waktu

Salah satu asumsi dasar dalam pemodelan deret waktu adalah bahwa data bersifat stasioner, yaitu memiliki rata-rata dan varians yang konstan sepanjang waktu. Stasioneritas terhadap rata-rata diperiksa dengan uji unit root seperti Augmented Dickey–Fuller (ADF), sedangkan stasioneritas terhadap varians diperoleh melalui transformasi Box–Cox.

Jika data tidak stasioner terhadap rata-rata, proses differencing menunjukkan kemampuan representasi pola temporal untuk menghilangkan tren atau pola non-stasioner

Transformasi Box–Cox bertujuan menstabilkan varians dan mendekatkan distribusi data terhadap normal dengan menggunakan parameter λ .

Uji ADF menguji keberadaan akar unit dengan hipotesis nol bahwa data mengandung unit root; penolakan hipotesis nol menunjukkan bahwa data telah stasioner.

2.4. Model SARIMA

Model Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) merupakan pengembangan dari ARIMA yang mengakomodasi komponen musiman dengan periode tertentu, misalnya [12] untuk data bulanan. Secara umum, model SARIMA dinotasikan sebagai SARIMA (p,d,q)(P,D,Q) [s], di mana p,d,q menyatakan orde non-musiman untuk komponen autoregressive (AR), differencing (I), dan moving average (MA), sedangkan P,D,Q menyatakan orde musiman pada periode s.

Bentuk umum model SARIMA dalam notasi operator lag adalah:

$\phi(B) \Phi(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D Y_t = \theta(B) \Theta(B^s) \varepsilon_t$
dengan $\phi(B)$ dan $\Phi(B^s)$ adalah operator AR non-musiman dan musiman, $\theta(B)$ dan $\Theta(B^s)$ adalah operator MA non-musiman dan musiman, serta ε_t adalah komponen error yang diasumsikan white noise. Pemilihan orde p,d,q,P,D,Q dilakukan dengan menganalisis pola Autocorrelation Function (ACF) dan Partial Autocorrelation Function (PACF) serta mempertimbangkan kriteria informasi seperti AIC

2.5. Model Fungsi Transfer

Model fungsi transfer merupakan kombinasi regresi deret waktu dan ARIMA yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel input (X_t) dan output (Y_t) dalam konteks deret waktu. Bentuk dasar model fungsi transfer adalah:

$$Y_t = v(B) X_t + n_t$$

di mana $v(B)$ adalah fungsi bobot (weight function) yang menggambarkan pengaruh input terhadap output melalui operator lag, sedangkan n_t adalah deret noise yang umumnya dimodelkan dengan ARIMA. Fungsi $v(B)$ biasanya dinyatakan dalam bentuk rasio dua polinomial:

$$v(B) = \frac{\omega(B)}{\delta(B)}$$

dengan $\omega(B)$ sebagai operator MA orde s dan $\delta(B)$ sebagai operator AR orde r .

Parameter b merepresentasikan delay (dead time), yaitu jeda waktu antara perubahan input dan respons output, sehingga model fungsi transfer lengkap adalah:

$$Y_t = \frac{\omega(B)}{\delta(B)} X_{t-b} + n_t$$

dengan n_t mengikuti proses ARIMA tertentu.

2.6. Prewhitening dan Korelasi Silang

Prewhitening adalah proses memfilter deret input dan output menggunakan model ARIMA dari salah satu variabel (umumnya input) untuk menghilangkan autokorelasi internal dan memperoleh deret residual yang lebih mendekati white noise. Proses ini bertujuan agar analisis korelasi silang (cross-correlation) antara dua deret mencerminkan hubungan murni yang tidak terdistorsi oleh autokorelasi internal.

$$\rho_{xy}(k) = \frac{\gamma_{xy}(k)}{\sigma_x \sigma_y}$$

di mana $\gamma_{xy}(k)$ adalah kovarians silang pada lag k , dan σ_x dan σ_y adalah simpangan baku dari X_t dan Y_t . Plot CCF setelah prewhitening digunakan untuk mengidentifikasi lag signifikan yang akan menentukan delay b dan memberikan informasi awal mengenai orde r dan s pada model fungsi transfer.

2.7. Kriteria Pemilihan dan Evaluasi Model

Pemilihan model SARIMA dan fungsi transfer yang terbaik dilakukan menggunakan Akaike Information Criterion (AIC), di mana model dengan nilai AIC terkecil dianggap memberikan keseimbangan terbaik antara kecocokan (goodness of fit) dan kompleksitas model.

Uji diagnostik seperti Ljung–Box digunakan untuk memeriksa apakah residual model bebas dari autokorelasi, sedangkan uji Kolmogorov–Smirnov digunakan untuk menilai normalitas residual.

Akurasi peramalan diukur menggunakan Mean Absolute Percentage Error (MAPE):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \times 10$$

di mana Y_t adalah nilai aktual dan $\hat{Y}_t$ adalah nilai ramalan. Secara umum, $MAPE < 10\%$ dikategorikan sangat baik, $10\text{--}20\%$ baik, $20\text{--}50\%$ cukup, dan $>50\%$ buruk.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Data dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa deret waktu bulanan curah hujan (mm/bulan) dan produksi kopi (ton/bulan) di Provinsi Lampung untuk periode Januari 2017–Desember 2023 dengan total 84 observasi untuk masing-masing variabel [2][3].

Data curah hujan diperoleh dari publikasi resmi Badan Pusat Statistik (BPS) Lampung, sedangkan data produksi kopi bersumber dari statistik tanaman perkebunan pada periode yang sama [2][3].

Tabel 1: Statistik Deskriptif Data Curah Hujan dan Produksi Kopi

Variabel	Minimum	Maksimum	Rata-rata	Std Dev
Curah Hujan (mm)	0,00	411,6	158,29	132,41
Produksi Kopi (ton)	35,00	34.508	9.381,70	11.425,38

Secara deskriptif, curah hujan bulanan memiliki nilai minimum 0,0 mm (Agustus 2020) dan maksimum 411,6 mm (Januari 2020) dengan rata-rata 158,29 mm dan simpangan baku 132,41 mm [2]. Produksi kopi memiliki nilai minimum 35 ton (Februari 2019) dan maksimum 34.508 ton (Juli 2019) dengan rata-rata 9.381,70 ton dan simpangan baku 11.425,38 ton [3].

3.2. Pembagian Data Latih dan Data Uji

Data dibagi menjadi dua bagian dengan proporsi 80%:20%. Data latih mencakup periode Januari 2017–Desember 2021 (60 observasi), sedangkan data uji mencakup periode Januari 2022–Desember 2023 (24 observasi) untuk kedua variabel. Pembagian ini dimaksudkan agar evaluasi kinerja model dilakukan pada periode yang tidak digunakan dalam proses estimasi parameter, memberikan gambaran performa out-of-sample yang lebih objektif.

3.3. Tahapan Analisis

Tahapan analisis dalam penelitian ini mengikuti alur data science untuk deret waktu:

3.4. Preprocessing Data

Data diperiksa dari kemungkinan nilai hilang, inkonsistensi, dan kesalahan pencatatan, kemudian diselaraskan sehingga deret curah hujan dan produksi kopi memiliki periode waktu yang identik. Transformasi Box–Cox diterapkan untuk menstabilkan varians jika diperlukan, dengan parameter λ dipilih berdasarkan kriteria maksimum likelihood.

3.5. Eksplorasi Data

Plot deret waktu digunakan untuk mengidentifikasi pola tren, musiman, dan fluktuasi ekstrem. Eksplorasi ini memberikan gambaran awal tentang pola musiman tahunan dan potensi hubungan lag antara kedua variabel.

3.6. Uji Stasioneritas

Stasioneritas terhadap rata-rata diuji menggunakan uji ADF, sedangkan stasioneritas terhadap varians ditangani melalui transformasi Box–Cox. Data dinyatakan stasioner jika $p\text{-value uji ADF} < 0,05$.

3.7. Identifikasi dan Estimasi Model SARIMA.

Kandidat model SARIMA diidentifikasi melalui analisis plot ACF dan PACF dengan mempertimbangkan struktur musiman periode [12]. Berbagai kombinasi orde dievaluasi berdasarkan nilai AIC dan signifikansi parameter.

3.8. Prewhitening dan Analisis CCF

Model SARIMA terbaik untuk curah hujan digunakan untuk memfilter deret curah hujan dan produksi kopi. Fungsi korelasi silang (CCF) kemudian dihitung untuk mengidentifikasi lag signifikan.

3.9. Pemodelan Fungsi Transfer

Berdasarkan hasil CCF, beberapa kombinasi orde (b,r,s) untuk fungsi transfer dievaluasi menggunakan kriteria AIC. Model dengan nilai AIC terkecil dan parameter signifikan dipilih sebagai model terbaik.

3.10. Uji diagnostik dan Evaluasi Peramalan

Uji Ljung–Box dan Kolmogorov–Smirnov diterapkan pada residual untuk memastikan memenuhi asumsi white noise dan normalitas. Model digunakan untuk meramalkan produksi kopi pada periode data uji dan akurasi dinilai menggunakan MAPE.

3.11. Perangkat Lunak

Seluruh analisis dilakukan menggunakan bahasa pemrograman R dengan lingkungan RStudio, memanfaatkan paket forecast, TSA, urca, nortest, dan ggplot2 untuk pemodelan SARIMA, fungsi transfer, uji unit root, uji normalitas, serta visualisasi deret waktu.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Eksplorasi Data Curah Hujan dan Produksi Kopi

Plot deret waktu curah hujan bulanan Provinsi Lampung selama periode 2017–2023 menunjukkan pola musiman yang jelas, dengan puncak curah hujan umumnya terjadi pada bulan Desember–Februari dan nilai minimum pada bulan Agustus–September [2].

Nilai maksimum 411,6 mm tercatat pada Januari 2020, sedangkan nilai minimum 0,0 mm terjadi pada Agustus 2020, sejalan dengan kondisi puncak musim kemarau [2]. Rata-rata curah hujan bulanan sebesar 158,29 mm dengan variasi yang cukup lebar menggambarkan ketergantungan kuat terhadap pola monsun dan variabilitas iklim tahunan [2].

Plot deret waktu produksi kopi bulanan memperlihatkan pola panen musiman yang sangat menonjol, dengan puncak produksi terjadi pada bulan Juni–September dan nilai terendah pada awal tahun, khususnya Februari [3]. Produksi tertinggi sebesar 34.508 ton terjadi pada Juli 2019, sedangkan produksi terendah 35 ton terjadi pada Februari 2019, merefleksikan perbedaan tajam antara musim panen dan luar musim [3].

Rata-rata produksi bulanan 9.381,70 ton menunjukkan bahwa kontribusi produksi pada musim

panen sangat dominan [3]. Secara visual, terdapat indikasi bahwa perubahan curah hujan pada periode tertentu, terutama menjelang dan selama fase pembungaan serta pembesaran buah, dapat memengaruhi produksi kopi pada bulan-bulan berikutnya, menguatkan dugaan adanya hubungan lag antara kedua variabel.

4.2. Model SARIMA untuk Curah Hujan

Transformasi Box–Cox terhadap data curah hujan menghasilkan parameter λ sekitar 0,59 yang setelah penyesuaian mendekati 0,99, menandakan bahwa ragam data dapat distabilkan dengan transformasi yang mendekati identitas. Uji ADF pada deret curah hujan tertransformasi menghasilkan p-value 0,01 ($< 0,05$), sehingga hipotesis nol ditolak dan seri dinyatakan stasioner terhadap rata-rata tanpa memerlukan differencing tambahan.

Analisis plot ACF dan PACF menunjukkan adanya struktur autokorelasi baik pada lag non-musiman awal maupun pada lag musiman [12].

Beberapa kandidat model SARIMA dievaluasi antara lain ARIMA(0,0,0)(0,0,1) [12], ARIMA(0,0,0)(1,0,0) [12], ARIMA(0,0,0)(1,0,1) [12], ARIMA(0,0,1)(0,0,0) [12], ARIMA(0,0,1)(1,0,1) [12], ARIMA(1,0,0)(0,0,0) [12], dan ARIMA(1,0,0)(1,0,1) [12]. Model ARIMA(1,0,0)(1,0,1) [12] memiliki nilai AIC terkecil yaitu sekitar 639,03 dan semua parameternya signifikan pada taraf 5%.

Uji Ljung–Box terhadap residual model terpilih menunjukkan p-value $> 0,05$ yang mengindikasikan tidak adanya autokorelasi residual yang signifikan, sementara uji Kolmogorov–Smirnov menunjukkan bahwa residual berdistribusi mendekati normal. Dengan demikian, model ARIMA(1,0,0)(1,0,1) [12] untuk curah hujan dinyatakan layak sebagai model input dalam tahapan prewhitening dan fungsi transfer.

4.3. Model SARIMA untuk Produksi Kopi

Prosedur serupa diterapkan pada data produksi kopi, di mana transformasi Box–Cox menghasilkan parameter λ sekitar 0,42 yang kemudian disederhanakan menjadi sekitar 0,98. Uji ADF terhadap deret produksi kopi yang telah ditransformasi memberikan p-value 0,01 sehingga seri dianggap stasioner terhadap rata-rata. Analisis ACF dan PACF produksi kopi menunjukkan pola tailing pada ACF non-musiman dan sinyal kuat pada lag-lag musiman kelipatan [12], mengarahkan pada kandidat model dengan komponen MA non-musiman dan musiman.

Beberapa kandidat model dievaluasi antara lain ARIMA(0,0,3)(0,0,3) [12], ARIMA(0,0,3)(0,0,4) [12], ARIMA(0,0,4)(0,0,3) [12], ARIMA(0,0,4)(0,0,4) [12], ARIMA(1,0,0)(1,0,0) [12], dan ARIMA(1,0,1)(0,0,4) [12]. Model ARIMA(0,0,4)(0,0,4) [12] dipilih sebagai model terbaik karena memiliki nilai AIC terkecil sekitar 269,01 dan seluruh parameter MA(1–4) serta SMA(1–4) signifikan.

Uji Ljung-Box dan Kolmogorov-Smirnov terhadap residual model produksi kopi menunjukkan bahwa residual bebas dari autokorelasi signifikan dan berdistribusi mendekati normal, memenuhi asumsi model ARIMA dan dapat digunakan sebagai komponen deret noise dalam pemodelan fungsi transfer.

4.4. Analisis Fungsi Transfer Curah Hujan-Produksi Kopi

Tahap prewhitening dilakukan dengan menerapkan model ARIMA(1,0,0)(1,0,1) [12] curah hujan terhadap deret input curah hujan untuk menghasilkan residual, kemudian model yang sama digunakan untuk memfilter deret produksi kopi. Kedua deret residual ini relatif bebas dari autokorelasi internal, sehingga analisis CCF dapat memberikan informasi yang lebih akurat mengenai hubungan lag antara curah hujan dan produksi kopi.

Plot CCF menunjukkan adanya korelasi silang yang signifikan pada lag ke-1 ($t-1$) dengan nilai korelasi sekitar $-0,32$, sedangkan lag lain berada dalam batas interval kepercayaan 95%. Hal ini diinterpretasikan bahwa curah hujan satu bulan sebelumnya ($t-1$) memengaruhi produksi kopi pada bulan berjalan (t), dengan arah pengaruh negatif.

Temuan ini konsisten dengan dampak curah hujan berlebih terhadap fase pembungaan dan pembesaran buah, seperti meningkatnya risiko pembusukan akar dan serangan penyakit jamur. Berdasarkan lag signifikan pertama pada -1 , parameter delay b ditetapkan sebesar 1. Beberapa kombinasi orde fungsi transfer (b,r,s) dievaluasi dengan menggunakan kriteria AIC antara lain (1,0,0), (1,1,0), dan (1,2,0). Model dengan orde (1,2,0) menghasilkan AIC terkecil yaitu sebesar 1214,448 dan parameter fungsi transfer yang signifikan, sehingga dipilih sebagai model terbaik. Secara umum, model fungsi transfer yang diperoleh dapat dinyatakan:

$$Y_t = (\omega_0 + \omega_1 B + \omega_2 B^2)X_{t-1} + n_t$$

dengan n_t mengikuti model ARIMA(0,0,4)(0,0,4) [12]. Koefisien ω_1 dan ω_2 bernilai negatif dan signifikan, menguatkan interpretasi bahwa peningkatan curah hujan pada satu hingga dua bulan sebelum periode panen akan menurunkan produksi kopi.

4.5. Evaluasi Kinerja Peramalan

Model fungsi transfer digunakan untuk meramalkan produksi kopi pada periode data uji, yaitu Januari 2022–Desember 2023, dengan menggunakan deret curah hujan aktual sebagai input. Hasil peramalan dibandingkan dengan data aktual untuk menghitung error peramalan tiap bulan dan nilai MAPE keseluruhan.

Berikut adalah tabel perbandingan data aktual produksi kopi dengan hasil prediksi pada tahun 2022 sebagai representasi periode uji:

Tabel 2. Hasil Peramalan Data Produksi Kopi Tahun 2022

Tahun	Bulan	Data Aktual	Data Peramalan
2022	Januari	1040	1725.68
2022	Februari	902	2000.71
2022	Maret	1118	2248.11
2022	April	740	1954.60
2022	Mei	936	1846.64
2022	Juni	7450	7700.42
2022	Juli	24849	23272.73
2022	Agustus	28596	26498.61
2022	September	32733	30369.07
2022	Oktober	12115	11797.23
2022	November	1922	3475.49
2022	Desember	1338	2464.02

Secara umum, pola ramalan mengikuti tren musiman data aktual dengan baik, terutama dalam menangkap ritme gelombang kenaikan dan penurunan produksi, meskipun terdapat penyimpangan magnitudo yang signifikan berupa over-forecasting pada periode luar musim (off-season). Nilai MAPE keseluruhan untuk 24 bulan periode uji diperoleh sebesar 95,5%, yang menurut klasifikasi MAPE berada dalam kategori buruk ($> 50\%$).

Tingginya nilai error ini disebabkan oleh bias over-forecasting yang ekstrem pada bulan-bulan dengan produksi rendah, di mana prediksi model masih berada di kisaran ratusan hingga ribuan ton sementara data aktual mendekati nol.

4.6. Implikasi Praktis

Hasil penelitian ini memiliki beberapa implikasi praktis bagi petani, pelaku usaha, dan pemerintah daerah di Provinsi Lampung.

Pertama, informasi mengenai adanya jeda satu bulan antara perubahan curah hujan dan dampaknya terhadap produksi kopi dapat dimanfaatkan untuk menyusun strategi budidaya, seperti pengaturan waktu pemangkasan, pemupukan, dan pengendalian hama.

Kedua, model peramalan yang memanfaatkan proyeksi curah hujan dapat membantu koperasi dan lembaga pemasaran dalam merencanakan volume pasokan dan tata niaga kopi. Selain itu, pemerintah daerah dapat menggunakan model ini sebagai alat bantu dalam merancang kebijakan penyangga harga, program asuransi pertanian, serta adaptasi terhadap perubahan iklim di sektor perkebunan kopi.

Pendekatan data science berbasis fungsi transfer juga berpotensi dikembangkan lebih lanjut dengan memasukkan variabel iklim lainnya seperti suhu dan kelembapan untuk meningkatkan akurasi dan ketahanan model.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Model SARIMA terbaik untuk data curah hujan dan produksi kopi masing-masing adalah ARIMA(1,0,0)(1,0,1) [12] dan ARIMA(0,0,4)(0,0,4) [12], yang telah memenuhi asumsi diagnostik berupa residual yang bersifat white noise dan berdistribusi

normal. Selanjutnya, model fungsi transfer dengan orde ($b = 1$, $r = 2$, $s = 0$) mampu mengidentifikasi adanya hubungan dinamis antara curah hujan dan produksi kopi dengan jeda waktu satu bulan, di mana pengaruh yang dihasilkan cenderung negatif. Meskipun demikian, hasil evaluasi menunjukkan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 95,5% yang tergolong rendah dalam akurasi, terutama disebabkan oleh bias prediksi pada periode produksi rendah (off-season), sehingga secara kuantitatif model belum optimal meskipun secara kualitatif mampu menangkap pola musiman dengan baik. Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ditemukan, disarankan agar penelitian selanjutnya, untuk menambahkan variabel eksogen lain yang relevan seperti suhu, kelembaban, dan faktor agronomis guna meningkatkan kemampuan model dalam menjelaskan variasi produksi. Selain itu, pengembangan model yang lebih kompleks seperti ARIMAX, Vector Autoregression (VAR), maupun pendekatan hybrid berbasis machine learning (misalnya ARIMA-LSTM) perlu dipertimbangkan untuk menangkap pola nonlinear dalam data. Penggunaan transformasi data untuk menangani nilai ekstrem serta penerapan metrik evaluasi alternatif seperti SMAPE juga direkomendasikan agar hasil peramalan menjadi lebih representatif, akurat, dan memiliki daya generalisasi yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung. (2023). *Statistik tanaman perkebunan provinsi Lampung tahun 2023*. BPS Provinsi Lampung.
- [2] Dewi, E. Y., Sugiyanto, & Darsyah, M. Y. (2024). Peramalan jumlah uang beredar M2 di Indonesia menggunakan fungsi transfer. *Jurnal Statistik Terapan*, 15(2), 123–145.
- [3] Widodo, A. A. (2021). Peramalan nilai tukar nelayan Provinsi Sulawesi Tenggara menggunakan model fungsi transfer. *Jurnal Ekonomi Pertanian*, 28(1), 45–62.
- [4] Arniati, Ruslan, Wibawa, J., Jufra, & Aswani. (2022). Peramalan jumlah kasus DBD Kota Kendari menggunakan metode fungsi transfer. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 14(3), 201–216.
- [5] USDA. (2023). *Coffee: World markets and trade*. United States Department of Agriculture.
- [6] Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2021). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Wiley.
- [7] Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and Practice* (3rd ed.). OTexts.
- [8] Shumway, R. H., & Stoffer, D. S. (2021). *Time Series Analysis and Its Applications*. Springer.
- [9] Hewamalage, H., Bergmeir, C., & Bandara, K. (2021). Recurrent neural networks for time series forecasting. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 35(1), 1–42.
- [10] Petropoulos, F., et al. (2022). Forecasting in the presence of COVID-19. *International Journal of Forecasting*, 38(3), 1049–1057.
- [11] Rahman, A., & Lee, D. (2021). Climate impact on agricultural yield forecasting. *Agricultural Systems*, 190, 103091.
- [12] FAO. (2022). *Climate Change and Coffee Production*. Food and Agriculture Organization.
- [13] Wang, X., et al. (2021). ARIMAX vs ML models in agriculture forecasting. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105889.
- [14] Kim, S., & Kim, H. (2022). Transfer function modeling with climate variables. *Journal of Forecasting*, 41(5), 789–805.
- [15] Arniati, Ruslan, Wibawa, G. N. A., Jufra, & Aswani. (2022). Peramalan jumlah kasus dbd kota kendari menggunakan metode fungsi transfer. *Jurnal Matematika, Komputasi dan Statistika*, 2(1), 1–9.
- [16] Dewi, A. K., Zukhronah, E., & Sugiyanto. (2024). Peramalan jumlah uang beredar m2 di indonesia menggunakan fungsi transfer single input. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Seri 02*, 1(2), 181–193.
- [17] Mauditia, L., Imro'ah, N., & Andani, W. (2024). Prediksi jumlah permintaan darah utd pmi kota pontianak menggunakan arima-kalman filter. *Indonesian Journal of Applied Statistics*, 7(1), 73–86.
- [18] Mutamakkinah, H., Santoso, R., & Tarno, T. (2024). Perbandingan metode arima dan model fungsi transfer untuk meramalkan curah hujan di jawa tengah periode tahun 2023–2024. *Jurnal Gaussian*, 13(2), 280–288.
- [19] Mutolib, T. S. A., & Rahmat, A. (2021). Pengetahuan dan adaptasi petani kopi terhadap perubahan iklim di kecamatan air hitam kabupaten lampung barat. *Serambi Engineering*, 6(4), 2331.
- [20] Osie, E. P., Ayu, A. P., & Ogari. (2023). Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi produksi kopi robusta di desa suka mulya kecamatan tanjung raja kabupaten lampung utara. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa AGROINFO GALUH*, 10(3), 1873.
- [21] Rizal, M., Indah, D. R., & Meutia, R. (2021). Analisis peramalan produksi menggunakan trend moment pada kilang padi do'a ibu diperlak kecamatan pereulak. *Jurnal Samudra Ekonomika*, 5(2), 161–168.
- [22] Rizqiana, D. W. L., Fitriani, I., & Amir, I. T. (2023). Faktor-faktor yang mempengaruhi volume ekspor kopi indonesia di pasar internasional. *Jurnal Pertanian Agros*, 25(2), 1817.
- [23] Wildan, K., & Asy'ari, S. (2023). Penentuan metode peramalan (forecasting) pada permintaan penjualan di cv. lia tirta jaya prigen. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 2(11), 4077–4088.