

## Pengaruh Fluktuasi Unsur Iklim Tahunan terhadap Produksi Padi: Studi Empiris Berdasarkan Data Historis

Masahid<sup>1</sup>, Moh Yusuf Dawud<sup>1</sup>, dan Eko Wahyu Abryandoko<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Bojonegoro

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro

Jl. Lettu Suyitno No. 2 Bojonegoro, 62115

\*Alamat korespondensi: abryandoko@gmail.com

---

### INFO ARTIKEL

### ABSTRACT/ABSTRAK

Diterima: 27-05-2025

Direvisi: 10-07-2025

Dipublikasi: 14-08-2025

#### **The impact of annual climate element fluctuations on rice production: An empirical study based on historical data**

Keywords:  
Climate elements,  
Climate variables,  
Linear regression, Rice  
production

Production of rice, as a national strategic commodity, is heavily influenced by climate dynamics, particularly in agricultural regions such as Bojonegoro Regency. This region was selected because it serves as one of the main rice granaries in East Java and has experienced significant yield fluctuations in recent years. Climate change has led to variations in temperature, rainfall, and other weather factors, resulting in declining yields. This study utilizes annual climate data from 2016 to 2024 to analyze short-term climate variability and its relationship with rice production. A quantitative approach was employed, using correlation analysis and multiple linear regression modelling. The analyzed climate variables include average temperature, maximum temperature, minimum temperature, rainfall, solar radiation, and wind speed. Results indicate that minimum temperature has a very strong positive correlation with rice production, whereas wind speed shows a significant negative correlation. The regression model yields a coefficient of determination ( $R^2$ ) of 0.99, suggesting that nearly all variations in rice production can be explained by climate elements such as temperature, rainfall, solar radiation, and wind speed. Furthermore, significance tests reveal that rainfall has a significant negative impact on crop yields ( $p < 0.05$ ). These findings highlight the importance of developing locally tailored, data-driven climate adaptation strategies to sustain stable rice production and ensure regional food security.

Kata Kunci:  
Produksi padi, Regresi  
linier, Unsur iklim,  
Variabel iklim

Produksi padi sebagai komoditas strategis nasional sangat dipengaruhi oleh dinamika iklim, terutama di wilayah agraris seperti Kabupaten Bojonegoro. Wilayah ini dipilih karena merupakan salah satu lumbung padi utama di Jawa Timur dan menunjukkan fluktuasi hasil panen yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Perubahan iklim telah menyebabkan fluktuasi suhu, curah hujan, dan faktor cuaca lainnya yang berdampak pada penurunan hasil panen. Penelitian ini menggunakan data iklim tahunan dari tahun 2016 hingga 2024 untuk menganalisis variabilitas iklim jangka pendek serta hubungannya dengan produksi padi. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif melalui analisis korelasi dan pemodelan regresi linier berganda. Variabel iklim yang dianalisis meliputi suhu rata-rata, suhu maksimum, suhu minimum, curah hujan, radiasi matahari, dan kecepatan angin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu minimum memiliki korelasi positif yang sangat kuat terhadap produksi padi, sementara kecepatan angin menunjukkan korelasi negatif yang signifikan. Model regresi menghasilkan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,99,

yang menunjukkan bahwa hampir seluruh variasi produksi padi dapat dijelaskan oleh unsur-unsur iklim seperti suhu, curah hujan, radiasi matahari, dan kecepatan angin. Uji signifikansi juga menunjukkan bahwa curah hujan memiliki pengaruh negatif yang signifikan terhadap hasil panen ( $p < 0,05$ ). Temuan ini menegaskan pentingnya strategi adaptasi iklim berbasis data lokal untuk menjaga stabilitas produksi padi dan mendukung ketahanan pangan di tingkat daerah.

## PENDAHULUAN

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan komoditas pangan strategis yang memiliki peran vital dalam menunjang ketahanan pangan nasional (Indrasari, 2022; Sutardi *et al.*, 2023). Padi merupakan makanan pokok mayoritas penduduk Indonesia, keberlangsungan produksi padi sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama faktor-faktor iklim (Salam *et al.* 2024; Widyawati *et al.*, 2025). Menurut Saleem *et al.* (2024) perubahan iklim dalam beberapa dekade terakhir telah menimbulkan tantangan signifikan bagi sektor pertanian, ditandai dengan meningkatnya frekuensi kejadian cuaca ekstrem, anomali suhu, dan ketidakaturan curah hujan. Variasi iklim berdampak langsung pada proses fisiologis tanaman, ketersediaan air, dan efisiensi penggunaan lahan, sehingga memengaruhi hasil panen secara keseluruhan (Grigorieva *et al.*, 2023; Yu *et al.*, 2025).

Kabupaten Bojonegoro sebagai salah satu lumbung padi di Jawa Timur menghadapi realitas serupa. Fluktuasi produksi padi tahunan di wilayah ini tidak hanya dipengaruhi oleh aspek teknis budidaya, tetapi juga oleh dinamika iklim yang tidak dapat diprediksi secara konsisten. Beberapa studi sebelumnya telah menegaskan adanya korelasi signifikan antara variabel iklim seperti suhu udara, curah hujan, dan kelembapan—dengan produktivitas padi (Miah *et al.*, 2025; Zhang *et al.*, 2023). Liu *et al.* (2020) menunjukkan bahwa peningkatan suhu rata-rata sebesar 1°C dapat menurunkan hasil padi hingga 10% di wilayah tropis. Penelitian lain oleh Al Mamun *et al.* (2025) menyatakan bahwa suhu minimum menurunkan hasil padi, sementara suhu maksimum dapat meningkatkannya, sehingga variasi suhu harian penting dalam mengkaji dampak perubahan iklim pada produksi padi. Namun, kajian-kajian sebelumnya umumnya bersifat makro dan belum banyak yang mengkaji dampak iklim pada tingkat kabupaten secara longitudinal dan berbasis data historis lokal. Padahal, pemahaman mendalam

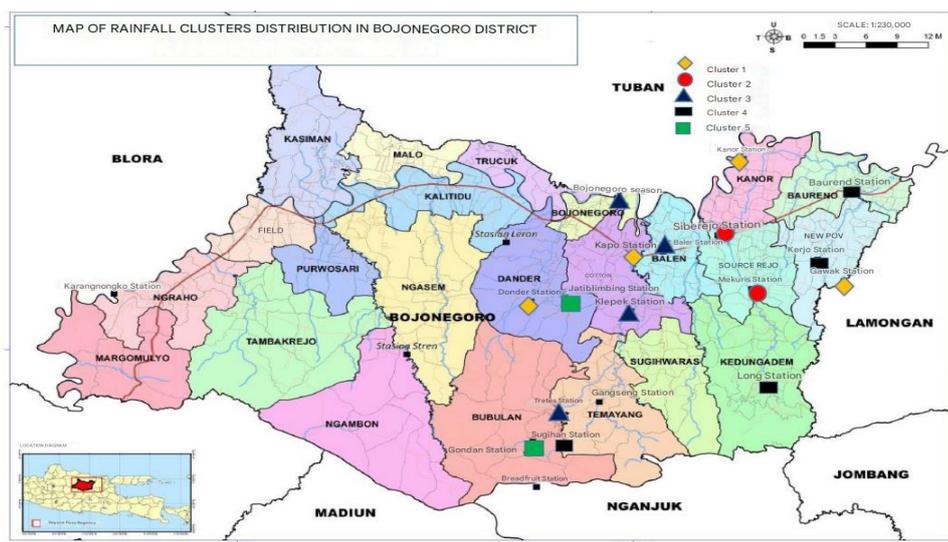
terhadap kondisi spesifik wilayah sangat penting untuk merumuskan strategi adaptasi yang tepat.

Penelitian ini menganalisis pengaruh dinamika unsur-unsur iklim, seperti suhu, curah hujan, dan kecepatan angin, terhadap produksi padi di Kabupaten Bojonegoro, menggunakan pendekatan empiris berbasis data historis tahunan. Analisis korelasi dilakukan sebagai tahap awal untuk mengidentifikasi arah dan kekuatan hubungan linear antar variabel iklim dan produksi padi. Selanjutnya, Regresi Linier Berganda diterapkan sebagai metode utama untuk mengidentifikasi dan mengukur hubungan linear yang lebih detail serta besaran pengaruh parsial dari setiap variabel iklim terhadap produksi padi. Pemilihan metode ini didasarkan pada kapabilitasnya dalam mengkuantifikasi besaran pengaruh parsial dari setiap faktor iklim serta menghasilkan model yang mudah diinterpretasikan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan kebijakan pertanian yang adaptif terhadap variabilitas iklim di Kabupaten Bojonegoro, serta menjadi referensi awal bagi perumusan strategi adaptasi di wilayah agraris serupa pada tingkat regional.

## BAHAN DAN METODE

### Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian ini merupakan studi kuantitatif deskriptif-korelasional yang bertujuan mengevaluasi pengaruh variabel iklim terhadap produksi padi di Kabupaten Bojonegoro. Analisis dilakukan secara longitudinal berdasarkan data tahunan periode 2016–2024. Bojonegoro dipilih karena merupakan wilayah agraris utama di Jawa Timur dengan sistem budidaya padi intensif pada musim hujan dan kemarau. Secara geografis, daerah ini beriklim tropis basah dengan pola monsun yang menghasilkan musim hujan dan kemarau yang jelas. Gambar 1 menyajikan peta spasial wilayah studi dan distribusi curah hujan antar kecamatan.



Gambar 1. Distribusi kluster curah hujan di seluruh kecamatan di Kabupaten Bojonegoro.

Informasi pada Gambar 1 berasal dari distribusi data stasiun hujan yang tersebar di wilayah Kabupaten Bojonegoro dan dikelompokkan ke dalam tiga kluster curah hujan berdasarkan intensitas rata-rata tahunan, yaitu: kluster rendah (<2000 mm/tahun), sedang (2000–2500 mm/tahun), dan tinggi (>2500 mm/tahun). Klasifikasi ini diperoleh melalui analisis *hierarchical clustering* terhadap data curah hujan harian yang diakumulasi per tahun selama periode pengamatan. Menurut Saharjo & Wintanti (2022) topografi Kabupaten Bojonegoro bervariasi dengan elevasi antara 20 hingga 100 meter di atas permukaan laut dengan penggunaan lahan didominasi oleh pertanian budidaya padi dan sangat bergantung pada curah hujan sebagai sumber utama air. Sebanyak 80–90% dari total curah hujan tahunan terjadi pada periode Oktober hingga April, sedangkan musim kemarau berlangsung dari Mei hingga September, dengan penurunan signifikan ketersediaan air. Jenis tanah yang umum ditemukan di Kabupaten Bojonegoro meliputi lempung dan lempung berpasir, yang memiliki kapasitas retensi air cukup baik untuk mendukung pertumbuhan tanaman padi (Sastrosupadi dkk., 2018). Kombinasi antara pola iklim musiman dan fluktuasi curah hujan menjadikan wilayah Bojonegoro rentan terhadap kekeringan, sehingga pemahaman terhadap dinamika iklim lokal menjadi penting dalam upaya menjaga keberlanjutan produksi padi di Bojonegoro (Utami *et al.*, 2025).

### Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas dua jenis utama, yaitu data iklim dan data

produksi padi. Data iklim dikumpulkan secara harian melalui Weather API dengan parameter lokasi yang disesuaikan secara spesifik untuk wilayah Kabupaten Bojonegoro. Variabel iklim yang diambil meliputi suhu maksimum, suhu minimum, curah hujan, dan kelembapan relatif. Data harian ini kemudian diolah menjadi agregat tahunan, dengan metode perhitungan berupa rata-rata tahunan (mean) untuk variabel suhu dan kelembapan, serta total tahunan (sum) untuk curah hujan.

Sementara itu, data produksi padi diperoleh dari publikasi resmi Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Bojonegoro, yang mencakup total produksi tahunan dari seluruh kecamatan di wilayah kabupaten, sehingga mencerminkan kondisi agregat Bojonegoro secara utuh dan konsisten dengan cakupan spasial pada Gambar 1. Data dikumpulkan untuk periode 2016–2024, yang dipilih karena memiliki cakupan tahunan paling lengkap dan konsisten secara pencatatan. Data mencakup suhu rata-rata, suhu maksimum dan minimum (°C), curah hujan (mm), radiasi surya dalam bentuk intensitas penyinaran harian rata-rata (kWh/m<sup>2</sup>), kecepatan angin (m/s), serta luas lahan tanam (hektar). Data produksi padi diperoleh dalam bentuk total produksi tahunan (ton), yang kemudian digunakan dalam hubungan dengan luas lahan untuk memahami variasi hasil. Meskipun periode ini relatif pendek, analisis difokuskan pada variabilitas iklim jangka pendek, bukan representasi tren iklim jangka panjang. Keterbatasan durasi ini diakui sebagai bagian dari keterbatasan penelitian dan menjadi pertimbangan untuk penelitian lanjutan dengan cakupan waktu lebih luas. Beberapa kekosongan data

harian di tahun-tahun tertentu yang telah disesuaikan menggunakan interpolasi linier sederhana, sehingga memungkinkan pembentukan agregat tahunan yang layak untuk dianalisis secara kuantitatif.

### Model Formulasi Matematis

Penelitian ini menganalisis korelasi Pearson untuk mengevaluasi hubungan linier antara variabel-variabel iklim dengan produksi padi. Tujuan analisis ini untuk mengidentifikasi arah dan kekuatan hubungan antara masing-masing variabel iklim (suhu rata-rata, suhu maksimum, suhu minimum, curah hujan, radiasi matahari, dan kecepatan angin) terhadap hasil produksi padi tahunan di Kabupaten Bojonegoro selama periode 2016–2024. Korelasi Pearson dihitung menggunakan rumus berikut:

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (1)$$

Di mana:

r : koefisien korelasi Pearson

x, y : nilai variabel bebas dan terikat

n : jumlah observasi

Nilai rrr berkisar antara -1 hingga +1, dengan interpretasi sebagai berikut:

r>0 : hubungan positif (searah)

r<0 : hubungan negatif (berlawanan arah)

|r| : mendekati 1: hubungan kuat

|r| : mendekati 0: hubungan lemah atau tidak ada hubungan

Model regresi linier berganda pada penelitian ini dilakukan untuk mengestimasi pengaruh variabel-variabel iklim terhadap produksi padi. Model ini didasarkan pada asumsi adanya hubungan linear antara variabel dependen (produksi padi) dan sejumlah variabel independen (faktor-faktor iklim). Formulasi matematis umum untuk model regresi linier berganda dapat ditulis sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_k X_k + \epsilon \quad (2)$$

Di mana:

Y : Produksi padi (misalnya dalam ton/hektar).

$\beta_0$  : Intersep, nilai Y saat semua  $X_i = 0$

$X_1, X_2, \dots, X_k$  : Variabel independen (misalnya curah hujan, suhu, dll).

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  : Koefisien regresi, menunjukkan pengaruh  $X_i$  terhadap Y.

$\epsilon$  : Error, mencakup faktor lain yang tidak dimodelkan.

Variabel independen dalam model ini meliputi: suhu rata-rata (*temperature*, °C), curah hujan (*rainfall*, mm), radiasi matahari (*solar radiation*, kWh/m<sup>2</sup>), suhu maksimum (*maximum temperature*, °C), suhu minimum (*minimum temperature*, °C), dan kecepatan angin (*wind speed*, m/s). Estimasi koefisien ( $\beta$ ) dilakukan menggunakan metode kuadrat terkecil.

### Evaluasi kinerja model

Evaluasi kinerja model regresi linier berganda dilakukan untuk mengukur seberapa baik model tersebut dalam memprediksi produksi padi berdasarkan variabel iklim tahunan di Kabupaten Bojonegoro. Beberapa metrik evaluasi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi (Avia *et al.* 2023):

1. Koefisien Determinasi ( $R^2$ ):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_1 - \hat{y}_1)^2}{\sum_{i=1}^n (y_1 - \bar{y}_1)^2} \quad (3)$$

2. Mean Absolute Error (MAE):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_1 - \hat{y}_1| \quad (4)$$

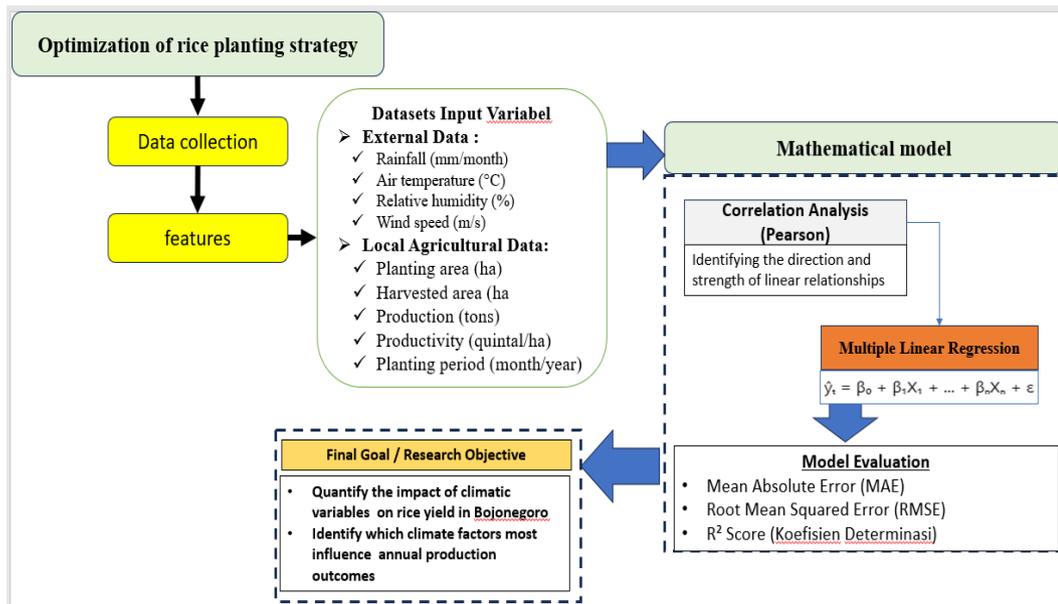
3. Mean Squared Error (MSE):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_1 - \hat{y}_1)^2 \quad (5)$$

4. Root Mean Squared Error (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_1 - \hat{y}_1)^2} \quad (6)$$

Model yang baik ditunjukkan oleh nilai MAE dan RMSE yang rendah serta nilai  $R^2$  yang mendekati 1. Evaluasi ini dilakukan dengan membandingkan output model terhadap data aktual produksi padi di Kabupaten Bojonegoro selama periode pengamatan. Gambar 2 mengilustrasikan diagram alir metodologi yang digunakan dalam penelitian ini.

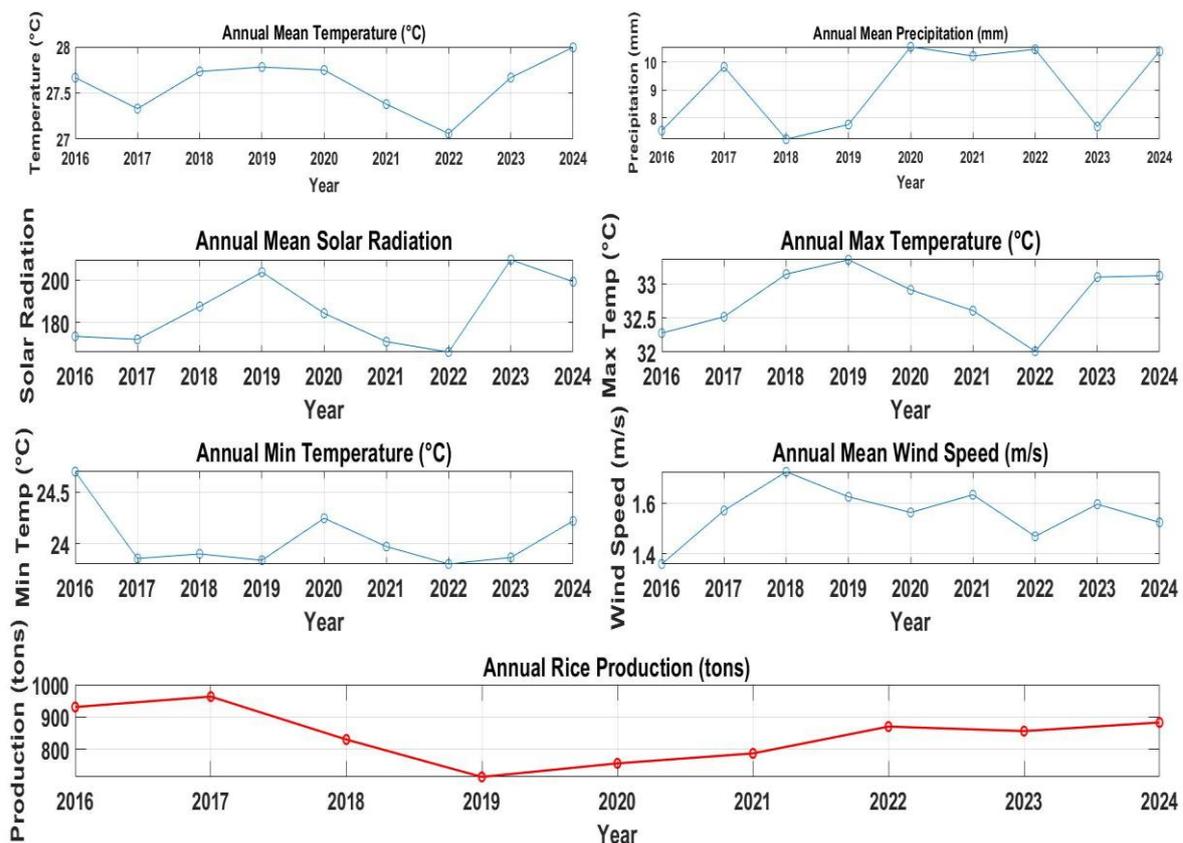


Gambar 2. Diagram alir metodologi penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Iklim dan Hasil Padi di Kabupaten Bojonegoro

Data historis produksi padi dan faktor-faktor iklim di Kabupaten Bojonegoro dianalisis. Pola fluktuasi tahunan selama periode 2016 hingga 2024 dievaluasi berdasarkan pengaruh setiap variabel iklim terhadap hasil produksi padi. Visualisasi tren disusun sebagai dasar dalam memahami hubungan antarvariabel sebelum dilakukan analisis korelasi dan pemodelan regresi linier berganda, ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tren tahunan produksi padi dan faktor-faktor iklim di Kabupaten Bojonegoro (2016–2024)

Gambar 3 memperlihatkan tren tahunan produksi padi dan variabel iklim di Kabupaten Bojonegoro pada periode 2016–2024. Produksi padi tertinggi tercatat pada tahun 2017 sebesar sekitar 960 ton, kemudian mengalami penurunan signifikan hingga mencapai titik terendah sekitar 650 ton pada tahun 2019, sebelum kembali meningkat secara bertahap hingga 2024. Secara keseluruhan, analisis tren linier menunjukkan kecenderungan peningkatan produksi padi pada akhir periode, meskipun masih berfluktuasi antar tahun. Curah hujan rata-rata harian tertinggi tercatat pada tahun 2020, 2022, dan 2024, masing-masing mendekati 10 mm/hari, sedangkan titik terendah terjadi pada tahun 2023, yang hanya mencapai sekitar 6 mm/hari. Namun, tren jangka pendek curah hujan selama periode ini menunjukkan pola yang cenderung menurun secara bertahap, terutama pada paruh kedua seri data. Pola ini menunjukkan adanya fluktuasi musiman yang cukup tajam dari tahun ke tahun, Kondisi ini selaras dengan teori agroklimatologi oleh Jarin *et al.* (2024), yang menegaskan bahwa curah hujan memegang peran penting dalam keberhasilan fase pertumbuhan tanaman padi. Penurunan curah hujan yang signifikan dapat menghambat penyerapan air oleh akar, menurunkan laju fotosintesis, dan pada akhirnya mengurangi hasil panen. Promchote *et al.* (2022) juga menyatakan bahwa kekurangan curah hujan sebesar 20% selama masa tanam dapat menyebabkan penurunan hasil yang substansial pada tanaman padi di wilayah tropis.

Analisis data tahunan menunjukkan bahwa suhu maksimum mengalami tren meningkat selama periode 2016 hingga 2024, dari sekitar 32,4°C pada 2016 menjadi lebih dari 33°C pada 2019, dan tetap berada di atas kisaran optimal hingga 2024. Tren kenaikan suhu maksimum ini mengindikasikan kecenderungan menuju kondisi stres panas, yang dapat mengganggu fase pengisian bulir dan menurunkan hasil produksi padi. Tanaman padi umumnya tumbuh optimal pada suhu antara 25–32°C, dengan batas minimum pertumbuhan sekitar 15°C, dan mulai mengalami stres fisiologis jika suhu maksimum melebihi 35°C, terutama selama fase pembungaan dan pengisian bulir (Hatfield & Prueger, 2015; Hossain *et al.*, 2024) Suhu ekstrem di atas ambang tersebut berisiko menurunkan viabilitas polen dan menghambat pengisian biji. Menurut Yu *et al.* (2024) suhu maksimum yang melebihi ambang optimal bagi padi dapat mempercepat transpirasi, menghambat pengisian bulir, dan memperpendek

siklus pertumbuhan. Sebaliknya, suhu minimum menunjukkan tren yang relatif stabil, berkisar antara 23,4°C hingga 24,8°C masih dalam batas fisiologis malam hari yang diperlukan untuk efisiensi respirasi dan akumulasi karbohidrat (Xu *et al.*, 2021). Suhu malam yang terlalu tinggi dapat meningkatkan laju respirasi dan menurunkan hasil padi akibat kehilangan energi (Su *et al.*, 2023). Suhu rata-rata berkisar stabil antara 27,2–27,9°C, masih dalam kisaran toleransi optimal bagi tanaman padi (Fukai & Mitchell, 2022).

Radiasi surya tahunan mengalami tren menurun setelah mencapai puncak pada 2019 (>220 MJ/m<sup>2</sup>), turun hingga mendekati 200 MJ/m<sup>2</sup> pada 2020 dan tidak kembali ke titik awal hingga 2024. Penurunan ini berpotensi membatasi fotosintesis dan akumulasi biomassa (Liu *et al.*, 2023). Tren penurunan produksi padi pada tahun 2020 terjadi seiring dengan menurunnya tren curah hujan, luas tanam, dan radiasi surya, serta meningkatnya suhu maksimum. Kombinasi kondisi tersebut mencerminkan lingkungan yang kurang mendukung bagi pertumbuhan tanaman padi. Hasil ini diperkuat oleh Song *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa kombinasi suhu tinggi dan kekurangan air secara bersamaan memiliki dampak negatif yang kuat terhadap hasil panen padi.

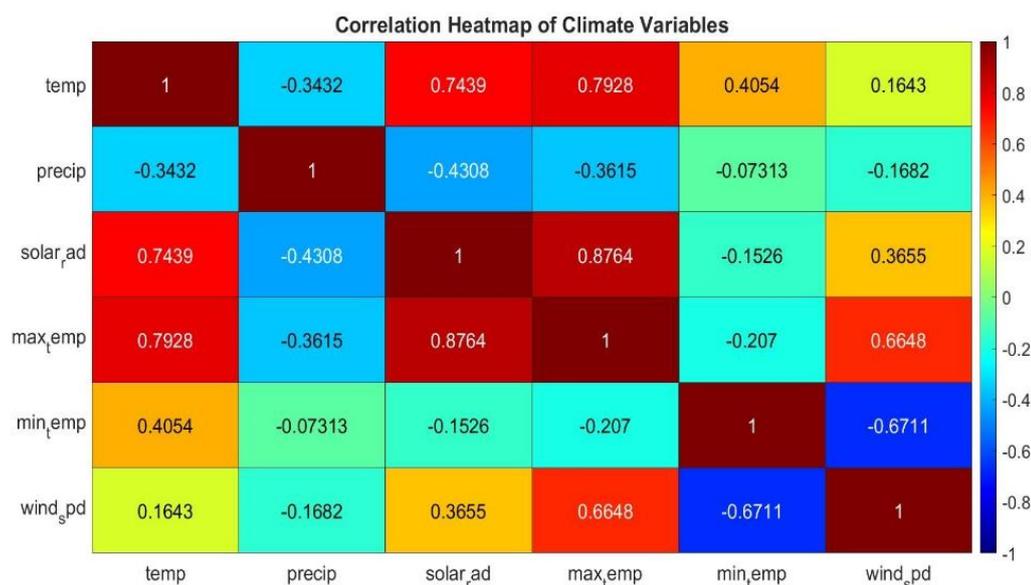
#### Analisis korelasi

Nilai koefisien korelasi yang dihasilkan memberikan indikasi awal mengenai variabel-variabel yang berpotensi signifikan dalam pemodelan prediksi produksi. Visualisasi hubungan antar variabel ditampilkan dalam bentuk heatmap korelasi, yang memudahkan identifikasi pola korelasi secara visual. Warna pada heatmap merepresentasikan arah dan kekuatan hubungan antar variabel; Warna merah gelap hingga kuning mengindikasikan korelasi positif yang kuat, sementara warna biru tua menunjukkan korelasi negatif yang kuat. Keterkaitan antara faktor-faktor iklim dan dampaknya terhadap produksi padi ditunjukkan pada Gambar 4.

Analisis korelasi pada Gambar 4 menunjukkan bahwa suhu maksimum adalah variabel iklim yang memiliki korelasi negatif paling kuat terhadap produksi padi di Kabupaten Bojonegoro, dengan koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0.6648, yang secara statistik termasuk dalam kategori kuat dan signifikan pada level 5%. Ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi suhu maksimum, semakin rendah produksi padi. Selanjutnya, kecepatan angin juga menunjukkan korelasi negatif yang kuat dan

signifikan secara statistik ( $r = -0.6711$ ), yang berarti peningkatan kecepatan angin cenderung menurunkan hasil produksi. Radiasi matahari (*solar\_ad*, MJ/m<sup>2</sup>) memiliki korelasi positif sedang dengan produksi padi ( $r = 0,3655$ ), yang mengindikasikan bahwa peningkatan intensitas penyinaran cenderung berkaitan dengan kenaikan hasil panen. Berdasarkan kisaran data historis, peningkatan radiasi tahunan dari nilai terendah ke tertinggi berkaitan dengan kenaikan produksi sekitar

4–6%, meskipun pengaruh ini tidak signifikan secara statistik. Korelasi ini juga sejalan dengan penelitian Baharuddin *et al.* (2025), menunjukkan bahwa peningkatan radiasi sebesar 1 MJ/m<sup>2</sup>/hari dapat meningkatkan produktivitas padi sebesar 3–5%, tergantung pada fase pertumbuhan. Korelasi yang ditemukan untuk suhu maksimum dan kecepatan angin menegaskan bahwa kondisi suhu ekstrem (>34–35°C) dan angin kencang (>5 m/s) dapat meningkatkan stres lingkungan pada tanaman padi.



Gambar 4. Heatmap korelasi antara variabel iklim dan produksi padi di Kabupaten Bojonegoro

Suhu tinggi pada fase pembungaan diketahui menyebabkan sterilitas polen, sementara angin kencang dapat mengganggu penyerbukan dan meningkatkan risiko rebah, sehingga berdampak negatif terhadap hasil produksi (Ren *et al.*, 2023). Sementara itu, suhu minimum memiliki korelasi negatif lemah atau tidak signifikan terhadap produksi ( $r = -0.207$ ), dan curah hujan menunjukkan korelasi negatif ( $r = -0.1682$ ). Korelasi yang sangat rendah ini dapat mengindikasikan bahwa hubungan antara variabel iklim dan produksi padi tidak bersifat linier sederhana. Sebagai contoh, suhu atau curah hujan tertentu mungkin hanya berdampak positif dalam kisaran optimum, tetapi menjadi negatif jika melebihi ambang batas fisiologis tanaman menghasilkan pola hubungan non-linear. Selain itu, variabel-variabel ini dapat memengaruhi hasil panen secara tidak langsung, misalnya dengan memengaruhi waktu tanam. Petani sering menyesuaikan awal tanam berdasarkan awal musim hujan, yang menyebabkan variasi dalam eksposur iklim selama fase

pertumbuhan utama. Kompleksitas ini dapat melemahkan korelasi langsung antara elemen iklim dan produksi pada tingkat agregat tahunan. Temuan ini menegaskan pentingnya strategi adaptasi terhadap variabilitas iklim dalam sistem pertanian untuk menjaga stabilitas produksi padi. Nilai koefisien korelasi antar variabel iklim dan produksi padi selengkapnya disajikan pada Tabel 1, yang merangkum data historis tahun 2016–2024 di Kabupaten Bojonegoro.

Tabel 1 menyajikan analisis korelasi variabel iklim dengan produksi padi di Kabupaten Bojonegoro periode 2016–2024, dimana suhu minimum menunjukkan pengaruh paling signifikan dengan korelasi positif sangat kuat ( $r = 0,8324$ ), mengindikasikan bahwa suhu malam yang lebih hangat mendukung peningkatan produksi padi. Menurut Sharma *et al.* (2024) suhu malam dapat membantu keseimbangan energi dan karbohidrat untuk mendukung pertumbuhan dan pengisian bulir reproduksi padi. Suhu malam dalam kisaran optimum

(22–25°C) memungkinkan metabolisme tanaman tetap aktif tanpa membebani energi, serta mencegah stres suhu rendah yang dapat menghambat perkembangan vegetatif dan anakan (Yu *et al.*, 2025). Sebaliknya, kecepatan angin memiliki korelasi negatif kuat ( $r = -0,72878$ ), yang menandakan bahwa angin kencang dapat menghambat pertumbuhan tanaman padi. Salah satu mekanismenya adalah melalui peningkatan laju evapotranspirasi, yang menyebabkan kehilangan air lebih cepat dari kemampuan penyerapan akar. Ketidakseimbangan ini memicu stres air, yang dapat menurunkan aktivitas fotosintesis akibat penutupan stomata, menghambat pertumbuhan jaringan, dan mengganggu pengisian bulir (Wang *et al.*, 2022). Menurut Hu *et al.* (2023) jika stres air terjadi pada fase reproduktif, maka hal tersebut dapat menyebabkan

penurunan hasil yang signifikan. Variabel lain seperti curah hujan, suhu maksimum, dan radiasi matahari menunjukkan korelasi negatif sedang hingga lemah terhadap produksi, yang mengimplikasikan bahwa kondisi iklim ekstrem seperti suhu maksimum di atas 35°C atau curah hujan melebihi 300 mm per bulan kurang mendukung hasil panen (Lu *et al.*, 2025; Wang *et al.*, 2019). Sementara itu, suhu rata-rata hanya berpengaruh sangat lemah, sehingga variabilitas suhu minimum dan kecepatan angin menjadi faktor kunci yang perlu diperhatikan dalam strategi pengelolaan pertanian padi. Hubungan ini mencerminkan kompleksitas interaksi antar elemen iklim dan menggarisbawahi perlunya pendekatan holistik dalam perencanaan pertanian adaptif yang mempertimbangkan berbagai variabel iklim secara simultan.

Tabel 1. Koefisien korelasi antar variabel berdasarkan data historis tahun 2016–2024 di Kabupaten Bojonegoro.

Variabel Iklim	Koefisien Korelasi (r)	Arah & Kekuatan Korelasi	Signifikansi Statistik
Suhu rata-rata (temp)	0,092	Positif sangat lemah	Tidak signifikan
Curah hujan (precip)	-0,393	Negatif sedang	Tidak signifikan
Radiasi matahari (solar_rad)	-0,277	Negatif lemah	Tidak signifikan
Suhu maksimum (max_temp)	-0,419	Negatif sedang	Tidak signifikan
Suhu minimum (min_temp)	0,832	Positif sangat kuat	Signifikan
Kecepatan angin (wind_spd)	-0,728	Negatif kuat	Signifikan

### Analisis Regresi Linier Berganda

Analisis regresi linier berganda digunakan untuk mengevaluasi pengaruh variabel-variabel iklim terhadap produksi padi. Variabel dependen dalam model ini adalah produksi padi, sedangkan variabel independen terdiri dari suhu rata-rata, curah

hujan, radiasi matahari, suhu maksimum, suhu minimum, dan kecepatan angin. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengidentifikasi faktor iklim yang memiliki kontribusi signifikan terhadap variasi hasil produksi. Tabel 2 menyajikan hasil estimasi parameter model regresi.

Tabel 2. Hasil estimasi parameter model regresi.

Variabel	Koefisien (Estimate)	Standard Error (SE)	t-Statistik	p-Value
Intersep	-1.162.200	518.600	-2.2409	0.15432
temp	-48.464	54.748	-0.8852	0.46943
precip	-12.677	20.449	-6.1996	0.0250
solar_rad	-684	619.39	-1.1043	0.38454
max_temp	32.783	44.705	0.7333	0.53967
min_temp	79.840	32.852	24.303	0.13568
wind_spd	-154.000	88.953	-1.7312	0.22555

Number of observations: 9, Error degrees of freedom: 2

Root Mean Squared Error: 6.77e+03

R-squared: 0.99, Adjusted R-Squared: 0.961

F-statistic vs. constant model: 34,2, p-value = 0.0287

Analisis regresi linier berganda yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan kemampuan prediksi yang sangat baik dengan nilai R-squared sebesar 0.99 dan adjusted R-squared 0.961, yang mengindikasikan

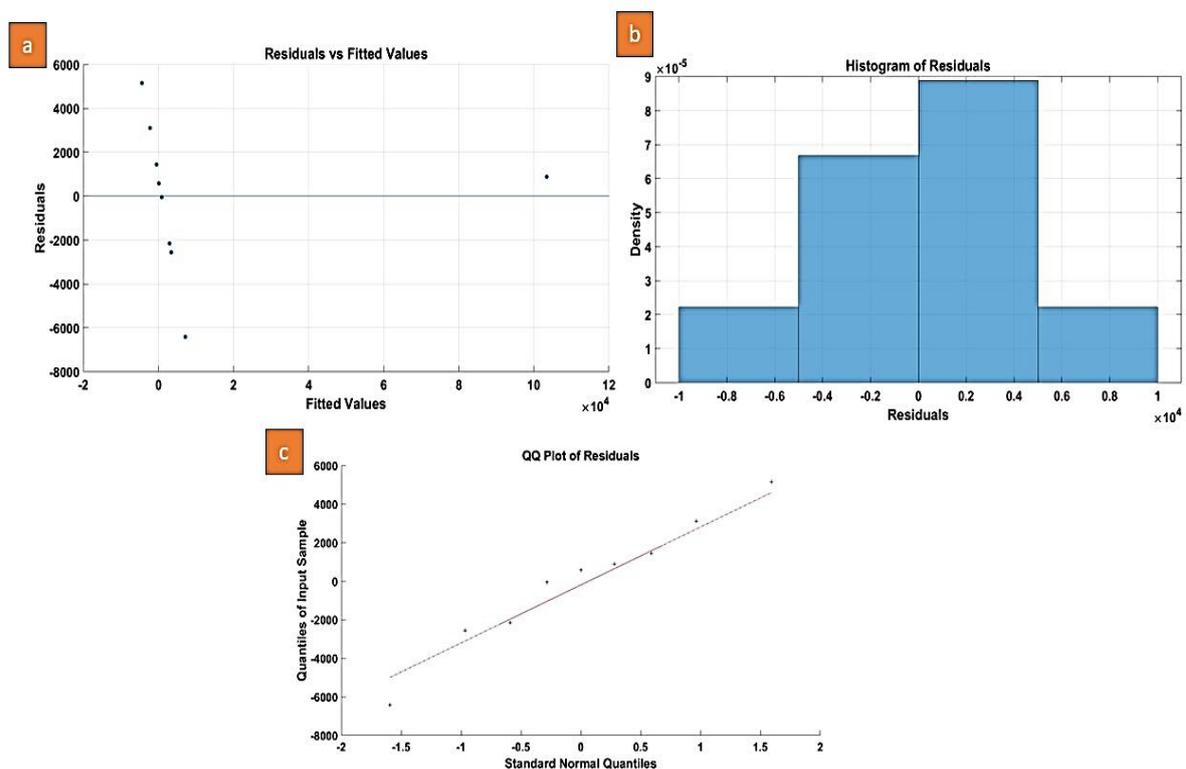
bahwa sekitar 96% variasi produksi padi dapat dijelaskan oleh variabel iklim yang dimasukkan dalam model. Dari nilai p-value, hanya variabel curah hujan yang menunjukkan kontribusi signifikan

terhadap produksi padi dengan p-value 0.025, yang berarti curah hujan berpengaruh negatif signifikan terhadap hasil panen. Variabel seperti suhu maksimum dan kecepatan angin memang tidak signifikan secara statistik dalam model regresi ( $p > 0,05$ ). Namun, berdasarkan korelasi yang cukup kuat serta literatur sebelumnya, keduanya tetap berpotensi memengaruhi hasil produksi secara fisiologis. Suhu ekstrem di atas  $35^{\circ}\text{C}$  diketahui dapat mengganggu pembungaan padi, dan angin kencang ( $>5\text{ m/s}$ ) dapat meningkatkan laju penguapan dan menyebabkan stres air (Salgotra & Chauhan, 2023). meskipun tidak signifikan secara statistik, pengaruh keduanya tetap layak diperhitungkan dalam konteks adaptasi iklim lokal. Temuan ini menegaskan pentingnya

pengelolaan curah hujan sebagai faktor kunci dalam strategi peningkatan produksi padi di tengah dinamika iklim yang terus berubah.

### Tes Diagnostik Model

Setelah mengestimasi model regresi linier berganda, serangkaian tes diagnostik dilakukan untuk mengevaluasi validitas asumsi-asumsi klasik regresi dan mengidentifikasi potensi masalah yang dapat memengaruhi keandalan hasil. Tes ini penting untuk memastikan bahwa model yang dibangun adalah model terbaik yang sesuai dengan data dan bahwa inferensi yang ditarik adalah valid, terutama mengingat jumlah observasi yang terbatas. Gambar 5 menunjukkan grafik diagnostik dari model regresi.



Gambar 5. Hasil uji diagnostik dari model regresi (a) Residual vs Fitted Values, (b) Histogram Residual, dan (c) QQ Plot Residual

Gambar 5 menyajikan hasil uji diagnostik terhadap model regresi yang dibangun berdasarkan data iklim dan produksi padi tahunan di Kabupaten Bojonegoro. Visualisasi plot residual terhadap nilai prediksi (Gambar 5a) menunjukkan penyebaran residual yang belum sepenuhnya acak di sekitar garis nol. Terdapat satu observasi yang menyimpang secara signifikan, mengindikasikan potensi outlier atau pengamatan dengan high leverage. Keberadaan titik ini diduga merefleksikan kondisi iklim ekstrem yang

terjadi pada tahun tertentu, seperti musim hujan dengan intensitas tinggi. Distribusi residual pada histogram (Gambar 5b) terlihat relatif simetris, meskipun tidak sepenuhnya mengikuti distribusi normal. Ketidaksiuaian tersebut semakin jelas melalui QQ Plot (Gambar 5c), yang menunjukkan deviasi pada bagian ekor distribusi. Pola tersebut mengarah pada pelanggaran asumsi normalitas residual yang umum dijumpai dalam regresi linear klasik. Temuan diagnostik ini menunjukkan adanya

indikasi outlier serta penyimpangan ringan terhadap asumsi model. Situasi ini perlu diperhatikan dalam proses interpretasi hasil regresi, terutama mengingat keterbatasan jumlah data dan sifat iklim Bojonegoro yang dinamis. Pengembangan model lanjutan dapat mempertimbangkan pendekatan regresi non-linier atau robust regression untuk meningkatkan keandalan estimasi

### SIMPULAN

Variasi produksi padi tahunan di Kabupaten Bojonegoro terbukti dipengaruhi secara signifikan oleh sejumlah parameter iklim. Model regresi linear yang dibangun menunjukkan nilai koefisien determinasi terstandarisasi (Adjusted  $R^2 = 0,961$ ), yang mengindikasikan bahwa sekitar 96% variasi produksi padi dapat dijelaskan oleh enam variabel iklim utama, yaitu suhu rata-rata, curah hujan, radiasi matahari, suhu maksimum, suhu minimum, dan kecepatan angin. Curah hujan merupakan satu-satunya variabel yang berpengaruh signifikan secara statistik terhadap produksi padi di Kabupaten Bojonegoro (koefisien =  $-12,68$ ;  $p = 0,025$ ), dengan arah pengaruh negatif. Meskipun variabel suhu maksimum (koefisien =  $+32,78$ ;  $p = 0,54$ ) dan suhu minimum (koefisien =  $+79,84$ ;  $p = 0,14$ ) menunjukkan koefisien yang relatif besar dan arah positif, keduanya tidak signifikan secara statistik dalam model. Analisis korelasi juga mendukung temuan ini, di mana suhu minimum ( $r = +0,832$ ) dan kecepatan angin ( $r = -0,728$ ) menunjukkan korelasi kuat terhadap produksi padi dan signifikan secara statistik, namun pengaruhnya tidak terkonfirmasi sebagai signifikan dalam model regresi multivariat. Temuan pada penelitian ini menegaskan bahwa pengaruh faktor iklim terhadap produksi padi bersifat kompleks, di mana hubungan korelasional yang kuat belum tentu muncul sebagai pengaruh signifikan dalam model regresi karena kemungkinan adanya multikolinearitas, efek tidak langsung, atau interaksi antar variabel. Kebutuhan Strategi pengelolaan berbasis iklim diperlukan untuk menjaga ketahanan produksi di tengah ketidakpastian iklim masa depan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada LPPM Universitas Bojonegoro atas dukungan pendanaan yang telah diberikan, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar dan berhasil diselesaikan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Al Mamun, MA, MAR Sarkar, MR Sarker, AM McKenzie, SAI Nihad, MA Hossain, and A Hossain. 2025. Temperature variability and its effect on seasonal yield of rice in Bangladesh: A long-term trend assessment. *Cogent Food and Agriculture*. 11(1): 1–18. doi: 10.1080/23311932.2024.2447903
- Avia, LQ, E Yulihastin, MH Izzaturrahim, R Muharsyah, H Satyawardhana, I Sofiati, E Nurfindari, Gammamerdianti. 2023. The spatial distribution of a comprehensive drought risk index in Java, Indonesia. *Kuwait Journal of Science*. 50(4): 753–760. doi: 10.1016/j.kjs.2023.02.031
- Baharuddin, AK, R Padjung, K Kaimuddin, Y Musa, AH Bahrin, A Yassi, M Casimero, L Llorca, I Bugayong, B Jardinerio, H Sembiring, A Nur, DO Wasonga, MF Seleiman, and MF Anshori. 2025. Validation assessment of nitrogen and irrigation effects on early maturing rice varieties Cakrabuana and Inpari 13 through ORYZA (v3) modeling. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 9: 1–15. doi: 10.3389/fsufs.2025.1541691
- Bwire, D, H Saito, RC Sidle, and J Nishiwaki. 2024. Water management and hydrological characteristics of paddy-rice fields under alternate wetting and drying irrigation practice as climate smart practice: A review. *Agronomy*. 14(7): 1–25. doi: 10.3390/agronomy14071421
- Indrasari, DS. 2022. Specialty rice (*Oryza sativa* L.) for health in Indonesia. *Kaunia*. 18(2): 1–10. doi: 10.14421/kaunia.3379
- Fukai, S, and J Mitchell. 2022. Role of canopy temperature depression in rice. *Crop and Environment*. 1(3): 198–213. doi: 10.1016/j.crope.2022.09.001
- Grigorieva, E, A Livenets, and E Stelmakh. 2023. Adaptation of agriculture to climate change: A scoping review. *Climate*. 11(10): 1–20. doi: 10.3390/cli11100202
- Hatfield, JL, and JH Prueger. 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*. 10: 4–10. doi: 10.1016/j.wace.2015.08.001
- Hossain, MM, S Ahmed, MS Alam, and A Hossain. 2024. Adverse effects of heat shock in rice (*Oryza sativa* L.) and approaches to mitigate it for sustainable rice production under the

- changing climate: A comprehensive review. *Heliyon*. 10(24): 1–18. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e41072
- Hu, X, H Li, H Wu, B Long, Z Liu, X Wei, and J Li. 2023. Modeling the kinematic response of rice under near-ground wind fields using the finite element method. *Agronomy*. 13(4): 1–15. doi: 10.3390/agronomy13041178
- Jarin, AS, MM Islam, A Rahat, S Ahmed, P Gosh, and Y Murata. 2024. Drought stress tolerance in rice: Physiological and biochemical insights. *International Journal of Plant Biology*. 15(3): 692–718. doi: 10.3390/ijpb15030051
- Liu, Q, Z Yang, W Zhou, T Wang, Y Fu, X Yue, H Chen, Y Tao, F Deng, X Lei, W Ren, and Y Chen. 2023. Solar radiation utilization of five upland–paddy cropping systems in low-light regions promoted by diffuse radiation of paddy season. *Agricultural and Forest Meteorology*. 338: 1–12. doi: 10.1016/j.agrformet.2023.109527
- Liu, Y, L Tang, X Qiu, B Liu, X Chang, L Liu, X Zhang, W Cao, and Y Zhu. 2020. Impacts of 1.5 and 2.0°C global warming on rice production across China. *Agricultural and Forest Meteorology*. 284: 1–10. doi: 10.1016/j.agrformet.2020.107900
- Liu, F, B Feng, L Chen, J Qiu, and X Wei. 2025. How does rice cope with high-temperature stress during its growth and development, especially at the grain-filling stage? *Agronomy*. 15(3): 1–15. doi: 10.3390/agronomy15030623
- Miah, MM, MG Kibria, NN Aspy, and K Hossain. 2025. Asymmetric behavior of average temperature and rainfall on rice production in Bangladesh. *Energy Nexus*. 18: 1–10. doi: 10.1016/j.nexus.2025.100429
- Promchote, P, SYS Wang, JH Yoon, PG Johnson, E Creech, Y Shen, and MH Yao. 2022. On the changing cool season affecting rice growth and yield in Taiwan. *Agronomy*. 12(11): 1–15. doi: 10.3390/agronomy12112625
- Ren, H, J Bao, Z Gao, D Sun, A Zheng, and J Bai. 2023. How rice adapts to high temperatures. *Frontiers in Plant Science*. 14: 1–12. doi: 10.3389/fpls.2023.1137923
- Saharjo, BH, and RAS Wintanti. 2022. Potensi kebakaran hutan di BKPH Dander, KPH Bojonegoro, Jawa Timur. *Jurnal Silviculture Tropika*. 13(2): 1–10.
- Salam, M, N Auliyah, Saadah, AN Tenriawaru, P Diansari, Rahmadanih, AI Muslim, HNB Ali, and M Ridwan. 2024. Determinants of rice production in Bantaeng Regency, Indonesia: In search of innovative sustainable farm management practices. *Heliyon*. 10(23): 1–12. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e40634
- Saleem, A, S Anwar, T Nawaz, S Fahad, S Saud, TU Rahman, MNR Khan, and T Nawaz. 2024. Securing a sustainable future: the climate change threat to agriculture, food security, and sustainable development goals. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*. 10(2): 1–15. doi: 10.1007/s43994-024-00177-3
- Salgotra, RK, and BS Chauhan. 2023. Ecophysiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) to drought and high temperature. *Agronomy*. 13(7): 1–20. doi: 10.3390/agronomy13071877
- Sastrosupadi, A, Widowati, and A Krismawati. 2018. Prinsip-Prinsip Agronomi dengan Hasil-Hasil Penelitian di Indonesia. Penerbit Universitas Brawijaya. Malang. 250 pp.
- Sharma, N, B Singh, SG Krishnan, H Bollinedi, PK Mandal, MK Lal, PK Jha, PVV Prasad, and A Anand. 2024. Higher grain-filling rate in inferior spikelets of tolerant rice genotype offset grain yield loss under post-anthesis high night temperatures. *Rice Science*. 31(5): 572–586. doi: 10.1016/j.rsci.2024.06.003
- Song, Y, C Wang, HW Linderholm, Y Fu, W Cai, J Xu, L Zhuang, M Wu, Y Shi, G Wang, and D Chen. 2022. The negative impact of increasing temperatures on rice yields in southern China. *Science of the Total Environment*. 820: 1–12. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153262
- Su, Q, JS Rohila, S Ranganathan, and R Karthikeyan. 2023. Rice yield and quality in response to daytime and nighttime temperature increase – A meta-analysis perspective. *Science of the Total Environment*. 898: 1–15. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.165256
- Sutardi, Y Apriyana, P Rejekiingrum, AD Alifia, F Ramadhani, V Darwis, N Setyowati, DED Setyono, Gunawan, A Malik, A Abdullah, Muslimin, W Wibawa, J Trisatono, Yusuf, FD Arianti, and AY Fadwiwati. 2023. The transformation of rice crop technology in Indonesia: Innovation and sustainable food security. *Agronomy*. 13(1): 1–20. doi: 10.3390/agronomy13010001

- Utami, ID, N Anshori, H Saptaningtyas, and SP Astuti. 2025. A food resilience model integrating local wisdom and sociotechnical dynamic systems: Case study flood-affected communities in the Bengawan solo area. *Progress in Disaster Science*. 26: 1–10. doi: 10.1016/j.pdisas.2025.100413
- Wang, Y, L Wang, J Zhou, S Hu, H Chen, J Xiang, Y Zhang, Y Zeng, Q Shi, D Zhu, and Y Zhang. 2019. Research progress on heat stress of rice at flowering stage. *Rice Science*. 26(1): 1–10. doi: 10.1016/j.rsci.2018.06.009
- Wang, Y, C Hu, X Jia, and Q Ma. 2022. Characteristics of evapotranspiration and water consumption of different underlying surfaces in Qaidam Basin. *Water (Switzerland)*. 14(21): 1–15. doi: 10.3390/w14213469
- Widyawati, W, N Hanani, S Syafrial, and S Sujarwo. 2025. Crafting the future of rice in Indonesia: Sustainable supply through systems thinking. *Cogent Social Sciences*. 11(1): 1–18. doi: 10.1080/23311886.2025.2488113
- Xu, Y, C Chu, and S Yao. 2021. The impact of high-temperature stress on rice: Challenges and solutions. *Crop Journal*. 9(5): 963–976. doi: 10.1016/j.cj.2021.02.011
- Yu, J, T Du, P Zhang, Z Ma, X Chen, J Cao, H Li, T Li, Y Zhu, F Xu, Q Hu, G Liu, G Li, and H Wei. 2024. Impacts of high temperatures on the growth and development of rice and measures for heat tolerance regulation: A review. *Agronomy*. 14(12): 1–20. doi: 10.3390/agronomy14122811
- Yu, L, Z Du, X Li, J Zheng, Q Zhao, H Wu, D Weise, Y Yang, Q Zhang, X Li, X Ma, and X Huang. 2025. Enhancing global agricultural monitoring system for climate-smart agriculture. *Climate Smart Agriculture*. 2(1): 1–15. doi: 10.1016/j.csag.2024.100037
- Yu, M, Z Luobu, D Zhuoga, X Wei, and Y Tang. 2025. Advances in plant response to low-temperature stress. *Plant Growth Regulation*. 105(1): 167–185. doi: 10.1007/s10725-024-01253-8
- Zhang, Q, R Akhtar, ANM Saif, H Akhter, D Hassan, SMA Alam, and MF Bari. 2023. The symmetric and asymmetric effects of climate change on rice productivity in Malaysia. *Heliyon*. 9(5): 1–12. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16118