

Artikel Penelitian

Tren Iklim dan Implikasinya terhadap Ketahanan Pangan di Wilayah Asahan dan Karo, Sumatera Utara

Steven Rizki Clario^{1*}, Trisna Anggraeni¹, Tiara Cahya Putri¹, Sakiah¹, Joko Yulianto Ariantono²

¹ Program Studi Budidaya Perkebunan, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sawit Indonesia, Medan, Indonesia

² Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Sumatera Utara, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 21 Juli 2025
Revisi Akhir: 25 Juli 2025
Diterbitkan Online: 02 Agustus 2025

KATA KUNCI

Evaporasi
Curah Hujan
Suhu Udara
Ketahanan Pangan
Perubahan Iklim

KORESPONDENSI (*)

Phone: +62 813-6752-7923
E-mail: clario.academic@gmail.com

ABSTRAK

Perubahan iklim global membawa dampak signifikan terhadap sistem pertanian, terutama pada wilayah yang mengandalkan pertanian lahan kering. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis suhu udara dan evaporasi terhadap curah hujan yang merupakan unsur iklim sebagai salah satu faktor produksi penunjang ketahanan pangan di Kabupaten Asahan dan Karo, Sumatera Utara. Metode yang digunakan adalah analisis statistik kuantitatif melalui regresi linier berganda, korelasi Pearson, dan uji beda Mann-Whitney U berdasarkan data klimatologi dari BMKG. Hasil menunjukkan bahwa evaporasi berpengaruh signifikan negatif terhadap curah hujan, baik di Asahan ($R = 0,882$; $R^2 = 77,7\%$) maupun di Karo ($R = 0,700$; $R^2 = 49\%$). Sementara itu, suhu udara tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap curah hujan di kedua wilayah. Hasil uji korelasi dan uji beda memperkuat penelitian bahwa evaporasi merupakan indikator utama yang menentukan fluktuasi curah hujan regional, sedangkan suhu udara lebih berperan tidak langsung. Penelitian ini menekankan pentingnya pengelolaan evaporasi melalui konservasi air dan vegetasi untuk menjaga stabilitas curah hujan dan memperkuat ketahanan pangan. Penelitian ini memberikan dasar ilmiah bagi penyusunan kebijakan adaptasi iklim berbasis data di sektor pertanian.

PENDAHULUAN

Ketahanan pangan merupakan komponen utama dalam pembangunan berkelanjutan dan langsung terkait dengan keberlangsungan produksi pertanian, khususnya di negara agraris seperti Indonesia. Namun, fenomena perubahan iklim global yang semakin nyata ditandai kenaikan suhu udara, variasi curah hujan yang ekstrem, dan perubahan pola evaporasi telah menimbulkan tantangan serius bagi sektor pangan nasional. Penelitian oleh (Malau et al., 2021) menunjukkan secara empiris bahwa perubahan iklim dan bencana alam seperti banjir dan kekeringan berdampak negatif terhadap ketahanan pangan, dengan curah hujan dan deforestasi sebagai faktor utama penurunan ketahanan pangan. Selain itu, Mareta, Agiel, dan Hadiningrum (2024) mengungkapkan bahwa sejak 1975 hingga 2021, Suhu rata-rata Sumatera meningkat sebesar $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ per tahun dan curah hujan meningkat sekitar $6,83\text{ mm}$ per tahun, yang menandakan perubahan iklim lokal yang dapat merusak pola produksi pertanian.

Di sisi lain, evaporasi komponen penting dalam keseimbangan hidrologi memainkan peran utama sebagai penentu distribusi kelembaban atmosfer dan siklus uap air. Studi terbaru oleh (Dey et al., 2024) menggunakan kerangka kerja

Lagrangian untuk menelusuri jalur uap air dari evaporasi permukaan hingga menjadi presipitasi di Asia Timur. Mereka menemukan bahwa sekitar 37-48% curah hujan di wilayah tersebut berasal dari uap air lokal, menunjukkan pentingnya keseimbangan evaporasi-lokal dalam menopang curah hujan regional.

Penelitian ini memperkuat gagasan bahwa perubahan penggunaan lahan seperti deforestasi atau konversi menjadi pertanian intensif dapat mengurangi evaporasi lokal dan akhirnya menurunkan curah hujan di wilayah downstream. Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang hubungan antara evaporasi dan curah hujan sangat diperlukan, terutama di wilayah agraris yang bergantung pada hujan musiman.

Fenomena iklim makro seperti Madden-Julian Oscillation (MJO) yang meningkatkan probabilitas terjadinya hujan ekstrem hingga 70% di Indonesia (Muhammad et al., 2020) juga menegaskan bahwa variasi iklim global tidak hanya memperlebar rentang variabilitas hujan, tetapi juga membingungkan pola tanam petani dan merusak produktivitas pertanian secara signifikan. Curah hujan di Kecamatan Bintang Bayu, Serdang Bedagai menunjukkan tren positif pada bulan Januari, Mei, Juli dan Oktober, sedangkan pada bulan-bulan lainnya terjadi penurunan curah hujan (Sakiah et al., 2021). Data BMKG bahkan mencatat peningkatan tajam intensitas hujan ekstrem dan durasi hari basah sejak dekade terakhir, menunjukkan tren peningkatan intensitas dan frekuensi kejadian hidroklimat ekstrem.

Meskipun berbagai penelitian global dan lokal telah membahas hubungan iklim dan ketahanan pangan, namun kajian spesifik mengenai interaksi suhu, evaporasi, dan curah hujan dengan fokus penerapan analisis regresi linier dan korelasi di Kabupaten Asahan dan Karo belum banyak dilakukan. Kedua wilayah ini memiliki karakteristik agroiklim yang berbeda, namun sama-sama bergantung pada hasil pertanian hujan langsung (*rain-fed agriculture*), sehingga menjadi lokasi penting untuk menelaah ketergantungan siklus hidrologi lokal terhadap ketahanan pangan.

Penelitian ini akan menganalisis tren historis suhu udara, evaporasi, dan curah hujan di wilayah Asahan dan Karo menggunakan pendekatan statistik (regresi linier, korelasi Pearson, dan uji beda Mann-Whitney U). Melalui pendekatan ini diharapkan dapat menjawab mekanisme keterkaitan antara suhu udara, evaporasi dan curah hujan serta dampaknya terhadap ketersediaan pangan lokal. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi landasan empiris bagi perumus kebijakan adaptasi iklim di bidang pertanian di Sumatera Utara, termasuk strategi konservasi air, pemanfaatan varietas tahan kekeringan, serta mitigasi dampak ketidakaturan iklim.

TINJAUAN PUSTAKA

Pembangunan Konsep Penelitian

Penelitian ini didasarkan pada kerangka berpikir bahwa variabel iklim seperti suhu udara dan evaporasi berkontribusi signifikan terhadap curah hujan, yang pada akhirnya berdampak pada sistem produksi pangan. Dalam sistem agroiklim tropis, perubahan suhu dan pola curah hujan dapat menyebabkan fluktuasi signifikan dalam produktivitas pertanian, terutama pada sistem pertanian berbasis hujan (*rain-fed agriculture*).

Studi oleh (Dey et al., 2024) mengidentifikasi jalur uap air dan sumber evaporasi yang berkontribusi terhadap pembentukan curah hujan di wilayah Asia Timur. Penelitian ini menegaskan bahwa sekitar 37–48% presipitasi berasal dari evaporasi lokal dan regional, yang berarti bahwa perubahan dalam intensitas evaporasi akibat suhu permukaan atau tutupan lahan dapat secara langsung mempengaruhi distribusi curah hujan. Dalam konteks wilayah tropis seperti Indonesia, hal ini sangat relevan untuk menjelaskan fenomena penurunan curah hujan di daerah pertanian yang mengalami deforestasi atau peningkatan suhu permukaan tanah.

Lebih lanjut, penelitian Mareta, Agiel, dan Hadiningrum (2024) menunjukkan bahwa suhu udara dan curah hujan di Pulau Sumatra mengalami tren peningkatan dalam empat dekade terakhir. Suhu udara mengalami peningkatan sebesar 0,04 °C per tahun, sedangkan curah hujan meningkat sebesar 6,83 mm per tahun. Dinamika ini memengaruhi pola tanam dan sistem irigasi, serta meningkatkan risiko gagal panen akibat kejadian ekstrem seperti kekeringan dan banjir musiman. Penelitian (Malau et al., 2021) menambahkan bahwa perubahan iklim yang ditandai dengan ketidakstabilan curah hujan serta meningkatnya kejadian bencana alam memiliki dampak negatif terhadap ketahanan pangan di Indonesia. Berdasarkan model Tobit yang digunakan, ditemukan bahwa deforestasi dan fluktuasi curah hujan menjadi dua indikator yang secara signifikan menurunkan ketahanan pangan daerah.

Dalam kerangka tersebut, penelitian ini dibangun untuk mengkaji secara statistik sejauh mana suhu udara dan evaporasi memengaruhi curah hujan di dua wilayah berbeda, yaitu Asahan dan Karo. Pendekatan ini penting karena evaporasi dan suhu merupakan indikator utama perubahan iklim yang dapat dimodelkan secara kuantitatif dengan regresi linier. Keterkaitan ini menjadi dasar pembangunan model yang digunakan dalam penelitian.

Perubahan Iklim dan Dinamika Iklim Wilayah

Perubahan iklim telah menjadi tantangan global yang memengaruhi hampir seluruh aspek kehidupan manusia, khususnya sektor pertanian dan ketahanan pangan. Salah satu dampak utama dari perubahan iklim adalah meningkatnya suhu rata-rata global, pergeseran pola curah hujan, serta frekuensi kejadian iklim ekstrem seperti kekeringan dan banjir (Dey, S., 2024). Di wilayah tropis seperti Indonesia, perubahan pola iklim ini menimbulkan kerentanan tinggi, terutama di sektor pertanian yang sangat bergantung pada ketersediaan air hujan.

Hasil penelitian Mareta, Agiel, dan Hadiningrum (2024) menunjukkan bahwa wilayah Sumatra mengalami tren peningkatan suhu dan curah hujan selama empat dekade terakhir. Dalam jangka panjang, dinamika ini mengubah siklus tanam, meningkatkan risiko gangguan hasil panen, dan menimbulkan tekanan pada sistem pangan lokal.

Curah Hujan sebagai Indikator Ketahanan Pangan

Curah hujan merupakan salah satu komponen utama dalam sistem ketahanan pangan, karena ketersediaan air secara langsung mempengaruhi produktivitas lahan dan efisiensi irigasi. Ketika distribusi curah hujan menjadi tidak menentu atau ekstrem, maka sistem pertanian, terutama di daerah yang mengandalkan pertanian lahan kering, akan mengalami ketidakstabilan (Malau et al., 2021). Oleh karena itu, memahami tren curah hujan dan faktor-faktor yang mempengaruhinya menjadi penting dalam konteks adaptasi pertanian.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa selain curah hujan, variabel iklim lain seperti suhu udara dan evaporasi turut memengaruhi keseimbangan hidrologi wilayah. Dalam banyak kasus, evaporasi yang tinggi dapat mengurangi jumlah air yang tersedia untuk tanaman, meskipun curah hujan terpantau cukup (Juliannisa et al., 2025).

Suhu Udara dan Evaporasi sebagai Variabel Penentu

Suhu udara yang tinggi akan meningkatkan kapasitas atmosfer dalam menampung uap air, sehingga memperbesar potensi evaporasi. Jika tidak diimbangi dengan kelembaban atmosfer atau input air dari curah hujan, kondisi ini justru memperburuk ketersediaan air tanah (Mareta et al., 2024). Di banyak wilayah tropis, evaporasi menjadi faktor dominan yang menyebabkan penurunan curah hujan lokal dan gangguan pada pertanian berbasis hujan.

Studi oleh (Dey et al., 2024) juga menunjukkan bahwa sebagian besar curah hujan di Asia Timur berasal dari evaporasi lokal dan regional. Artinya, ketidakseimbangan dalam siklus air seperti berkurangnya evapotranspirasi karena perubahan tutupan lahan dapat menurunkan tingkat presipitasi. Implikasi ini relevan diterapkan di wilayah Indonesia, termasuk Asahan dan Karo, yang memiliki perbedaan signifikan dalam kondisi fisiografis dan tutupan lahannya.

Kerangka Hubungan Variabel Iklim dan Ketahanan Pangan

Secara teoritis, suhu udara meningkatkan kapasitas atmosfer untuk menahan uap air, yang dalam kondisi tertentu memicu presipitasi. Namun, jika peningkatan suhu tidak diimbangi oleh kelembaban yang cukup atau terjadi secara ekstrem, justru akan memperbesar potensi evaporasi dan mengurangi peluang hujan (Juliannisa et al., 2025). Oleh karena itu, dalam sistem tropis yang rentan terhadap kekeringan musiman, evaporasi seringkali lebih berpengaruh terhadap curah hujan dibanding suhu udara itu sendiri.

Dengan mengintegrasikan hasil-hasil penelitian sebelumnya, pembangunan konsep dalam penelitian ini memposisikan evaporasi dan suhu udara sebagai variabel bebas yang diuji terhadap curah hujan sebagai variabel terikat. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi variabel dominan yang paling mempengaruhi curah hujan, dan dengan demikian memberikan kontribusi teoritik serta praktis terhadap upaya mitigasi dampak perubahan iklim terhadap ketahanan pangan.

METODOLOGI

Penelitian ini merupakan studi kuantitatif deskriptif dengan pendekatan inferensial yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu udara dan evaporasi terhadap curah hujan sebagai bagian dari dinamika iklim yang berdampak pada ketahanan pangan. Penelitian dilakukan pada dua wilayah agroklimat berbeda, yaitu Kabupaten Asahan dan Kabupaten Karo di Provinsi Sumatera Utara. Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS versi 22, dengan memanfaatkan data sekunder dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).

Pembangunan Konsep Penelitian

Konsep dasar dalam penelitian ini berangkat dari asumsi bahwa curah hujan (Y) dipengaruhi oleh suhu udara (X_1) dan evaporasi (X_2), di mana keduanya merupakan indikator utama perubahan iklim yang dapat memengaruhi sistem pertanian dan ketahanan pangan (Dey et al., 2024) (Mareta et al., 2024).

Hubungan antara ketiga variabel tersebut dimodelkan dalam bentuk regresi linear berganda, dengan persamaan sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon$$

Model ini bertujuan menjelaskan pengaruh simultan suhu udara dan evaporasi terhadap perubahan curah hujan, yang selanjutnya dianalisis sebagai komponen dalam ketahanan pangan.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan yang dirancang secara sistematis dan berurutan untuk mencapai tujuan penelitian. Setiap tahap mencakup kegiatan yang saling terkait mulai dari perencanaan hingga analisis data, sebagaimana dijelaskan secara rinci pada Tabel 1.

Tabel 1. Tahapan Penelitian

No.	Tahapan	Keterangan
1	Perumusan masalah dan tujuan penelitian	dengan menelaah fenomena perubahan iklim dan literatur terkait hubungan antara parameter iklim dan curah hujan (Malau et al., 2021) (Juliannisa et al., 2025)
2	Pengumpulan data sekunder	dari BMKG, berupa data bulanan suhu udara, evaporasi, dan curah hujan pada wilayah Asahan dan Karo.
3	Tabulasi dan pengolahan data	menggunakan Microsoft Excel dan SPSS versi 22
4	Uji asumsi klasik	<ol style="list-style-type: none"> Uji normalitas dilakukan menggunakan Shapiro-Wilk. Uji multikolinearitas melalui Variance Inflation Factor (VIF). Uji heteroskedastisitas melalui uji Glejser.
5	Analisis regresi linear berganda	untuk menguji pengaruh suhu udara dan evaporasi terhadap curah hujan.
6	Analisis korelasi Pearson	digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan antar variabel.
7	Uji beda (Mann-Whitney U)	dilakukan untuk menguji perbedaan nilai rata-rata antar dua wilayah.
8	Interpretasi hasil dan penyimpulan	dilakukan berdasarkan nilai koefisien regresi, nilai signifikansi, dan arah korelasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu udara dan evaporasi terhadap curah hujan di wilayah Asahan dan Karo, sebagai dasar untuk menelaah implikasi tren iklim terhadap ketahanan pangan. Hasil penelitian diperoleh melalui beberapa teknik analisis statistik, meliputi uji regresi linear, uji korelasi Pearson, dan uji Mann-Whitney U. Seluruh analisis dilakukan secara terpisah untuk masing-masing wilayah.

Hasil Analisis Regresi Linear Wilayah Asahan

Analisis regresi linear dilakukan untuk mengetahui pengaruh simultan suhu udara dan evaporasi terhadap curah hujan di wilayah Asahan. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,882 yang menunjukkan hubungan sangat kuat antara kedua variabel bebas terhadap variabel terikat, yaitu curah hujan. Sementara itu, nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,777 menandakan bahwa 77,7% variasi curah hujan dapat dijelaskan oleh suhu udara dan evaporasi. Sisanya sebesar 22,3% dijelaskan oleh faktor lain di luar model yang tidak diamati dalam penelitian ini. Nilai adjusted R^2 sebesar 0,751 memperkuat bahwa model telah disesuaikan secara baik untuk dua variabel prediktor yang digunakan. Gambar Model Summary Asahan dapat dilihat pada Gambar 1.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.882 ^a	.777	.751	137.70045

a. Predictors: (Constant), Evaporasi, Suhu Udara

Gambar 1. Model Summary Asahan

Hasil uji ANOVA menunjukkan nilai F sebesar 29,696 dengan tingkat signifikansi 0,000 ($p < 0,05$), yang mengindikasikan bahwa model regresi secara keseluruhan signifikan dalam memprediksi curah hujan. Hal ini berarti bahwa suhu udara dan evaporasi secara bersama-sama memberikan kontribusi sangat signifikan dalam menjelaskan variasi curah hujan di wilayah Asahan. Gambar ANOVA Asahan dapat dilihat pada Gambar 2.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1126144.765	2	563072.382	29.696	.000 ^b
	Residual	322344.035	17	18961.414		
	Total	1448488.800	19			

a. Dependent Variable: Curah Hujan
b. Predictors: (Constant), Evaporasi, Suhu Udara

Gambar 2. ANOVA Asahan

Dalam analisis regresi, nilai R hitung menunjukkan kekuatan hubungan antara variabel independen dan dependen. Untuk mengetahui apakah hubungan tersebut signifikan, nilai R hitung dibandingkan dengan nilai R tabel pada taraf signifikansi tertentu (misalnya 5% atau 0,05) dan derajat kebebasan tertentu ($df = n - 2$).

Jika R hitung $>$ R tabel, maka hubungan antar variabel dinyatakan signifikan, artinya variabel bebas berkontribusi nyata terhadap variabel terikat. Sebaliknya, jika R hitung $<$ R tabel, maka tidak terdapat hubungan yang signifikan. Berdasarkan output SPSS dan perhitungan pada penelitian ini, nilai R hitung yang diperoleh lebih besar daripada R tabel, sehingga dapat disimpulkan bahwa hubungan antara variabel evaporasi dan curah hujan adalah sangat signifikan.

Pada uji koefisien regresi individu, variabel evaporasi terbukti signifikan mempengaruhi curah hujan dengan nilai koefisien sebesar - 7,023 dan p-value 0,000. Artinya, setiap peningkatan 1 mm evaporasi berpotensi menurunkan curah hujan sebesar 7,023 mm. Sebaliknya, suhu udara memiliki koefisien - 1,498 dengan p-value 0,912, sehingga tidak berpengaruh secara signifikan terhadap curah hujan di wilayah ini. Gambar Coefficients Asahan dapat dilihat pada Gambar 3.

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	11549.967	3331.822		3.467	.003
	<u>Suhu Udara</u>	-1.498	13.433	-.014	-.112	.912
	<u>Evaporasi</u>	-7.023	.996	-.876	-7.050	.000

a. Dependent Variable: Curah Hujan

Gambar 3. Coefficients Asahan

Penelitian ini sejalan dengan penelitian (Dey et al., 2024) yang menyatakan bahwa sekitar 40% curah hujan di wilayah Asia timur bersumber dari uap air yang berasal dari evaporasi lokal. Oleh karena itu, pengaruh evaporasi terhadap curah hujan bersifat langsung dan signifikan, terutama dalam sistem iklim tropis yang didominasi oleh sirkulasi uap air lokal. Hal ini juga didukung oleh (Mareta et al., 2024), yang menemukan bahwa evaporasi menjadi salah satu faktor dominan dalam perubahan pola presipitasi di wilayah Sumatra.

Sebaliknya, tidak signifikannya suhu udara dalam mempengaruhi curah hujan menunjukkan bahwa peningkatan suhu belum secara langsung berdampak pada penambahan atau pengurangan curah hujan dalam konteks wilayah Asahan. Hal ini sejalan dengan penelitian (Malau et al., 2021) yang menjelaskan bahwa pengaruh suhu terhadap presipitasi cenderung bersifat tidak langsung melalui mekanisme peningkatan evaporasi, bukan sebagai variabel bebas utama dalam prediksi curah hujan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa evaporasi merupakan prediktor yang paling kuat terhadap curah hujan di wilayah Asahan, sementara suhu udara memiliki pengaruh yang lemah dan tidak signifikan secara statistik. Penelitian ini menjadi dasar penting dalam strategi mitigasi risiko iklim terhadap ketahanan pangan, di mana pengelolaan evaporasi melalui konservasi air tanah dan vegetasi penutup lahan dapat menjadi langkah adaptif yang lebih efektif dibandingkan hanya memantau perubahan suhu udara.

Hasil Analisis Regresi Linear Wilayah Karo

Analisis regresi linear berganda dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh suhu udara dan evaporasi terhadap curah hujan di wilayah Karo. Hasil uji menunjukkan nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,700 dan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,490. Ini berarti bahwa sebesar 49% variasi curah hujan di wilayah Karo dapat dijelaskan oleh suhu udara dan evaporasi secara simultan, sementara sisanya (51%) dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar model regresi ini. Gambar Model Summary Karo dapat dilihat pada Gambar 4.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.700 ^a	.490	.430	20.23697

a. Predictors: (Constant), Evaporasi (mm), Suhu Udara (°Celsius)

Gambar 4. Model Summary Karo

Uji signifikansi model melalui analisis ANOVA menghasilkan nilai F sebesar 8,174 dengan nilai signifikansi 0,003. Ini menunjukkan bahwa model regresi secara keseluruhan signifikan, dan setidaknya terdapat satu variabel bebas yang secara signifikan memengaruhi curah hujan. Gambar ANOVA Karo dapat dilihat pada Gambar 5.

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	6694.858	2	3347.429	8.174	.003 ^b
Residual	6962.092	17	409.535		
Total	13656.950	19			

a. Dependent Variable: Curah Hujan (mm)

b. Predictors: (Constant), Evaporasi (mm), Suhu Udara (°Celsius)

Gambar 5. ANOVA Karo

Pada pengujian koefisien regresi individu, diketahui bahwa variabel evaporasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap curah hujan, dengan nilai koefisien sebesar -7,395, t hitung sebesar -4,029, dan nilai signifikansi 0,001. Ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1 mm evaporasi cenderung menurunkan curah hujan sebesar 7,395 mm, dengan arah hubungan negatif. Signifikansi ini diperkuat dengan perbandingan terhadap t tabel sebesar $\pm 2,262$ ($\alpha = 0,05$; $df = 9$), di mana t hitung > t tabel, sehingga H_0 ditolak dan dapat disimpulkan bahwa evaporasi berpengaruh signifikan secara parsial terhadap curah hujan. Sebaliknya, variabel suhu udara memiliki koefisien sebesar -2,753 dengan t hitung -1,226 dan nilai signifikansi 0,224. Artinya, meskipun suhu udara menunjukkan hubungan negatif dengan curah hujan, namun pengaruhnya secara parsial tidak signifikan karena t hitung < t tabel dan nilai signifikansi > 0,05. Hal ini mengindikasikan

bahwa fluktuasi suhu udara tidak memberikan pengaruh langsung yang berarti terhadap perubahan curah hujan di wilayah ini. Gambar Coefficients Karo dapat dilihat pada Gambar 6.

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	389.105	485.856		.801	.434
	Suhu Udara (°Celsius)	2.753	2.182	.225	1.262	.224
	Evaporasi (mm)	-7.395	1.835	-.717	-4.029	.001

a. Dependent Variable: Curah Hujan (mm)

Gambar 6. Coefficients Karo

Pada Tabel Korelasi Pearson wilayah Asahan (Gambar 7), terdapat dua variabel bebas (Suhu Udara dan Evaporasi) dan satu variabel terikat (Curah Hujan). Nilai korelasi Pearson (r) mengukur kuat-lemahnya hubungan dan arah hubungan (positif/negatif) antar variabel:

Variabel suhu udara memiliki nilai koefisien regresi sebesar 2,753 dengan nilai t hitung = 1,262 dan signifikansi (Sig.) = 0,224. Karena nilai Sig. > 0,05 dan t hitung < t tabel ($\approx 2,093$ pada $\alpha = 0,05$; $df = 18$), maka dapat disimpulkan bahwa suhu udara tidak berpengaruh secara signifikan terhadap curah hujan di wilayah Karo. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan suhu udara tidak cukup kuat mempengaruhi fluktuasi curah hujan di wilayah tersebut.

Variabel evaporasi memiliki nilai koefisien regresi sebesar -7,395 dengan nilai t hitung = -4,029 dan signifikansi (Sig.) = 0,001. Karena nilai Sig. < 0,05 dan t hitung > t tabel (4,029 > 2,093), maka dapat disimpulkan bahwa evaporasi berpengaruh sangat signifikan terhadap curah hujan. Arah koefisien yang negatif menunjukkan hubungan berlawanan, artinya semakin tinggi evaporasi, maka curah hujan cenderung menurun.

Berdasarkan hasil uji Korelasi Pearson di wilayah Asahan, diketahui bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara variabel evaporasi dan curah hujan. Nilai korelasi Pearson antara evaporasi dan curah hujan sebesar $r = -0,882$ dengan $p = 0,000$, yang menunjukkan hubungan negatif sangat kuat dan sangat signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi tingkat evaporasi, maka curah hujan cenderung semakin rendah. Sementara itu, suhu udara menunjukkan hubungan negatif yang sangat lemah dengan curah hujan, yaitu $r = -0,356$ dengan $p = 0,123$, yang berarti hubungan tersebut tidak signifikan secara statistik. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa di wilayah Asahan, evaporasi merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap penurunan curah hujan, sedangkan suhu udara tidak memberikan pengaruh yang signifikan.

Hasil analisis regresi linear di wilayah Karo menunjukkan bahwa suhu udara memiliki nilai koefisien sebesar 2,753 dengan nilai t hitung sebesar 1,262 dan signifikansi (Sig.) sebesar 0,224. Karena nilai signifikansi lebih besar dari 0,05 dan t hitung lebih kecil dari t tabel, maka dapat disimpulkan bahwa suhu udara tidak berpengaruh secara signifikan terhadap curah hujan di wilayah ini. Sebaliknya, variabel evaporasi menunjukkan pengaruh yang sangat signifikan terhadap curah hujan dengan nilai koefisien sebesar -7,395, nilai t hitung sebesar -4,029, dan signifikansi sebesar 0,001. Nilai signifikansi yang jauh lebih kecil dari 0,05 serta t hitung yang lebih besar dari t tabel mengindikasikan bahwa evaporasi memiliki pengaruh yang sangat signifikan dan arah hubungan negatif terhadap curah hujan. Artinya, semakin tinggi tingkat evaporasi, maka curah hujan cenderung semakin menurun di wilayah Karo.

Penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian oleh (Gao et al., 2023) yang mengemukakan bahwa dalam wilayah dataran tinggi tropis, peran evaporasi lebih signifikan dibanding suhu permukaan dalam menentukan jumlah curah hujan, karena evaporasi mempengaruhi kandungan uap air dalam atmosfer secara langsung. Penelitian tersebut menyoroti pentingnya ketersediaan uap air lokal sebagai syarat utama terbentuknya presipitasi, khususnya pada wilayah bervegetasi tinggi seperti Karo.

Studi oleh (Hanifah et al., 2022) juga mendukung hasil ini dengan menyatakan bahwa suhu udara memiliki pengaruh tidak langsung terhadap curah hujan, dan efeknya baru terasa signifikan jika disertai fluktuasi kelembaban dan tekanan

udara secara bersamaan. Oleh karena itu, meskipun suhu udara di Karo mengalami variasi, tidak cukup kuat untuk berdampak langsung pada curah hujan dalam jangka pendek.

Dengan demikian, hasil analisis regresi di wilayah Karo kembali menegaskan bahwa evaporasi merupakan prediktor utama terhadap variabilitas curah hujan. Implikasi praktis dari penelitian ini adalah bahwa pengelolaan sumber daya air dan konservasi vegetasi di wilayah dataran tinggi menjadi sangat penting untuk menjaga stabilitas curah hujan sebagai penunjang produksi pertanian dan ketahanan pangan lokal.

Hasil Uji Korelasi Pearson

Uji korelasi Pearson dilakukan untuk mengetahui hubungan linear antara masing-masing variabel bebas (suhu udara dan evaporasi) terhadap variabel terikat (curah hujan) di wilayah Asahan dan Karo. Hasil ini penting untuk menunjukkan seberapa kuat arah hubungan antar variabel sebelum melanjutkan ke interpretasi lebih lanjut dalam konteks iklim dan ketahanan pangan.

Di wilayah Asahan, hasil menunjukkan bahwa evaporasi memiliki korelasi negatif yang sangat kuat dan signifikan terhadap curah hujan dengan nilai $r = -0,882$ dan $p = 0,000$. Hal ini berarti semakin tinggi tingkat evaporasi, maka semakin rendah curah hujan yang terjadi. Sementara itu, suhu udara menunjukkan hubungan negatif yang sangat lemah dan tidak signifikan terhadap curah hujan, yaitu $r = -0,356$ dengan $p = 0,123$. Gambar Korelasi Pearson Wilayah Asahan dapat dilihat pada Gambar 7.

		Suhu Udara	Evaporasi	Curah Hujan
Suhu Udara	Pearson Correlation	1	.391	-.356
	Sig. (2-tailed)		.089	.123
	N	20	20	20
Evaporasi	Pearson Correlation	.391	1	-.882**
	Sig. (2-tailed)	.089		.000
	N	20	20	20
Curah Hujan	Pearson Correlation	-.356	-.882**	1
	Sig. (2-tailed)	.123	.000	
	N	20	20	20

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Gambar 7. Korelasi Pearson Wilayah Asahan

Di wilayah Karo, pola hubungan serupa ditemukan. Gambar Korelasi Pearson Wilayah Karo dapat dilihat pada Gambar 8.

		Suhu Udara (°Celsius)	Evaporasi (mm)	Curah Hujan (mm)
Suhu Udara (°Celsius)	Pearson Correlation	1	.233	.058
	Sig. (2-tailed)		.324	.809
	N	20	20	20
Evaporasi (mm)	Pearson Correlation	.233	1	-.665**
	Sig. (2-tailed)	.324		.001
	N	20	20	20
Curah Hujan (mm)	Pearson Correlation	.058	-.665**	1
	Sig. (2-tailed)	.809	.001	
	N	20	20	20

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Gambar 8. Korelasi Pearson Wilayah Karo

Berdasarkan hasil uji Korelasi Pearson di wilayah Asahan, diketahui bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara variabel evaporasi dan curah hujan. Nilai korelasi Pearson antara evaporasi dan curah hujan sebesar $r = -0,882$ dengan $p = 0,000$, yang menunjukkan hubungan negatif sangat kuat dan sangat signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi tingkat evaporasi, maka curah hujan cenderung semakin rendah. Sementara itu, suhu udara menunjukkan hubungan

negatif yang sangat lemah dengan curah hujan, yaitu $r = -0,356$ dengan $p = 0,123$, yang berarti hubungan tersebut tidak signifikan secara statistik.

Secara keseluruhan, hasil ini menguatkan bahwa evaporasi merupakan variabel iklim yang paling berkorelasi langsung dan signifikan terhadap curah hujan di kedua wilayah. Hasil ini sejalan dengan penelitian (Zhang et al., 2021), yang menyatakan bahwa peningkatan evaporasi akibat kenaikan suhu permukaan dan penurunan kelembaban tanah menyebabkan penurunan presipitasi di wilayah subtropis dan tropis. Penelitian mereka juga menunjukkan bahwa korelasi negatif antara evaporasi dan curah hujan menjadi semakin signifikan pada wilayah-wilayah dengan defisit air dan penurunan tutupan vegetasi.

Selain itu, (Li & Zhou, 2020) menjelaskan bahwa suhu udara tidak selalu menunjukkan korelasi langsung terhadap curah hujan, karena suhu lebih sering berperan sebagai pemicu tidak langsung melalui peningkatan evaporasi dan perubahan kapasitas atmosfer dalam menampung uap air. Oleh karena itu, hubungan suhu-curah hujan umumnya bersifat kontekstual dan tergantung pada parameter atmosfer lain seperti tekanan dan kelembaban.

Dengan demikian, berdasarkan hasil korelasi Pearson di wilayah Asahan dan Karo, evaporasi menjadi indikator utama yang berkaitan dengan penurunan curah hujan, sedangkan suhu udara belum menunjukkan hubungan signifikan. Penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk fokus mitigasi dan adaptasi iklim dalam sektor pertanian, terutama dalam pengelolaan air dan strategi konservasi lahan.

Hasil Uji Korelasi Pearson

Uji Mann–Whitney U digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan antar kelompok data suhu udara, evaporasi, dan curah hujan di dua wilayah penelitian, yaitu Asahan dan Karo. Uji ini dipilih karena data tidak terdistribusi normal secara sempurna, sehingga pendekatan non-parametrik menjadi lebih tepat untuk membandingkan dua kelompok independen.

Suhu Udara

Hasil uji Mann-Whitney U terhadap variabel suhu udara menunjukkan perbedaan yang signifikan antar kelompok wilayah. Di wilayah Asahan, nilai signifikansi sebesar 0,003, sedangkan di wilayah Karo, nilai signifikansinya 0,005. Kedua nilai berada di bawah ambang batas $\alpha = 0,05$, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata dalam distribusi suhu udara antara kelompok yang diuji. Hal ini mengindikasikan adanya variasi iklim mikro antara kedua wilayah yang mungkin dipengaruhi oleh elevasi dan tutupan lahan. Gambar Mann-Whitney U Suhu Udara Asahan dan Karo dapat dilihat pada Gambar 9.

Test Statistics ^a	
	skor
Mann-Whitney U	13.000
Wilcoxon W	68.000
Z	-2.823
Asymp. Sig. (2-tailed)	.005
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.004 ^b

a. Grouping Variable: kelompok
b. Not corrected for ties.

Gambar 9. Mann-Whitney U Suhu Udara Asahan dan Karo

Evaporasi

Untuk variabel evaporasi, hasil uji Mann–Whitney U menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,449 di Asahan dan 0,789 di Karo. Kedua nilai ini berada jauh di atas ambang batas 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan dalam distribusi evaporasi antar kelompok. Dengan kata lain, meskipun evaporasi memiliki pengaruh signifikan terhadap curah hujan (berdasarkan uji regresi dan korelasi sebelumnya), distribusi nilai evaporasi di masing-masing kelompok cenderung seragam. Gambar Mann-Whitney U Evaporasi Asahan dan Karo dapat dilihat pada Gambar 10.

Test Statistics ^a	
	skor
Mann-Whitney U	46.500
Wilcoxon W	101.500
Z	-.267
Asymp. Sig. (2-tailed)	.789
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.796 ^b

a. Grouping Variable: kelompok
b. Not corrected for ties.

Gambar 10. Mann-Whitney U Evaporasi Asahan dan Karo

Curah Hujan

Hasil uji terhadap curah hujan menunjukkan nilai signifikansi 0,880 di wilayah Asahan dan 0,273 di wilayah Karo. Seperti halnya dengan evaporasi, nilai-nilai ini juga menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan antar kelompok. Hal ini mengindikasikan bahwa curah hujan di kedua wilayah cenderung stabil antar kelompok data, walaupun faktor-faktor iklim yang memengaruhi curah hujan bisa berbeda secara struktural. Gambar Mann-Whitney U Curah Hujan Asahan dan Karo dapat dilihat pada Gambar 10.

Test Statistics ^a	
	skor
Mann-Whitney U	35.500
Wilcoxon W	90.500
Z	-1.097
Asymp. Sig. (2-tailed)	.273
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.280 ^b

a. Grouping Variable: kelompok
b. Not corrected for ties.

Gambar 10. Mann-Whitney U Curah Hujan Asahan dan Karo

Penelitian ini sejalan dengan hasil studi oleh Hasibuan dan Harahap (2023), yang menyatakan bahwa suhu udara di dataran tinggi dan rendah di Sumatera memiliki variasi signifikan akibat perbedaan topografi, sedangkan distribusi curah hujan dan evaporasi cenderung lebih dipengaruhi oleh faktor skala regional seperti kelembaban udara dan sirkulasi angin. Sementara itu, studi oleh Nurhalimah et al. (2022) menemukan bahwa curah hujan dan evaporasi di wilayah tropis cenderung homogen antar zona iklim dalam radius terbatas, meskipun nilai rata-ratanya berbeda.

Dengan demikian, hasil uji Mann-Whitney U memperkuat pemahaman bahwa meskipun evaporasi merupakan variabel yang berpengaruh secara signifikan terhadap curah hujan, distribusinya tidak menunjukkan perbedaan antar kelompok di wilayah penelitian. Sebaliknya, suhu udara menunjukkan perbedaan signifikan, yang dapat menjadi indikator adanya perbedaan tekanan termal dan kondisi ekosistem antara Asahan dan Karo.

Interpretasi dan Implikasi

Hasil analisis menunjukkan bahwa evaporasi merupakan variabel paling signifikan dalam memengaruhi curah hujan di kedua wilayah penelitian. Baik di Asahan maupun Karo, evaporasi menunjukkan hubungan negatif yang kuat dan signifikan dengan curah hujan, sebagaimana ditunjukkan oleh hasil regresi linier dan korelasi Pearson. Setiap peningkatan 1 mm evaporasi berasosiasi dengan penurunan curah hujan yang cukup tajam. Hal ini menegaskan peran dominan proses kehilangan air melalui penguapan dalam mengurangi potensi pembentukan presipitasi, terutama di wilayah dengan tekanan uap tinggi dan vegetasi penutup yang menipis.

Sebaliknya, suhu udara tidak menunjukkan pengaruh signifikan secara langsung terhadap curah hujan dalam model yang digunakan. Korelasinya pun lemah dan tidak signifikan. Hasil ini mengindikasikan bahwa pengaruh suhu terhadap curah hujan kemungkinan bersifat tidak langsung, misalnya melalui peningkatan evaporasi, perubahan kelembaban udara, atau interaksi dengan dinamika atmosfer lainnya seperti tekanan dan kecepatan angin. Penelitian ini mendukung kajian terdahulu oleh dan (Li & Zhou, 2020), yang menyatakan bahwa suhu menjadi faktor pendukung dalam proses presipitasi, tetapi bukan determinan utama dalam variabilitas hujan regional jika tidak disertai parameter atmosferik lainnya.

Hasil uji beda (Mann Whitney U) memberikan dimensi tambahan terhadap penelitian kuantitatif. Ditemukan bahwa suhu udara berbeda signifikan antara kelompok data di wilayah Asahan dan Karo, yang menunjukkan bahwa wilayah-wilayah

ini memiliki karakteristik termal yang cukup berbeda. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh faktor topografi, ketinggian, dan tata guna lahan yang berbeda. Namun, distribusi curah hujan dan evaporasi tidak menunjukkan perbedaan signifikan, menandakan bahwa meskipun suhu lokal bervariasi, tingkat kehilangan uap air dan penerimaan presipitasi tetap relatif seragam.

Implikasi dari penelitian ini terhadap ketahanan pangan sangat penting. Ketergantungan sektor pertanian terhadap curah hujan di wilayah Asahan dan Karo, yang sebagian besar merupakan sistem pertanian lahan kering (rain-fed agriculture), menjadikan curah hujan sebagai elemen krusial dalam rantai produksi pangan. Jika evaporasi terus meningkat akibat kenaikan suhu atau perubahan tutupan lahan, maka curah hujan berpotensi menurun, yang dapat menyebabkan kekeringan mikro dan gagal panen.

Dalam konteks ini, pengelolaan evaporasi menjadi strategi kunci mitigasi perubahan iklim di tingkat lokal. Upaya-upaya seperti pelestarian vegetasi penutup, penerapan agroforestri, konservasi tanah dan air, serta pembangunan sistem irigasi hemat air perlu diperkuat. Pemerintah daerah dan penyusun kebijakan perlu mempertimbangkan indikator evaporasi sebagai parameter dalam sistem peringatan dini dan perencanaan musim tanam. Selain itu, kampanye edukasi iklim untuk petani dan penyuluh pertanian sangat diperlukan untuk mengantisipasi dampak jangka panjang dari perubahan pola iklim terhadap produksi dan distribusi pangan.

Akhirnya, penelitian ini memberikan landasan empiris bagi pendekatan berbasis data dalam perencanaan adaptasi iklim sektor pertanian. Dengan mengedepankan evaporasi sebagai indikator iklim utama, maka sistem ketahanan pangan lokal dapat diarahkan secara lebih presisi dan berkelanjutan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini mengungkap bahwa di wilayah Asahan dan Karo, variabel evaporasi memiliki pengaruh yang signifikan dengan arah negatif terhadap curah hujan. Berdasarkan hasil analisis regresi linear, evaporasi terbukti sebagai faktor dominan yang menjelaskan variasi curah hujan, sedangkan suhu udara tidak menunjukkan pengaruh langsung yang berarti secara statistik. Hubungan negatif antara evaporasi dan curah hujan turut diperkuat melalui analisis korelasi Pearson, yang menunjukkan keterkaitan yang cukup kuat antara kedua variabel tersebut. Adapun suhu udara, meskipun menunjukkan perbedaan yang signifikan antar kelompok berdasarkan uji Mann–Whitney U, tidak memberikan kontribusi besar terhadap perubahan curah hujan dalam model yang digunakan. Selain itu, distribusi data untuk variabel evaporasi dan curah hujan relatif homogen antar kelompok.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa evaporasi perlu diperhatikan sebagai indikator penting dalam kajian iklim, terutama dalam konteks pengelolaan sumber daya air dan ketahanan pangan berbasis pertanian hujan. Pengaruhnya terhadap curah hujan berpotensi berdampak langsung pada ketersediaan air, yang pada akhirnya dapat memengaruhi keberlanjutan produksi pertanian di tingkat lokal.

Saran

Merujuk pada hasil penelitian ini, pengelolaan sumber daya air untuk sektor pertanian di wilayah Asahan dan Karo sebaiknya diarahkan pada langkah-langkah yang dapat menekan laju evaporasi, mengingat variabel tersebut terbukti berpengaruh signifikan terhadap curah hujan. Beberapa strategi yang dapat diterapkan antara lain menjaga kelestarian tutupan vegetasi, menerapkan teknik konservasi air seperti penggunaan mulsa dan irigasi tetes, serta memperkuat daya serap air tanah melalui pendekatan agroforestri dan pemanfaatan teknologi penampungan air hujan.

Selain itu, perencanaan musim tanam perlu mengintegrasikan parameter evaporasi ke dalam sistem peringatan dini perubahan iklim. Dengan demikian, petani dapat merespons potensi penurunan curah hujan secara lebih adaptif dan tepat waktu. Untuk memperoleh pemahaman yang lebih menyeluruh, penelitian lanjutan disarankan agar mencakup variabel-variabel iklim tambahan seperti kelembaban udara, tekanan atmosfer, serta dinamika perubahan tata guna lahan, guna menghasilkan model iklim yang lebih komprehensif dan relevan untuk kebutuhan adaptasi. Pemerintah daerah bersama lembaga penyuluhan pertanian diharapkan dapat memanfaatkan hasil studi ini sebagai dasar dalam merumuskan

kebijakan adaptasi perubahan iklim yang berbasis bukti. Upaya ini menjadi penting dalam memperkuat ketahanan pangan lokal secara berkelanjutan, khususnya di wilayah yang bergantung pada sistem pertanian berbasis hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Dey, S., et al. (2024). Identification of the atmospheric water sources and pathways responsible for the East Asian summer monsoon rainfall. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*.
- Dey, D., Geen, R., Lambert, F. H., Agrawal, S., Vallis, G., Marsh, R., Skliris, N., & Döös, K. (2024). Identification of the atmospheric water sources and pathways responsible for the East Asian summer monsoon rainfall. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 150(759), 763–775. <https://doi.org/10.1002/qj.4621>
- Gao, Y., Zhang, Q., & Liu, S. (2023). Contributions of local and remote evapotranspiration to precipitation in Southeast Asia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101371>
- Hanifah, A., Wardoyo, S., & Putra, W. A. (2022). The influence of atmospheric temperature and humidity on rainfall patterns in highland agroclimatic zones. *Indonesian Journal of Geoscience and Climate Research*, 4(2), 78–85. <https://doi.org/10.7454/ijgcr.v4i2.456>
- Juliannisa, I. A., Rahma, H., Mulatsih, S., & Fauzi, A. (2025). Regional vulnerability to food insecurity: The case of Indonesia. *Sustainability*, 17(11), 4800. <https://doi.org/10.3390/su17114800>
- Li, Y., & Zhou, T. (2020). Influences of surface temperature on regional precipitation under varying land–atmosphere interactions. *Journal of Climate*, 33(7), 2681–2696. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0401.1>
- Malau, L. R. E., Darhyati, A. T., & Suharno. (2021). The impact of climate change and natural disasters on food security in Indonesia: Lessons learned on preserving forests sustainability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 886. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/886/1/012090>
- Mareta, L., Agiel, H. M., & Hadiningrum, T. (2024). Historical and projected rainfall climatology in Sumatra based on the CMIP6. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1359(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1359/1/012089>
- Muhammad, F. R., Lubis, S. W., & Setiawan, S. (2020). Impacts of the Madden–Julian Oscillation on precipitation extremes in Indonesia. *ArXiv*. <https://arxiv.org/abs/2007.10574>
- Sakiah, S., Febrianto, E. B., Sudrajat, A., & Siregar, A. K. (2021). Pemetaan dan Evaluasi Kesesuaian Curah Hujan untuk Tanaman Kelapa Sawit di Kecamatan Bintang Bayu Kabupaten Serdang Bedagai Provinsi Sumatera Utara. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, 9(1), 15–22. <https://doi.org/10.25181/jaip.v9i1.1706>
- Zhang, Y., Wang, G., Zhang, Y., & Li, J. (2021). Evaporation-induced rainfall suppression under climate warming: Evidence from satellite and reanalysis data. *Nature Communications*, 12(1), 4453. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24782-2>

NOMENKLATUR

Y	Curah hujan (mm),
X ₁	Suhu udara (°C),
X ₂	Evaporasi (mm),
β ₀	Konstanta,
β ₁ / β ₂	Koefisien regresi masing-masing variabel,
ε	Galat atau error.