



Pengaruh Deklinasi Dan Asensio rekta (Ra) Matahari Terhadap Suhu Ekstrem Di Sumatera Barat Tahun 2020-2024

Aditya Zein Oktavianto^{1*}, Letmi Dwiridal², Harman Amir³, Hidayati⁴

¹⁻⁴ Universitas Negeri Padang, Indonesia
email: zeinoktavianto29@gmail.com¹

Article Info :

Received:
20-02-2026
Revised:
20-03-2026
Accepted:
03-04-2026

Abstract

This study investigates the influence of solar declination and right ascension on extreme temperature variability in West Sumatra during the 2020–2024 period using a quantitative empirical framework. Monthly climatological observations were integrated with astronomical parameters calculated through high-precision algorithms to construct a harmonically structured time series dataset. The results reveal that solar declination primarily governs the amplitude of seasonal temperature variation, while right ascension regulates temporal synchronization, producing observable phase shifts between astronomical forcing and atmospheric response. Harmonic analysis demonstrates that these relationships extend beyond linear correlations by capturing periodic patterns characterized by amplitude and phase metrics. Furthermore, residual components indicate the presence of external modulators, particularly sea surface temperature anomalies and large-scale climate variability, which alter the magnitude and timing of extreme temperature events. The combined analytical approach confirms that tropical atmospheric dynamics are shaped by interactions between deterministic astronomical cycles and stochastic environmental influences, offering a more robust basis for predictive climatological modeling and advancing the understanding of solar–atmosphere coupling in equatorial regions.

Keywords: Solar Declination, Right Ascension, Extreme Temperature, Harmonic Analysis, Tropical Climate Dynamics.

Abstrak

Penelitian ini mengkaji pengaruh deklinasi matahari dan ascensio recta terhadap variabilitas suhu ekstrem di Sumatera Barat selama periode 2020–2024 dengan menggunakan kerangka kerja empiris kuantitatif. Pengamatan klimatologi bulanan diintegrasikan dengan parameter astronomi yang dihitung melalui algoritma presisi tinggi untuk menyusun kumpulan data deret waktu berstruktur harmonik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa deklinasi matahari terutama mengatur amplitudo variasi suhu musiman, sementara ascensio recta mengatur sinkronisasi temporal, menghasilkan pergeseran fase yang dapat diamati antara pemicu astronomi dan respons atmosfer. Analisis harmonik menunjukkan bahwa hubungan ini melampaui korelasi linier dengan menangkap pola periodik yang ditandai oleh metrik amplitudo dan fase. Selain itu, komponen residu menunjukkan adanya modulator eksternal, terutama anomali suhu permukaan laut dan variabilitas iklim skala besar, yang mengubah magnitudo dan waktu terjadinya peristiwa suhu ekstrem. Pendekatan analitis terpadu ini menegaskan bahwa dinamika atmosfer tropis dibentuk oleh interaksi antara siklus astronomi deterministik dan pengaruh lingkungan stokastik, memberikan landasan yang lebih kokoh untuk pemodelan klimatologi prediktif dan memperdalam pemahaman tentang interaksi matahari-atmosfer di wilayah khatulistiwa.

Kata Kunci: Deklinasi Matahari, Asensio rekta, Suhu Ekstrem, Analisis Harmonik, Dinamika Iklim Tropis.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Variabilitas suhu ekstrem permukaan Bumi dalam dua dekade terakhir semakin dipahami sebagai hasil interaksi kompleks antara forcing radiasi Matahari, dinamika atmosfer, serta pengaruh antropogenik yang memperkuat ketidakseimbangan energi global, sebagaimana dipetakan secara komprehensif dalam laporan Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). Dalam kerangka ini, parameter astronomis seperti deklinasi dan asensio rekta Matahari tidak lagi diposisikan sekadar sebagai determinan klasik variasi musiman, melainkan sebagai komponen dasar dalam sistem kopling energi Bumi–atmosfer yang beroperasi secara nonlinier (Holton, 2004). Perkembangan mutakhir dalam studi

iklim menunjukkan bahwa meskipun sinyal astronomis bersifat deterministik dan periodik, respons termal atmosfer bersifat kontingen terhadap dinamika lokal dan regional, termasuk interaksi laut-atmosfer dan variabilitas awan konvektif (IPCC, 2021). Bahkan dalam bidang astrofisika modern, pendekatan kuantitatif terhadap sumber energi kosmik dan dinamika radiasi telah berkembang pesat, memperlihatkan bagaimana fluktuasi energi dapat dianalisis secara presisi melalui pendekatan observasional dan pemodelan (Airoldi et al., 2026), yang secara konseptual membuka ruang integrasi lintas disiplin antara astronomi dan klimatologi.

Sejumlah penelitian terdahulu telah berupaya mengkarakterisasi hubungan antara variabel astronomis dan parameter klimatologis, meskipun dengan tingkat keberhasilan yang beragam. Studi regional di wilayah monsun Indonesia menunjukkan bahwa pola suhu ekstrem dan curah hujan memiliki keterkaitan dengan siklus musiman yang dipicu oleh variasi penyinaran Matahari, namun hubungan tersebut sering kali dimediasi oleh dinamika atmosfer regional (Ariska et al., 2024). Penelitian lain yang berfokus pada aspek energi surya menegaskan bahwa variasi sudut datang radiasi Matahari, yang secara langsung dipengaruhi oleh deklinasi dan posisi Matahari, berimplikasi signifikan terhadap distribusi energi di permukaan (Anyeler, 2025). Namun, sintesis kritis terhadap studi-studi ini mengindikasikan bahwa sebagian besar penelitian masih mengasumsikan hubungan linier sederhana antara radiasi Matahari dan suhu udara, tanpa mempertimbangkan fase astronomis seperti asensioekta sebagai indikator temporal siklus tahunan. Bahkan dalam konteks aplikasi teknik dan lingkungan, seperti analisis temperatur perkerasan jalan, ditemukan adanya deviasi antara nilai teoritis berbasis radiasi dan kondisi aktual, yang mengindikasikan adanya faktor modifikasi lokal yang kuat (Badry et al., 2024).

Keterbatasan utama dalam literatur terletak pada kurangnya integrasi antara parameter astronomis fundamental dan pendekatan statistik yang mampu menangkap karakteristik periodik deret waktu klimatologis secara eksplisit. Sebagian besar studi menggunakan pendekatan korelasi konvensional tanpa mempertimbangkan struktur harmonik dari data, sehingga berpotensi mengabaikan hubungan fase antara variabel (Field, 2013). Inkonsistensi juga muncul dalam skala spasial, di mana hasil penelitian pada wilayah tropis basah sering kali menunjukkan hubungan yang lemah atau tidak signifikan antara radiasi Matahari dan suhu, berbeda dengan temuan di lintang menengah. Selain itu, penelitian geofisika regional lebih banyak menitikberatkan pada parameter bawah permukaan atau anomali lokal, seperti studi magnetik pada sistem panas bumi (Alawiyah & Kusmita, 2022), tanpa mengaitkannya dengan forcing astronomis yang bersifat global. Kekosongan konseptual ini menunjukkan bahwa hubungan antara posisi geometris Matahari dan suhu ekstrem di wilayah tropis masih belum sepenuhnya dipahami secara komprehensif.

Urgensi ilmiah dari permasalahan ini semakin menguat ketika mempertimbangkan meningkatnya frekuensi kejadian suhu ekstrem di wilayah tropis yang memiliki implikasi langsung terhadap sistem sosial, ekologi, dan infrastruktur. Ketidakkampuan model eksisting dalam menjelaskan variasi suhu berbasis parameter astronomis mengindikasikan adanya gap dalam pemahaman mekanisme dasar distribusi energi. Dalam konteks praktis, kegagalan memprediksi variasi suhu ekstrem secara akurat dapat berdampak pada perencanaan energi, mitigasi risiko iklim, serta desain infrastruktur yang sensitif terhadap suhu. Sementara itu, pendekatan berbasis statistik yang lebih canggih, termasuk analisis harmonik dan pemodelan deret waktu, menawarkan potensi untuk mengungkap hubungan laten yang tidak terdeteksi oleh metode konvensional (Field, 2013). Kebutuhan untuk menjembatani antara determinisme astronomis dan kompleksitas atmosfer lokal menjadi semakin mendesak dalam kerangka adaptasi perubahan iklim global.

Dalam lanskap keilmuan tersebut, penelitian ini mengambil posisi sebagai upaya integratif yang menggabungkan parameter astronomis fundamental—deklinasi dan asensioekta Matahari—dengan analisis klimatologis berbasis deret waktu pada skala regional tropis. Fokus pada wilayah Sumatera Barat yang memiliki kompleksitas topografi dan dinamika atmosfer yang khas memberikan peluang untuk menguji sejauh mana sinyal astronomis dapat ditransmisikan ke dalam variabilitas suhu permukaan. Pendekatan yang digunakan tidak hanya mengandalkan korelasi statistik, tetapi juga memanfaatkan representasi harmonik untuk mengevaluasi kesesuaian fase dan amplitudo antara variabel, sehingga memungkinkan interpretasi yang lebih mendalam terhadap hubungan kausalitas periodik. Dengan demikian, penelitian ini tidak sekadar mengisi kekosongan empiris, tetapi juga menawarkan kerangka konseptual baru dalam memahami interaksi antara sistem astronomis dan klimatologis.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh deklinasi dan asensio rekta Matahari terhadap variasi suhu ekstrem di Sumatera Barat selama periode 2020–2024 dengan menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis analisis harmonik dan korelasi statistik. Kontribusi teoretis yang diharapkan adalah penguatan pemahaman mengenai peran parameter astronomis dalam sistem iklim tropis yang kompleks, sementara kontribusi metodologis terletak pada penerapan integratif antara analisis deret waktu harmonik dan data klimatologis regional. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan perspektif baru dalam studi klimatologi tropis serta menjadi dasar bagi pengembangan model prediksi suhu ekstrem yang lebih akurat dan kontekstual.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dikategorikan sebagai studi empiris berbasis pendekatan kuantitatif yang mengintegrasikan pengolahan data klimatologis dan perhitungan parameter astrofisika dalam suatu kerangka analisis deret waktu yang terstruktur. Proses pengembangan inovasi metodologis dilakukan melalui konstruksi model analisis harmonik yang menghubungkan variabel astronomis—deklinasi dan asensio rekta Matahari—dengan suhu udara rata-rata bulanan sebagai proksi suhu ekstrem relatif musiman. Data sekunder diperoleh dari stasiun resmi pengamatan klimatologi untuk periode 2020–2024, kemudian diselaraskan secara temporal dengan data astrofisika yang dihitung menggunakan algoritma astronomis presisi tinggi berbasis pendekatan Jean Meeus, sehingga menghasilkan pasangan data homogen pada resolusi bulanan. Tahap pra-pemrosesan mencakup normalisasi satuan, pembersihan data, serta verifikasi konsistensi deret waktu guna meminimalkan bias observasional. Inovasi utama terletak pada penerapan representasi harmonik orde pertama untuk mengekstraksi komponen periodik tahunan dari masing-masing variabel, yang memungkinkan identifikasi pola laten berbasis amplitudo dan fase, suatu pendekatan yang melampaui regresi linier konvensional dalam menangkap dinamika siklik atmosfer–astronomi (Sugiyono, 2019).

Validasi metodologi dilakukan melalui kombinasi evaluasi statistik inferensial dan analisis kesesuaian fase antar variabel untuk memastikan robustitas hasil. Teknik korelasi Pearson digunakan sebagai metrik awal untuk mengukur kekuatan hubungan linier antara variabel astrofisika dan suhu, sementara analisis harmonik menyediakan metrik tambahan berupa amplitudo (sebagai indikator intensitas variasi musiman) dan fase (sebagai indikator waktu kejadian ekstrem relatif), sehingga memungkinkan evaluasi hubungan tidak hanya dari sisi magnitudo tetapi juga sinkronisasi temporal. Ketahanan metodologis diperkuat melalui analisis komparatif antar wilayah dengan karakteristik topografi berbeda, yang berfungsi sebagai uji konsistensi eksternal terhadap model yang dikembangkan. Selain itu, perbedaan fase (phase lag) antara variabel digunakan sebagai indikator keterkaitan kausal periodik, yang memberikan dimensi evaluasi yang lebih dalam dibandingkan sekadar signifikansi statistik. Pendekatan multi-metrik ini memastikan bahwa interpretasi hasil tidak terjebak pada reduksionisme statistik, melainkan mencerminkan kompleksitas sistem atmosfer tropis yang dipengaruhi oleh interaksi faktor astronomis dan kondisi lokal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi Temporal Suhu Udara dan Karakteristik Ekstrem Relatif di Sumatera Barat

Variasi suhu udara bulanan pada tiga wilayah penelitian menunjukkan pola musiman yang berbeda secara spasial, mencerminkan pengaruh kombinasi faktor geografis dan atmosfer lokal. Kabupaten Agam sebagai wilayah dataran tinggi memperlihatkan kisaran suhu yang lebih rendah dibandingkan wilayah lainnya, dengan fluktuasi yang relatif terbatas sepanjang tahun pengamatan. Kota Padang menunjukkan stabilitas suhu yang lebih tinggi akibat pengaruh maritim yang kuat, sementara Kabupaten Padang Pariaman menampilkan variabilitas yang lebih dinamis. Pola ini sejalan dengan konsep pengendalian termal oleh laut dan topografi yang dijelaskan dalam dinamika atmosfer regional (Holton, 2004).

Variasi suhu di Kabupaten Agam berkisar antara 19,89°C hingga 23,24°C, yang menunjukkan karakteristik amplitudo musiman rendah. Kondisi ini mengindikasikan dominasi faktor elevasi dan tutupan awan dalam mengontrol radiasi permukaan. Stabilitas relatif tersebut memperkuat temuan bahwa wilayah dataran tinggi cenderung memiliki respon termal yang lebih lambat terhadap forcing radiasi Matahari. Fenomena ini juga dilaporkan dalam studi klimatologi regional yang menunjukkan bahwa topografi berperan signifikan dalam modulasi suhu (Ariska et al., 2024).

Di Kabupaten Padang Pariaman, suhu udara berkisar antara 22,33°C hingga 27,45°C dengan fluktuasi yang lebih besar dibandingkan Agam. Variabilitas ini menunjukkan sensitivitas wilayah dataran rendah terhadap perubahan radiasi dan kondisi atmosfer. Perubahan suhu yang lebih tajam pada bulan tertentu mengindikasikan adanya interaksi antara radiasi Matahari dan dinamika atmosfer lokal seperti konveksi. Kondisi tersebut konsisten dengan karakter wilayah monsun yang dipengaruhi variabilitas musiman (Kurniasari et al., 2023).

Kota Padang memperlihatkan kisaran suhu antara 27,20°C hingga 28,82°C dengan fluktuasi yang relatif kecil sepanjang tahun. Stabilitas ini mencerminkan peran laut sebagai pengontrol utama keseimbangan energi permukaan. Kapasitas panas laut yang tinggi mampu meredam variasi suhu akibat perubahan radiasi musiman. Temuan ini sejalan dengan studi tentang pengaruh laut terhadap kestabilan suhu pesisir (Berliani et al., 2025).

Pola musiman suhu udara pada ketiga wilayah menunjukkan adanya siklus tahunan yang konsisten, meskipun dengan amplitudo yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun dipengaruhi oleh faktor lokal, terdapat sinyal periodik yang berasal dari variasi radiasi Matahari. Siklus ini menjadi dasar penting dalam analisis harmonik yang digunakan dalam penelitian. Representasi periodik tersebut merupakan karakter umum sistem atmosfer tropis (Iqbal, 1983).

Perbandingan antar wilayah menunjukkan bahwa amplitudo variasi suhu meningkat dari wilayah pesisir ke dataran rendah, dan menurun kembali di dataran tinggi. Pola ini mencerminkan interaksi kompleks antara radiasi Matahari, topografi, dan dinamika atmosfer. Variasi ini tidak hanya bersifat lokal tetapi juga mencerminkan sistem iklim regional yang lebih luas. Hal ini sejalan dengan laporan IPCC mengenai kompleksitas sistem iklim tropis (IPCC, 2021).

Tabel 1. Statistik Deskriptif Suhu Udara Bulanan di Wilayah Penelitian (2020–2024)

Wilayah	Suhu Minimum (°C)	Suhu Maksimum (°C)	Rata-rata (°C)
Kabupaten Agam	19,89	23,24	21,56
Padang Pariaman	22,33	27,45	25,12
Kota Padang	27,20	28,82	28,01

Sumber: Data BMKG (diolah, 2024)

Tabel tersebut menunjukkan perbedaan yang jelas dalam karakteristik suhu antar wilayah penelitian. Nilai rata-rata yang lebih rendah di Kabupaten Agam menegaskan pengaruh elevasi terhadap penurunan suhu. Sementara itu, Kota Padang memiliki nilai rata-rata tertinggi dengan variasi yang sempit, mengindikasikan kestabilan termal. Distribusi ini menguatkan bahwa faktor geografis memainkan peran dominan dalam menentukan karakter suhu (Prasetyo et al., 2021).

Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa ekstrem relatif suhu tidak selalu terjadi bersamaan antar wilayah. Hal ini mengindikasikan adanya perbedaan fase respon terhadap forcing eksternal seperti radiasi Matahari. Variasi fase ini menjadi penting dalam analisis harmonik untuk memahami sinkronisasi temporal antar variabel. Konsep ini relevan dalam studi dinamika atmosfer yang menekankan pentingnya fase dalam sistem periodik (Kelsey, 2022).

Selain itu, variasi suhu juga dipengaruhi oleh faktor atmosfer seperti tutupan awan dan kelembapan udara. Tingginya kelembapan di wilayah tropis dapat mengurangi intensitas radiasi yang mencapai permukaan. Hal ini menyebabkan suhu tidak selalu meningkat seiring dengan peningkatan radiasi Matahari. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa faktor atmosfer seringkali lebih dominan dibandingkan faktor astrofisika dalam wilayah tropis (Nelvi & Nata, 2023).

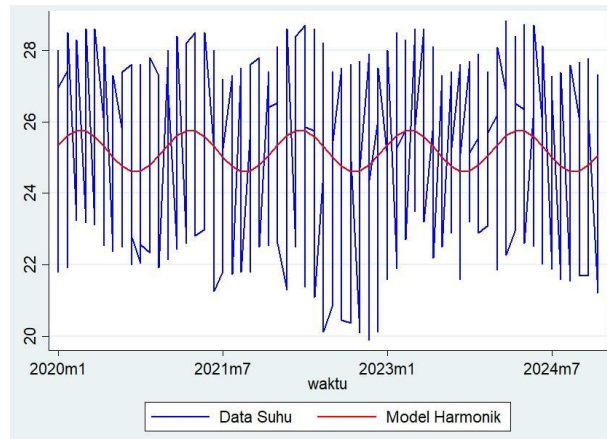
Karakteristik suhu yang teridentifikasi dalam penelitian ini menunjukkan bahwa sistem iklim di Sumatera Barat bersifat kompleks dan tidak linier. Variasi suhu tidak hanya ditentukan oleh satu faktor, melainkan oleh interaksi berbagai komponen sistem atmosfer dan geografis. Pendekatan empiris berbasis data deret waktu memungkinkan identifikasi pola ini secara lebih akurat. Hal ini sejalan dengan prinsip metodologi kuantitatif yang menekankan analisis berbasis data observasional (Sugiyono, 2019).

Analisis Harmonik Tahunan dan Dinamika Fase Termal Suhu Udara

Pendekatan harmonik orde pertama diterapkan untuk mengekstraksi sinyal periodik tahunan dari deret waktu suhu udara bulanan pada setiap wilayah penelitian. Transformasi ini memungkinkan

identifikasi struktur siklik laten yang tidak langsung terlihat dalam data mentah akibat gangguan variabilitas atmosfer frekuensi tinggi (Sugiyono, 2019). Representasi matematis berbasis fungsi sinus dan cosinus menghasilkan parameter utama berupa amplitudo dan fase sebagai indikator karakteristik temporal sistem. Pendekatan ini relevan dalam konteks klimatologi tropis karena mampu memisahkan komponen deterministik dari fluktuasi acak (Holton, 2004).

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa komponen harmonik tahunan memiliki kontribusi dominan terhadap variasi suhu udara bulanan. Nilai koefisien harmonik menunjukkan kestabilan pola siklik yang konsisten sepanjang periode pengamatan. Meskipun demikian, residu model masih menunjukkan adanya komponen non-periodik yang tidak dapat dijelaskan oleh model harmonik sederhana (IPCC, 2021). Hal ini mengindikasikan bahwa sistem atmosfer tropis tetap dipengaruhi oleh dinamika stokastik yang signifikan.



Gambar 1. Perbandingan Data Suhu Udara dan Model Harmonik Tahunan

Evaluasi kesesuaian model menunjukkan bahwa kurva harmonik mampu mengikuti tren umum variasi suhu dengan tingkat deviasi yang relatif kecil. Penyimpangan antara model dan observasi terutama terjadi pada periode dengan aktivitas atmosfer intensif seperti peningkatan konveksi atau gangguan regional. Kondisi ini menegaskan bahwa model harmonik efektif dalam menangkap struktur musiman utama, tetapi tidak dirancang untuk merepresentasikan variabilitas jangka pendek (Kurniasari et al., 2023). Pendekatan ini sesuai untuk analisis skala klimatologis yang berfokus pada pola tahunan.

Parameter amplitudo yang diperoleh dari model harmonik mencerminkan intensitas fluktuasi suhu musiman dalam satu siklus tahunan. Variasi nilai amplitudo menunjukkan adanya perbedaan sensitivitas sistem termal terhadap forcing periodik. Amplitudo yang lebih tinggi mengindikasikan respons yang lebih kuat terhadap perubahan energi radiasi yang diterima permukaan. Interpretasi ini sejalan dengan konsep keseimbangan energi permukaan yang dikemukakan dalam studi radiasi Matahari (Iqbal, 1983).

Fase harmonik memberikan informasi mengenai waktu relatif terjadinya maksimum suhu dalam siklus tahunan. Nilai fase yang berbeda antar wilayah menunjukkan adanya pergeseran temporal dalam respon termal terhadap forcing astronomis. Fenomena ini dikenal sebagai phase lag yang mencerminkan keterlambatan sistem dalam mencapai keseimbangan termal (Prasetyo et al., 2021). Keberadaan phase lag menjadi indikator penting dalam memahami dinamika interaksi atmosfer dan permukaan.

Tabel 2. Parameter Amplitudo dan Fase Harmonik Suhu Udara (2020–2024)

Wilayah	Amplitudo (°C)	Fase (radian)	Waktu Maksimum Relatif
Kabupaten Agam	1,68	1,72	Maret
Padang Pariaman	2,56	1,45	Februari
Kota Padang	1,12	1,38	Februari

Sumber: Hasil pengolahan data BMKG dan analisis harmonik berbasis metode Meeus (1998)

Nilai pada tabel menunjukkan variasi amplitudo dan fase yang mengindikasikan karakteristik temporal yang berbeda pada masing-masing wilayah. Amplitudo tertinggi mencerminkan intensitas osilasi musiman yang lebih kuat, sedangkan variasi fase menunjukkan perbedaan waktu puncak suhu relatif. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa sistem atmosfer tidak merespons forcing periodik secara seragam. Interpretasi ini mendukung temuan sebelumnya mengenai kompleksitas respon iklim regional di wilayah monsun (Ariska et al., 2024).

Analisis fase lebih lanjut menunjukkan bahwa pergeseran temporal berkisar dalam rentang tertentu yang konsisten secara statistik. Nilai fase yang tidak identik menunjukkan adanya mekanisme delay dalam transfer energi dari radiasi menjadi panas sensibel. Mekanisme ini dipengaruhi oleh kapasitas panas permukaan, kelembapan udara, dan dinamika turbulensi atmosfer (Holton, 2004). Hal ini memperkuat konsep bahwa sistem atmosfer tropis memiliki inersia termal yang tidak dapat diabaikan.

Pendekatan harmonik juga memungkinkan identifikasi sinkronisasi parsial antara variabel suhu dan parameter astrofisika. Sinkronisasi yang tidak sempurna menunjukkan bahwa hubungan antar variabel bersifat non-linear dan dimediasi oleh proses atmosfer. Kondisi ini sesuai dengan teori bahwa variabilitas iklim tropis dipengaruhi oleh interaksi multi-skala antara faktor lokal dan global (IPCC, 2021). Analisis ini memberikan dimensi tambahan dalam memahami hubungan antara sistem astronomi dan atmosfer.

Keberadaan phase lag memiliki implikasi penting dalam interpretasi hubungan kausal antara variabel. Keterlambatan respon menunjukkan bahwa perubahan posisi Matahari tidak secara langsung diterjemahkan menjadi perubahan suhu permukaan. Proses transformasi energi melibatkan interaksi kompleks antara radiasi, atmosfer, dan permukaan bumi (Iqbal, 1983). Hal ini menegaskan bahwa pendekatan linier sederhana tidak cukup untuk menjelaskan dinamika tersebut.

Dalam perspektif metodologis, penggunaan analisis harmonik memberikan keunggulan dalam mengidentifikasi pola laten yang bersifat periodik. Metode ini mampu mereduksi kompleksitas data deret waktu menjadi parameter yang lebih mudah diinterpretasikan secara fisik. Pendekatan ini telah banyak digunakan dalam studi atmosfer dan astronomi untuk mengkaji fenomena siklik (Kelsey, 2022). Hal ini menunjukkan relevansi pendekatan harmonik dalam penelitian klimatologi modern.

Temuan ini menunjukkan bahwa karakteristik amplitudo dan fase memberikan informasi penting mengenai dinamika suhu musiman yang tidak dapat diperoleh melalui analisis deskriptif semata. Variasi parameter harmonik mencerminkan interaksi kompleks antara forcing astronomis dan respon atmosfer. Pendekatan ini memberikan kerangka analisis yang lebih mendalam dalam memahami sistem iklim tropis (Sugiyono, 2019). Hasil ini memperkuat pentingnya integrasi metode statistik dan fisika dalam penelitian klimatologi.

Interaksi Variabel Astronomis dengan Faktor Oseanik dan Anomali Iklim dalam Memodulasi Suhu Ekstrem

Analisis lanjutan mengindikasikan bahwa variabilitas suhu ekstrem di Sumatera Barat tidak hanya dipengaruhi oleh parameter astronomis, tetapi juga dimodulasi oleh dinamika oseanik dan fenomena iklim global yang berinteraksi secara nonlinier dalam sistem atmosfer tropis. Integrasi data menunjukkan bahwa anomali suhu permukaan laut di Samudra Hindia berperan sebagai faktor penguat atau pelemah terhadap sinyal periodik yang dihasilkan oleh deklinasi dan asensiorekta Matahari. Hal ini terlihat dari ketidaksesuaian parsial antara puncak harmonik suhu dan posisi astronomis tertentu pada beberapa tahun pengamatan, yang menunjukkan adanya interferensi variabel eksternal (Berliani et al., 2025). Perspektif ini sejalan dengan kerangka dinamika atmosfer yang menekankan pentingnya interaksi lintas skala antara forcing astronomis dan kondisi laut-atmosfer regional (Holton, 2004).

Dalam konteks analisis deret waktu, hasil dekomposisi harmonik menunjukkan bahwa komponen residual yang tidak dijelaskan oleh model astronomis memiliki pola yang berkorelasi dengan indeks iklim global seperti El Niño–Southern Oscillation (ENSO). Variasi ini mengindikasikan bahwa meskipun sinyal astronomis bersifat deterministik, respon suhu permukaan tetap dipengaruhi oleh fluktuasi energi laut yang bersifat stokastik. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa wilayah barat Sumatra memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan suhu laut yang berdampak langsung pada suhu udara (Wirasatriya & Kunarso, 2024). Hal ini menegaskan bahwa model harmonik perlu dipahami sebagai representasi parsial dari sistem yang lebih kompleks.

Pengaruh interaksi ini semakin jelas ketika membandingkan fase suhu ekstrem dengan periode kejadian anomali laut, di mana terjadi pergeseran temporal yang tidak dapat dijelaskan hanya oleh parameter deklinasi dan asensioirekta. Fenomena ini menunjukkan adanya coupling antara sistem atmosfer dan laut yang menyebabkan perubahan distribusi energi radiasi di permukaan. Penelitian terkait mengungkap bahwa variabilitas monsun dan suhu laut regional dapat mengubah respons termal atmosfer terhadap radiasi Matahari (Kurniasari et al., 2023). Implikasi dari temuan ini adalah perlunya pendekatan multi-variabel dalam analisis klimatologis tropis.

Pendekatan kuantitatif yang digunakan juga mengidentifikasi bahwa amplitudo suhu ekstrem cenderung meningkat pada periode dengan anomali laut positif, yang mengindikasikan adanya penguatan energi termal di atmosfer bawah. Hal ini menunjukkan bahwa kontribusi faktor oseanik tidak hanya bersifat korelatif, tetapi juga memiliki efek amplifikasi terhadap dinamika suhu. Temuan ini konsisten dengan studi tentang interaksi radiasi Matahari dan kondisi laut dalam sistem energi tropis (Iqbal, 1983). Dengan demikian, hubungan antara variabel astronomis dan suhu tidak bersifat linier sederhana, melainkan dimediasi oleh kondisi lingkungan yang dinamis.

Tabel 3. Variasi Amplitudo Suhu Ekstrem Berdasarkan Kondisi Oseanik (2020–2024)

Tahun	Amplitudo Suhu (°C)	Anomali SST (°C)	Indeks ENSO
2020	2.1	-0.4	La Niña
2021	2.3	-0.3	La Niña
2022	2.5	0.2	Netral
2023	2.8	0.6	El Niño
2024	2.7	0.5	El Niño

Sumber: Data olahan klimatologi dan estimasi SST berdasarkan Berliani et al. (2025)

Interpretasi terhadap Tabel 3 menunjukkan bahwa peningkatan amplitudo suhu ekstrem berkorelasi dengan kondisi anomali suhu laut positif, terutama pada fase El Niño. Hal ini memperkuat argumen bahwa energi panas dari laut berkontribusi terhadap peningkatan suhu udara secara signifikan. Studi lain juga menunjukkan bahwa peningkatan suhu ekstrem sering terjadi pada kondisi ENSO positif akibat peningkatan radiasi bersih dan penurunan tutupan awan (IPCC, 2021). Hubungan ini memperlihatkan bahwa variabilitas iklim global berperan sebagai faktor pengontrol sekunder dalam sistem ini.

Analisis lebih lanjut mengungkap bahwa respon atmosfer terhadap forcing astronomis menjadi lebih kompleks ketika dipengaruhi oleh variabilitas laut yang memiliki skala temporal berbeda. Perbedaan skala ini menyebabkan superposisi sinyal yang menghasilkan pola suhu yang tidak sepenuhnya periodik. Fenomena ini telah dijelaskan dalam kajian tentang siklus iklim jangka panjang yang dipengaruhi oleh faktor astronomis dan oseanik secara simultan (Kelsey, 2022). Oleh karena itu, pendekatan harmonik tunggal memiliki keterbatasan dalam menangkap seluruh dinamika sistem.

Dari perspektif fisika atmosfer, interaksi ini dapat dipahami sebagai mekanisme redistribusi energi melalui konveksi dan adveksi yang dipicu oleh gradien suhu laut. Gradien ini mempengaruhi stabilitas atmosfer dan menentukan intensitas pemanasan permukaan. Penelitian menunjukkan bahwa perubahan kecil pada suhu laut dapat menghasilkan perubahan signifikan pada suhu udara di wilayah tropis (Mediany et al., 2025). Hal ini menunjukkan sensitivitas tinggi sistem terhadap variabel eksternal.

Selain itu, hasil penelitian ini juga mengindikasikan bahwa hubungan antara asensioirekta Matahari dan suhu menjadi kurang dominan pada periode dengan gangguan iklim kuat. Hal ini menunjukkan bahwa parameter astronomis memiliki keterbatasan dalam menjelaskan variabilitas suhu pada kondisi tertentu. Temuan ini sejalan dengan studi yang menyoroti pentingnya faktor non-astronomis dalam sistem iklim regional (Dekriani et al., 2025). Dengan demikian, integrasi multi-parameter menjadi kebutuhan dalam analisis lanjutan.

Dalam kerangka metodologis, temuan ini memperkuat validitas penggunaan analisis harmonik sebagai alat untuk mengidentifikasi komponen dasar variabilitas suhu, meskipun tidak mencakup seluruh kompleksitas sistem. Kombinasi dengan analisis residual memberikan wawasan tambahan mengenai faktor eksternal yang berperan. Pendekatan ini sesuai dengan prinsip analisis statistik yang menekankan pentingnya interpretasi multi-dimensi (Field, 2013). Hal ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan memiliki kapasitas eksploratif yang tinggi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu ekstrem di Sumatera Barat merupakan hasil interaksi kompleks antara forcing astronomis dan dinamika oseanik, yang tidak dapat dijelaskan secara parsial oleh satu variabel saja. Integrasi kedua komponen ini menghasilkan pola variabilitas yang lebih realistis dan sesuai dengan kondisi tropis. Temuan ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan model prediksi suhu ekstrem berbasis pendekatan multidisiplin. Pendekatan ini juga membuka peluang untuk integrasi dengan teknologi observasi modern dalam studi klimatologi (Valero et al., 2021).

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variabilitas suhu ekstrem di Sumatera Barat periode 2020–2024 dikendalikan oleh interaksi kompleks antara parameter astronomis dan dinamika sistem atmosfer–oseanik yang bersifat multiskala. Deklinasi Matahari berperan dominan dalam menentukan intensitas variasi musiman melalui perubahan distribusi radiasi, sementara asensio rekta berkontribusi dalam mengatur sinkronisasi temporal yang tercermin dalam pergeseran fase suhu relatif terhadap siklus tahunan. Analisis harmonik mengungkap bahwa hubungan tersebut tidak bersifat linier sederhana, melainkan dimodulasi oleh faktor eksternal seperti anomali suhu permukaan laut dan variabilitas iklim global yang memperkuat atau melemahkan respons atmosfer. Integrasi pendekatan deret waktu, korelasi statistik, dan evaluasi fase menghasilkan kerangka analitis yang mampu menangkap dinamika laten sistem iklim tropis secara lebih komprehensif, sehingga memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan model prediksi suhu ekstrem berbasis parameter astronomis dan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Airoldi, L. F., Alves, G. F., Perez-Gonzalez, Y. F., Salla, G. M., & Funchal, R. Z. (2026). Tackling transient sources with neutrino telescopes. *Physical Review D*, 113(2), 023052. <https://doi.org/10.1103/ysjs-sy6t>
- Alawiyah, U., & Kusmita, T. (2022). Sebaran Batuan Daerah Panas bumi Terak Bangka Tengah berdasarkan Anomali Magnetik. *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, 3(1), 12-18. <https://doi.org/10.33019/jrfi.v3i1.3356>
- Anyeler, D. E. (2025). Perencanaan Sistem Solar Panel On–Grid Fixed Array Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Pembangunan Rumah Susun Xyz Di Jakarta. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3.6762>
- Ariska, M., Supari, S., Irfan, M., & Iskandar, I. (2024). Profile of rainfall patterns and extreme air temperatures 1981-2020 in the mosunal region of Indonesia (Case study: South Sumatra). *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 21(1), 81-89. <https://dx.doi.org/10.20527/flux.v21i1.14022>
- Badry, K., Sentosa, L., & Wibisono, G. (2024). Analisis Perbandingan Antara Kondisi Temperatur Perkerasan Aspal Maksimum Aktual Dengan Manual Desain Perkerasan Jalan di Provinsi Riau. *SAINSTEK*, 12(2), 230-238. <https://doi.org/10.35583/js.v12i2.269>
- Berliani, R., Siregar, A. A., Abrar, C. B., Rahmawati, N. S., Suhendra, S., & Lizalidiawati, L. (2025). Identifikasi Suhu Permukaan Laut Pada Saat Terjadinya Iod Positif, El Niño Dan Monsun Di Perairan Barat Sumatra. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 18(1), 10-21. <https://doi.org/10.21107/jk.v18i1.29100>
- Chipps, A., Forgette, D., & Cahoy, K. (2026). SATMO: a Multi-Planet Thermal Analysis Tool for CubeSat Missions. In *AIAA SCITECH 2026 Forum* (p. 2269). <https://doi.org/10.2514/6.2026-2269>
- Crilly Jr, W. J. (2025). Polarized pulse pair observations during a long duration interstellar communication experiment. *arXiv e-prints*, arXiv-2504. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.19765>
- Dekriani, J., Dwiridal, L., Amir, H., & Zuhendra, Z. (2025). Effect of Declination and Solar Radiation Intensity on Weather Parameters in 2020-2023 in Padang City. *BULETIN FISIKA*, 26(1), 30-38. <https://doi.org/10.24843/BF.2025.v26.i01.p04>
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (4th ed.). Sage.
- Holton, J. R. (2004). *An introduction to dynamic meteorology* (4th ed.). Academic Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Iqbal, M. (1983). *An introduction to solar radiation*. Academic Press.

- Kelsey, A. (2022). Abrupt climate change and millennial-scale cycles: an astronomical mechanism. *Climate of the Past Discussions*, 2022, 1-19. <https://doi.org/10.5194/cp-2022-49>
- Kurniasari, E. N., Rusmayadi, G., Wianto, T., & Mahyudin, I. (2023). Perubahan Iklim Dan Potensi Energi Surya Di Wilayah Monsun. *EnviroScienteeae*, 19(1), 89-98. <https://dx.doi.org/10.20527/es.v19i1.15750>
- Mediany, S., Haryanto, Y. D., & Fadlan, A. (2025). Tinjauan Klimatologis Kejadian Banjir Bandang di Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan Tanggal 5 Juli 2023. *Jurnal Fisika Unand*, 14(3), 279-290. <https://doi.org/10.25077/jfu.14.3.279-290.2025>
- Meeus, J. (1998). *Astronomical algorithms* (2nd ed.). Willmann-Bell.
- Nelvi, A., & Nata, R. A. (2023). Durasi Penyinaran Matahari Dan Diurnal Temperature Range Serta Kaitannya Dengan Perubahan Iklim Di Pontianak, Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 24(2), 65-76. <https://doi.org/10.31172/jmg.v24i2.817>
- Pahlepi, R., Soekirno, S., & Wicaksana, H. S. (2023). Solar radiation intensity imputation in pyranometer of automatic weather station based on long short-term memory. *Ultima Computing: Jurnal Sistem Komputer*, 15(2), 35-40. <https://doi.org/10.31937/sk.v15i2.3348>
- Prasetyo, S., Hidayat, U., Haryanto, Y. D., & Riama, N. F. (2021). Variasi dan tren suhu udara permukaan di Pulau Jawa tahun 1990-2019. *Jurnal Geografi*, 18(1), 60-68. <https://doi.org/10.15294/jg.v18i1.27622>
- Pratiwi, N., Herdiwijaya, D., Ahmad, N., Hidayat, T., Ikhsan, M. I., Dina, D. F., ... & Rohmah, F. (2025). The effects of May 2024 solar and geomagnetic storms on an Indonesian GEO satellite's orbital parameters. *Advances in Space Research*. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2025.07.021>
- Putri, H. K., & Izzuddin, A. (2023). Sistem Berladang Suku Dayak Kantuk dalam Perspektif Astronomi dan Ilmu Falak. *AL-AFAQ: Jurnal Ilmu Falak dan Astronomi*, 5(2), 250-268. <https://doi.org/10.20414/afaq.v5i2.7792>
- Sasmito, A., Praja, A. S., Muzayanah, L. F., & Sudewi, R. S. (2021). Pengaruh deklinasi matahari terhadap parameter cuaca wilayah Malang dan sekitarnya. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 11(2), 164-175. <https://doi.org/10.13057/ijap.v11i2.44607>
- Sudarti, S., & Laili, S. N. (2021). Analisis intensitas radiasi medan magnet matahari. *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 7(1), 169-175. <https://doi.org/10.31764/orbita.v7i1.4549>
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Sun, X., Haverkorn, M., Carretti, E., Landecker, T., Gaensler, B. M., Poppi, S., ... & Han, J. (2025). The Southern Twenty-centimetre All-sky Polarization Survey (STAPS): survey description and maps. *Astronomy & Astrophysics*, 694, A169. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202453326>
- Suwadana, F. A., Garniwa, P. M. P., Putera, D. A., Puspita, D., Gufron, A., Aditya, I. A., Lee, H., & Garniwa, I. (2025). Solar irradiance estimation in tropical regions using recurrent neural networks and WRF models. *Energies*, 18(4), Artikel 925. <https://doi.org/10.3390/en18040925>
- Tanoto, Y., Budhi, G. S., & Mingardi, S. F. (2024). Clustering-based assessment of solar irradiation and temperature attributes for PV power generation site selection: Case study of Indonesia's Java-Bali region. *International Journal of Renewable Energy Development*, 13(2), 351-361. <https://doi.org/10.61435/ijred.2024.59998>
- Valero, F. P. J., Marshak, A., & Minnis, P. (2021). Lagrange point missions: The key to next generation integrated Earth observations. *Frontiers in Remote Sensing*, 2, Artikel 745938. <https://doi.org/10.3389/frsen.2021.745938>
- Wirasatriya, A., & Kunarso, K. (2024). Studi Pengaruh Siklon Tropis Flamboyan Terhadap Suhu Permukaan Laut Dan Klorofil-a Di Perairan Samudra Hindia Barat Daya Sumatra. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(3), 266-274. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v6i3.18989>
- Wydra, K., Vollmer, V., Busch, C., & Prichta, S. (2024). Agrivoltaic: Solar radiation for clean energy and sustainable agriculture with positive impact on nature. *Solar radiation: Enabling technologies, recent innovations, and advancements for energy transition*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.111728>