

**KAJIAN DINAMIKA POLA CURAH HUJAN DAN
SUHU PERMUKAAN LAUT TERHADAP VARIABILITAS
MUSIM BERBASIS CITRA PENGINDERAAN JAUH
SKALA REGIONAL DI PROVINSI KALIMANTAN BARAT
TAHUN 2022-2023**

TESIS

Untuk Memenuhi Sebagai Persyaratan
Mencapai Derajat Magister S-2
Program Studi Magister Penginderaan Jauh



Disusun oleh:
Nadia Fithriana
22/508802/PGE/01522

MAGISTER PENGINDERAAN JAUH
FAKULTAS GEOGRAFI
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
2025

KAJIAN DINAMIKA POLA CURAH HUJAN DAN SUHU PERMUKAAN LAUT
TERHADAP VARIABILITAS MUSIM BERBASIS CITRA PENGINDERAAN JAUH
SKALA REGIONAL DI PROVINSI KALIMANTAN BARAT TAHUN 2022-2023

Disusun oleh:

Nadia Fithriana

NIM 22/508802/PGE/01522

Program Studi Magister Penginderaan Jauh

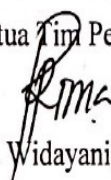
Fakultas Geografi

Universitas Gadjah Mada

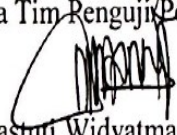
Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 28 Juli 2025

Susunan Tim Penguji


Ketua Tim Penguji,


Dr. Prima Widayani, S.Si., M.Si.

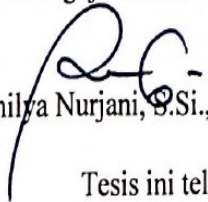
Anggota Tim Penguji/Pembimbing Kesatu,


Wirastuti Widyatmanti, S.Si., Ph.D.

Anggota Tim Penguji,


Dr. Retnadi Heru Jatmiko, M.Sc.

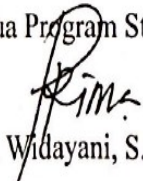
Anggota Tim Penguji/Pembimbing Kedua,


Dr. Emilya Nurjani, S.Si., M.Si.

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister

05 AUG 2025
Yogyakarta,

Ketua Program Studi,


Dr. Prima Widayani, S.Si., M.Si.

Wakil Dekan Bidang Pendidikan,
Pengajaran, dan Kemahasiswaan,


Dr. Erlis Saputra, S.Si., M.Si.



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:


Nama : Nadia Fithriana
NIM : 22/508802/PGE/01522
Tahun terdaftar : 2022 Genap
Program Studi : Magister Penginderaan Jauh
Fakultas/Sekolah : Geografi

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Tesis ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akedemik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan sumbernya secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dengan demikian saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi dan apabila dokumen ilmiah Tesis ini di kemudian hari terbukti merupakan plagiasi dari hasil karya penulis lain dan/atau dengan sengaja mengajukan karya atau pendapat yang merupakan hasil karya penulis lain, maka penulis bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Yogyakarta, September 2025




Nadia Fithriana
22/508802/PGE/01522

INTISARI

Provinsi Kalimantan Barat yang dilalui garis ekuator beriklim tropis dengan suhu rata-rata tinggi dan curah hujan yang bervariasi sepanjang tahun. Pada tahun 2022 terjadi perubahan pola curah hujan dibandingkan periode sebelumnya, yang berdampak pada kondisi musim. Perubahan ini dipengaruhi oleh faktor-faktor atmosfer dan laut seperti suhu permukaan laut, angin, dan tekanan udara, yang melalui interaksinya dapat memicu fenomena global seperti ENSO (*El Nino Southern Oscillation*). Penelitian ini memanfaatkan karakteristik resolusi citra GSMaP (*Global Satellite Mapping of Precipitation*) yang sesuai dengan wilayah Kalimantan Barat dan resolusi tinggi Aqua MODIS yang mampu memantau kondisi atmosfer dan laut secara detail. Berdasarkan kemampuan citra tersebut, penelitian ini memanfaatkan data untuk mengidentifikasi fenomena ENSO, mengevaluasi pola curah hujan, memvalidasi akurasi citra, kemudian menganalisis pengaruh variasi anomali suhu permukaan laut terhadap curah hujan yang berpengaruh terhadap variabilitas musim. Data utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas citra curah hujan GSMaP, citra suhu permukaan laut dari Aqua MODIS, serta data curah hujan observasi dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika). Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi penerapan algoritma Brown dan Minnet, 1999 pada data suhu permukaan laut, proses resampling dan agregasi (menggunakan metode bilinear dan spasial), klasifikasi kejadian ENSO dan pola curah hujan, serta tahap evaluasi dan validasi data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) citra Aqua MODIS mampu mengidentifikasi kejadian ENSO dengan akurasi sebesar 75% pada periode La Nina dan 66.7% pada periode El Nino; (2) Evaluasi pola curah hujan tahun 2022 dan 2023 menunjukkan kesesuaian dengan pola Equatorial 2 dan Monsunal 1 sesuai dengan klasifikasi BMKG; (3) validasi citra GSMaP terhadap data observasi pada periode ENSO menunjukkan tingkat akurasi sedang hingga tinggi; dan (4) anomali suhu permukaan laut di Samudra Pasifik dan perairan sekitar Provinsi Kalimantan Barat terbukti berpengaruh signifikan terhadap pola curah hujan, sehingga menyebabkan perbedaan awal musim kemarau dan musim hujan di berbagai wilayah provinsi tersebut.

Kata kunci: Kalimantan Barat, curah hujan, suhu permukaan laut, musim, ENSO

ABSTRACT

West Kalimantan Province, crossed by the equator, has a tropical climate with high average temperatures and varying rainfall throughout the year. In 2022, there was a change in rainfall patterns compared to the previous period, which impacted seasonal conditions. These changes are influenced by atmospheric and oceanic factors such as sea surface temperature, wind, and air pressure, which through their interactions can trigger global phenomena such as ENSO (El Nino Southern Oscillation). This study utilized the resolution characteristics of GSMaP (Global Satellite Mapping of Precipitation) satellite suitable for the West Kalimantan region and the high resolution of Aqua MODIS which is capable of monitoring atmospheric and ocean conditions in detail. Based on the capabilities of the image, this study utilizes the data to identify the ENSO phenomenon, evaluate rainfall patterns, validate image accuracy, and then analyze the effect of variations in sea surface temperature anomalies on rainfall that influence seasonal variability. The primary data used in this study consists of GSMaP satellite-based rainfall imagery, sea surface temperature imagery derived from Aqua MODIS, and observational rainfall data obtained from the BMKG (Indonesian Agency for Meteorology, Climatology, and Geophysics). The methodology includes the application of the Brown and Minnet, 1999 algorithm to extract sea surface temperature values, resampling and aggregation processes using bilinear interpolation and spatial averaging techniques, classification of ENSO events and rainfall patterns, and data evaluation and validation procedures. The research results indicate that (1) Aqua MODIS imagery is capable of identifying ENSO events with an accuracy of 75% during La Nina periods and 66.7% during El Nino periods; (2) evaluations of rainfall patterns in 2022 and 2023 show consistency with the Equatorial 2 and Monsoonal 1 patterns according to BMKG classifications; (3) validation of GSMaP imagery against observational data during ENSO periods demonstrates moderate to high accuracy levels; and (4) sea surface temperature anomalies in the Pacific Ocean and the waters surrounding West Kalimantan Province are proven to have a significant influence on rainfall patterns, thereby causing variations in the onset of the dry and rainy seasons across various regions of the province.

Keywords: *West Kalimantan, rainfall, sea surface temperature, season, ENSO*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan tesis yang berjudul “Kajian Dinamika Pola Curah Hujan dan Suhu Permukaan Laut Terhadap Variabilitas Musim Berbasis Citra Penginderaan Jauh Skala Regional di Provinsi Kalimantan Barat Tahun 2022-2023”. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister di Program Studi Magister Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.

Penulis menyadari banyak pihak yang membantu dan berkontribusi dalam terselesaikannya tesis ini. Segala bentuk bantuan, baik berupa dukungan moril dan materil sangat membantu penulis dalam mengumpulkan semangat dan keinginan untuk menyelesaikan studi. Oleh karena itu, penulis ucapkan terima kasih dengan ketulusan hati kepada pihak-pihak yang telah membantu dan membimbing penulis selama menyusun tesis ini kepada:

1. Keluarga tercinta, khususnya Bapak H. A. Fatah, S.Sos dan Ibu Hj. Sri Murtini, S.K.M., M.Kes serta adik Altaf Zhafirah, S.Tr.P., M.Sc, Yunida Handayani, S.Tr.Sos, dan Atika Fikkriyah yang selalu memberikan doa, dukungan moril, serta cinta kasih yang tiada henti. Tanpa dukungan dan dorongan dari mereka, penulis tidak akan mampu menyelesaikan studi ini.
2. Wirastuti Widyatmanti, S.Si., Ph.D dan Dr. Emilya Nurjani, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing, yang telah bimbingan, arahan, saran konstruktif, dan dukungan moral sepanjang proses penyusunan tesis ini.
3. Dr. Retnadi Heru Jatmiko, M.Sc selaku dosen penguji yang memberi saran dan masukan dalam penyempurnaan penulisan tesis ini.
4. Prof. Muhammad Kamal, S.Si., M.GIS., Ph.D selaku Dekan Fakultas Geografi periode 2025 hingga sekarang, dan Dr. Danang Sri Hadmoko, S.Si., M.Sc selaku Dekan Fakultas Geografi periode 2021-2025 yang telah memberikan kesempatan dan dukungan untuk melaksanakan penelitian.

5. Dr. Prima Widayani, S.Si., M.Si. sebagai Kepala Program Studi Magister Penginderaan Jauh yang telah memberikan nasihat, semangat, motivasi, setra perbaikan fasilitas selama pelaksanaan perkuliahan.
6. Para dosen dan staf administrasi di Program Studi Magister Penginderaan Jauh, yang telah memberikan dukungan dan fasilitas yang diperlukan selama masa studi.
7. Prof. Ir. Dwikorita Karnawati, M.Sc., Ph.D selaku Kepala BMKG, Dr. Dodo Gunawan, DEA selaku Plt Deputi Klimatologi BMKG Periode 2022-2023, Kepala Biro Umum dan SDM BMKG, Kepala Stasiun Klimatologi Papua Selatan, Koordinator BMKG Provinsi Kalimantan Barat dan Stasiun Klimatologi Kalimantan Barat yang senantiasa mendukung, memfasilitasi, dan memotivasi penulis selama melanjutkan pendidikan.
8. Teman-teman mahasiswa/i MPJ, TB BMKG, sahabat STMKG 2014 yang telah memberikan senyuman, semangat, bantuan, dan kebersamaan yang sangat berarti selama proses pendidikan ini. Mereka adalah pengingat bahwa di balik setiap tantangan, ada kekuatan untuk terus melangkah

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki keterbatasan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, segala bentuk kritik, saran, dan masukan yang membangun akan kami terima dengan lapang dada demi perbaikan di masa mendatang. Besar harapan penulis bahwa tesis ini dapat memberikan kontribusi signifikan bagi perkembangan ilmu pengetahuan di bidang dinamika atmosfer dan kelautan, khususnya representasi curah hujan dan fenomena iklim terhadap sektor pertanian menggunakan teknologi penginderaan jauh.

Yogyakarta, September 2025

Nadia Fithriana

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
INTISARI	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Pertanyaan Penelitian	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	7
1.5 Manfaat penelitian.....	8
BAB II TELAAH PUSTAKA	9
2.1 Landasan Teori	9
2.1.1 Penginderaan Jauh untuk Curah Hujan.....	9
2.1.2 Penginderaan Jauh untuk Suhu Permukaan Laut.....	11
2.1.3 Pemanfaatan Data ERA 5 untuk Angin dan Tekanan Permukaan Laut	15
2.1.4 Pola Curah Hujan.....	16
2.1.5 Suhu Permukaan Laut.....	17
2.1.6 Confussion Matrix	18
2.1.7 Resample Citra.....	19
2.1.8 Fenomena ENSO	20
2.1.9 Variabilitas Musim.....	22

2.2 Penelitian Terdahulu.....	22
2.3 Batasan Operasional.....	29
2.4 Kerangka Berpikir.....	30
BAB III METODE PENELITIAN.....	32
3.1 Lokasi Penelitian.....	32
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	36
3.3 Pengumpulan Data.....	37
3.4 Pengolahan Data.....	38
3.4.1 Suhu Permukaan Laut Aqua MODIS.....	38
3.4.2 Curah Hujan GSMaP dan Observasi.....	41
3.4.3 Angin dan Tekanan Permukaan Laut.....	42
3.4.4 Topografi DEMNAS.....	44
3.4.5 Resampling.....	45
3.5 Analisis Data.....	45
3.5.1 Analisis Evaluasi Identifikasi Berbasis Citra Satelit.....	45
3.5.2 Identifikasi Indek Suhu Permukaan Laut.....	47
3.5.3 Analisis Korelasi dan Validasi Hubungan antar Variabel.....	49
3.5.4 Analisis Variabilitas Musim.....	51
3.6. Diagram Alir Penelitian.....	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	55
4.1 Identifikasi ENSO Berbasis Data Suhu Permukaan Laut Aqua MODIS.....	55
4.1.1 Validasi Suhu Permukaan Laut.....	61
4.1.2 Prediksi Fenomena ENSO.....	62
4.2 Analisis Pola Cura Hujan Berdasarkan Dinamika Atmosfer.....	65
4.2.1 Suhu Permukaan Laut Perairan Provinsi Kalimantan Barat.....	65
4.2.2 Arah dan Kecepatan Angin.....	69
4.2.3 Tekanan Permukaan Laut.....	73
4.2.4 Topografi Provinsi Kalimantan Barat.....	75
4.2.5 Analisis Pola Curah Hujan.....	77

4.3 Validasi Curah Hujan antara Data Citra GSMaP dengan Data Observer	83
4.3.1 Validasi Curah Hujan Dasarian.....	83
4.3.2 Validasi Curah Hujan Bulanan.....	88
4.4. Identifikasi Variabilitas Musiman Berdasarkan Curah Hujan dan Suhu Permukaan Laut.....	94
4.4.1 Pergeseran Musim Periode La Nina	96
4.4.2 Pergeseran Musim Periode El Nino	98
4.4.3 Korelasi Curah Hujan dan Anomali Suhu Permukaan Laut ...	100
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	103
5.1 Kesimpulan.....	103
5.2 Saran.....	104
DAFTAR PUSTAKA	106
LAMPIRAN	119

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Deskripsi Data GSMaP	11
Tabel 2.2	Karakteristik Satelit MODIS	12
Tabel 2.3	Rincian Band Sensor MODIS	13
Tabel 2.4	Level Satelit MODIS.....	14
Tabel 2.5	Penelitian Terdahulu.....	26
Tabel 3.1	Nama Kabupaten/Kota di Provinsi Kalimantan Barat	33
Tabel 3.2	Alat Penelitian	36
Tabel 3.3	Bahan Penelitian.....	37
Tabel 3.4	Klasifikasi Ketinggian Dengan Morfografi.....	45
Tabel 3.5	Kategori Oceanic Nino Index.....	48
Tabel 3.6	Kategori Indek Perairan Indonesia.....	48
Tabel 3.7	Kategori Kombinasi Kejadian.....	49
Tabel 3.8	Kategori Hubungan Curah Hujan dan Variasi Indek Suhu Permukaan Laut.....	50
Tabel 3.9	Kategori Penilaian PBIAS.....	51
Tabel 4.1	Korelasi Suhu Permukaan Laut Level 1B dan Level 3	61
Tabel 4.2	Perbandingan Nilai Indek ENSO Tahun 2022 dan 2023.....	63
Tabel 4.3	Confusion Matrix Interpretasi ENSO Tahun 2022 dan 2023	63
Tabel 4.4	Evaluasi Interpretasi Klasifikasi ENSO Periode 2022 dan 2023	64
Tabel 4.5	Perbandingan Representasi Pola Curah Hujan Tahun 2022	78
Tabel 4.6	Confusion Matrix antara Citra GSMaP dan Observasi Pola Curah Hujan Tahun 2022	79
Tabel 4.7	Evaluasi antara Citra GSMaP dan Observasi Pola Curah Hujan Tahun 2022.....	79
Tabel 4.8	Perbandingan Representasi Pola Curah Hujan Tahun 2023	81
Tabel 4.9	Confusion Matrix antara Citra GSMaP dan Observasi Pola Curah Hujan Tahun 2023	82
Tabel 4.10	Evaluasi antara Citra GSMaP dan Observasi Pola Curah Hujan Tahun 2023	82

Tabel 4.11	Korelasi Curah Hujan Dasarian Periode 2022 dan 2023.....	84
Tabel 4.12	Evaluasi Curah Hujan Dasarian Periode 2022 dan 2023	86
Tabel 4.13	Korelasi Curah Hujan Bulanan Periode 2022 dan 2023	89
Tabel 4.14	Evaluasi Curah Hujan Bulanan Periode 2022 dan 2023	90
Tabel 4.15	Identifikasi Awal Musim Tahun 2022	94
Tabel 4.16	Identifikasi Awal Musim Tahun 2023	95
Tabel 4.17	Pergeseran Musim Kemarau Terhadap Normalnya.....	96
Tabel 4.18	Pergeseran Musim Hujan Terhadap Normalnya	97
Tabel 4.19	Pergeseran Musim Kemarau Terhadap Normalnya.....	99
Tabel 4.20	Pergeseran Musim Hujan Terhadap Normalnya	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Algoritma Produk GSMaP	10
Gambar 2.2	Pola curah hujan di Indonesia.....	17
Gambar 2.3	Ilustrasi Confussion Matrix	18
Gambar 2.4	Wilayah ENSO	20
Gambar 2.5	Ilustrasi Proses Terjadi ENSO, a.El Nino, b.La Nina dan c.Normal	21
Gambar 2.6	Kerangka Berpikir	31
Gambar 3.1	Peta Lokasi Penelitian	34
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian.....	54
Gambar 4.1	Citra Sebelum dan Sesudah Koreksi Geometrik	56
Gambar 4.2	Histogram citra sebelum dan sesudah koreksi radiometrik.....	57
Gambar 4.3	Citra yang sudah dikoreksi radiometrik	58
Gambar 4.4	Citra sebelum dan sesudah dikonversi suhu kecerahan.....	59
Gambar 4.5	Tampilan dan Histogram Sensor Zenith.....	60
Gambar 4.6	Peta Suhu Permukaan Laut Bulan Januari-Desember 2022	66
Gambar 4.7	Peta Suhu Permukaan Laut Bulan Januari-Desember 2023	68
Gambar 4.8	Arah dan Kecepatan Angin Bulan Januari hingga Desember 2022	70
Gambar 4.9	Arah dan Kecepatan Angin Bulan Januari hingga Desember 2023	72
Gambar 4.10	Tekanan Permukaan Laut Bulan Januari hingga Desember 2022 .	74
Gambar 4.11	Tekanan Permukaan Laut Bulan Januari hingga Desember 2023 .	75
Gambar 4.12	Peta Ketinggian Provinsi Kalimantan Barat.....	76
Gambar 4.13	Perbandingan Curah Hujan Dasarian Observasi, Citra GSMaP dan Citra Koreksi	88
Gambar 4.14	Perbandingan Curah Hujan Bulanan Observasi, Citra GSMaP dan Citra Koreksi	92
Gambar 4.15	Koefisien Korelasi antara Curah Hujan dan Anomali Suhu Permukaan laut	101

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Koordinat Lokasi Sampel Curah Hujan di Provinsi Kalimantan Barat	119
Lampiran 2. Perbandingan nilai suhu permukaan laut level 1B dan level 3 di Samudra Pasifik	120
Lampiran 3. Citra Aqua MODIS Level 1B di Perairan Provinsi Kalimantan Barat	121
Lampiran 4. Perbandingan Pola Curah Hujan Terhadap Normalnya.....	123
Lampiran 5. Representasi Musim Kemarau dan Musim Kemarau Tahun 2022 di Provinsi Kalimantan Barat.....	125
Lampiran 6. Representasi Musim Kemarau dan Musim Kemarau Tahun 2023 di Provinsi Kalimantan Barat.....	126

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Curah hujan memiliki peran penting dalam kehidupan. Curah hujan bermanfaat diberbagai sektor antara lain sektor pertanian, perkebunan, kesehatan, kehutanan, kelautan, pengelolaan air, daerah aliran sungai, infrastruktur, dan lain-lainnya. Curah hujan memiliki karakter yang sangat dinamis baik secara spasial maupun temporal, sehingga sulit untuk diprediksi. Selain itu, proses fisis yang memengaruhi pembentukannya juga sangat kompleks (Nabilah *et al.*, 2017). Sifat hujan yang dinamis berpengaruh terhadap berbagai sektor yang menyebabkan dampak positif dan negatif. Curah hujan yang berdampak negatif, dimana curah hujan tersebut menyebabkan kerugian. Curah hujan yang tinggi dan berlangsung hampir sepanjang tahun dapat menyebabkan banjir apabila melebihi kapasitas daya tampung wilayah (Hermawan *et al.*, 2021; Rakuasa dan Latue, 2023). Curah hujan yang rendah dibandingkan dengan kondisi rata-rata pada periode waktu serta lebih panjang menyebabkan kekurangan air bahkan kekeringan (Fathony *et al.*, 2022). Telah terjadi perubahan intensitas curah hujan, waktu terjadinya hujan, serta durasi hujan yang tidak sesuai dengan pola musim pada bulan-bulan biasanya.

Secara astronomis Indonesia terletak diantara 6°Lintang Utara (LU) hingga 11°Lintang Selatan (LS) dan 95°Bujur Timur (BT) hingga 141°Bujur Timur (BT). Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis, yang menjadikan Indonesia mempunyai dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau. Letak geografis Indonesia yang dilalui garis ekuator menyebabkan wilayah di Indonesia mendapat penyinaran matahari terus-menerus sepanjang tahun. Hal tersebut mendukung terjadinya penguapan yang intensif dan curah hujan yang tinggi, di mana sebagian wilayah menerima hujan sepanjang tahun. Indonesia disebut sebagai negara kepulauan yang terletak di antara dua benua yaitu Asia dan Australia, serta diapit oleh dua samudra besar, yakni Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Sebagai negara kepulauan, curah hujan di Indonesia sangat dipengaruhi oleh interaksi

atmosfer dan lautan. Interaksi atmosfer dan lautan menyebabkan terjadi fenomena baik skala lokal, regional, ataupun global. Pada skala lokal, topografi suatu daerah memengaruhi terbentuknya angin gunung dan lembah (Short *et al.*, 2019; Yokoi *et al.*, 2019). Pada skala regional hingga global dipengaruhi oleh suhu permukaan laut.

Suhu Permukaan Laut mempengaruhi dinamika atau pergerakan air laut baik secara horizontal maupun vertikal (Azizah *et al.*, 2020). Suhu permukaan laut Indonesia dikendalikan oleh angin dari laut sehingga memberikan kontribusi positif terhadap curah hujan (Takahashi dan Dado, 2018). Suhu permukaan laut mengalami variasi dari waktu ke waktu. Variasi suhu permukaan laut akan membentuk sebuah pola, dimana pola tersebut menunjukkan sebuah anomali. Anomali tersebut menyebabkan terjadi fenomena seperti ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) yang disebabkan variasi suhu permukaan laut di Samudra Pasifik (Tang *et al.*, 2018). Kondisi tersebut karena tekanan udara tinggi di atas permukaan laut terjadi sebuah proses upwelling, yaitu pergerakan air laut dingin dari bawah ke atas yang menyebabkan suhu permukaan laut rendah. Tekanan udara tinggi juga menyebabkan terjadi divergensi angin yang dapat mengurangi potensi pertumbuhan awan. Sehingga pada kondisi tersebut menyebabkan wilayah Indonesia mengalami penurunan curah hujan bahkan kekeringan.

Kajian selama periode ENSO di Samudra Pasifik sudah banyak dilakukan, namun pada periode anomali suhu permukaan laut di wilayah Indonesia secara khusus masih terbatas. Anomali suhu permukaan laut yang sering dilakukan secara keseluruhan satu Indonesia tidak secara spesifik di sekitar wilayah penelitian. Periode kombinasi antara variasi suhu permukaan laut jarang dilakukan. Kombinasi antar variasi suhu permukaan laut, dimana masing-masing variasi memicu terjadinya fenomena ENSO beserta anomali suhu permukaan laut di sekitar wilayah penelitian yang berkontribusi terhadap perubahan intensitas curah hujan yang sangat tinggi. Perubahan intensitas curah hujan terus menerus menyebabkan terjadinya perubahan pola curah hujan, diketahui terjadi perubahan pola curah hujan periode 2022 yang berbeda dengan periode tahun sebelumnya (BMKG, 2022).

Namun untuk mengkaji pola curah hujan dan variasi suhu permukaan laut tersebut diperlukan sumber data yang lengkap dengan series panjang agar analisis yang diperoleh baik. Berbagai tingkat curah hujan global dengan akurasi yang seragam tidak dapat diamati secara langsung dengan metode apa pun selain satelit penginderaan jauh (Tang *et al.*, 2020). Sedangkan pengambilan data time series suhu permukaan laut tidak memungkinkan untuk melakukan pengamatan secara langsung di laut yang memakan waktu dan biaya yang mahal. Teknik penginderaan jauh mampu mengamati wilayah daratan dengan kondisi topografi beragam maupun lautan Indonesia secara menyeluruh dengan jangkauan yang luas dan efisiensi waktu (Kumaat *et al.*, 2018).

Saat ini telah tersedia berbagai jenis citra satelit untuk memperoleh estimasi curah hujan dan suhu permukaan laut di suatu wilayah dengan resolusi berbeda-beda yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Citra satelit untuk estimasi curah hujan antara lain CMORPH (*Climate Prediction Center Morphing Technique*), IMERG (*Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM*), dan GSMaP (*Global Satellite Mapping of Precipitation*) (Roy dan Banu, 2021). Salah satu produk data satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah GSMaP. Satelit GSMaP menggunakan dua sensor yaitu gelombang mikro dan gelombang inframerah (Roy dan Banu, 2021). GSMaP menyediakan data produk curah hujan dengan resolusi temporal per jam dengan ketelitian spasial $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ bujur yang setara dengan sekitar 11,13 km di khatulistiwa. Citra satelit suhu permukaan laut berbagai jenis citra, misalnya Landsat, AVHRR, MODIS dalam lain-lain. Penggunaan citra satelit tergantung tujuan penggunaannya dalam skala berapa dan selama beberapa periode. Satelit MODIS memiliki resolusi spasial hingga 1km dan resolusi temporal yaitu 1-2 hari dengan cangkupan wilayah global serta kepekaan radiometrik yang tinggi dengan panjang gelombang dari 0,4-14,5 μm serta berbagai level citra (Feldman, 2015).

Provinsi Kalimantan Barat merupakan wilayah yang dilalui garis equator. Garis equator merupakan garis lintang 0° yang berfungsi sebagai pembatas antara belahan bumi utara (LU) dan belahan bumi selatan (LS). Wilayah yang dilalui garis

equator memiliki iklim tropis yang ditandai suhu rata-rata relatif tinggi dan variabilitas curah hujan yang tinggi sepanjang tahun. Karakteristik tersebut tercermin di Provinsi Kalimantan Barat yang memiliki dua pola curah hujan, yaitu pola curah hujan equatorial dan pola curah hujan monsun. Pola curah hujan berhubungan dengan intensitas curah hujan yang berpengaruh terhadap variabilitas musim terutama awal dan panjang musim kemarau atau musim hujan. Dalam beberapa tahun terakhir, khususnya periode 2022 teridentifikasi adanya perubahan pola curah hujan yang berbeda dibandingkan periode sebelumnya. Perubahan pola curah hujan berpengaruh terhadap musim di provinsi tersebut. Perubahan pola curah hujan bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor, sehingga untuk menganalisisnya membutuhkan penerapan teknologi penginderaan jauh. Karakteristik Provinsi Kalimantan Barat yang berada di jalur equator sangat sesuai dengan karakteristik data GSMaP yang memiliki resolusi spasial tinggi sebesar $0,1^\circ \times 0,1^\circ$, sehingga mampu merepresentasikan distribusi dan variasi curah hujan secara detail di wilayah khatulistiwa.

Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh sangat bermanfaat untuk menganalisis dinamika perubahan pola curah hujan di Provinsi Kalimantan Barat secara cepat dan akurat. Berdasarkan persoalan-persoalan tersebut, maka penelitian dengan judul “Kajian Dinamika Pola Curah Hujan dan Suhu Permukaan Laut Terhadap Variabilitas Musim Berbasis Data Penginderaan Jauh Skala Regional di Provinsi Kalimantan Barat Tahun 2022-2023” penting untuk dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Provinsi Kalimantan Barat yang dilalui garis ekuator memiliki suhu rata-rata yang tinggi serta curah hujan yang bervariasi sepanjang tahun. Wilayah ini ditandai dengan dua pola curah hujan, yaitu pola equatorial dan pola monsun. Namun dalam perkembangannya, wilayah ini mengalami perubahan pola hujan yang berdampak pada pergeseran zona wilayah musim. Perubahan pola curah hujan berdasarkan data time series intensitas curah hujan di wilayah tersebut. Interaksi atmosfer dan lautan seperti variasi suhu permukaan laut, tekanan permukaan laut dan angin mempengaruhi proses pembentukan awan terjadinya hujan. Pengaruh

topografi di suatu wilayah menyebabkan masing-masing wilayah memperoleh jumlah curah hujan yang berbeda.

Curah hujan yang turun tidak sesuai periode menyebabkan terjadi peningkatan atau penurunan curah hujan sehingga terjadinya pergeseran awal dan panjang musim kemarau dan musim hujan. Terjadinya pergeseran musim sangat memengaruhi aktivitas di berbagai sektor, terutama pada periode terjadinya fenomena iklim seperti ENSO, dan anomali perairan penelitian yang disebabkan oleh variasi suhu permukaan laut. Pada fenomena iklim tersebut sangat memengaruhi intensitas curah hujan dan menimbulkan kerugian seperti kekeringan dan banjir.

Penggunaan data penginderaan jauh sangat penting untuk mengkaji dinamika atmosfer yang terjadi baik secara spasial dan temporal. Mengkaji dinamika atmosfer pada skala makro hingga global membutuhkan sumber data yang efektif dan efisien, tidak hanya mengandalkan data observasi. Pemanfaatan data penginderaan jauh dapat mengekstrak variabel yang sebagai faktor pengaruh pola curah hujan, sehingga dapat dianalisis secara kompleks. Dari analisis tersebut dapat diketahui dampak terhadap variabilitas musim terutama selama terjadinya ENSO, dan anomali perairan wilayah penelitian. Kesesuaian resolusi citra GSMaP dengan wilayah penelitian serta resolusi Aqua MODIS yang detail sebagai bahan pertimbangan utama dalam penelitian ini, karena semakin tinggi akurasi maka semakin baik kesesuaiannya dalam merepresentasikan kondisi di lapangan.

Berdasarkan uraian di atas maka rumusan permasalahan dari penelitian ini, adalah Mengkaji Dinamika Pola Curah Hujan dan Suhu Permukaan Laut terhadap Variabilitas Musim Berbasis Citra Penginderaan Jauh Skala Regional di Provinsi Kalimantan Barat Tahun 2022-2023. Rumusan permasalahan sebagai berikut:

1. Belum diketahui sejauh mana citra Aqua MODIS mampu mengidentifikasi kejadian ENSO melalui data suhu permukaan laut, khususnya pada periode 2022 dan 2023. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terhadap pola anomali suhu permukaan laut yang terekam oleh MODIS dan

dibandingkan dengan data referensi kejadian ENSO, guna mengetahui tingkat ketepatan dan konsistensinya dalam mendeteksi peristiwa El Nino dan La Nina.

2. Pola curah hujan baru periode 2022 yang berbeda dengan periode sebelumnya sehingga perlu untuk mengidentifikasi kesesuaian pola curah hujan tersebut dengan mempertimbangkan kondisi dinamika atmosfer (suhu permukaan laut, tekanan permukaan laut, dan angin) menggunakan data penginderaan jauh.
3. Belum diketahui tingkat akurasi citra GSMaP (*Global Satellite Mapping of Precipitation*) dalam merepresentasikan curah hujan selama periode ENSO apabila dibandingkan dengan data curah hujan observasi. Sehingga perlu dilakukan validasi untuk mengetahui sejauh mana kesesuaian citra GSMaP terhadap kondisi curah hujan pada periode tersebut.
4. Variasi anomali suhu permukaan laut dan curah hujan selama periode ENSO diketahui berdampak terhadap variabilitas musim. Namun, belum diketahui secara pasti bagaimana hubungan atau pengaruh dari kedua variabel tersebut terhadap pergeseran atau perubahan awal musim. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang menggabungkan data penginderaan jauh untuk menganalisis dinamika tersebut.

1.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah diatas, maka pertanyaan utama penelitian ini adalah “Bagaimana dinamika pola curah hujan dan suhu permukaan laut terhadap variabilitas musim berbasis citra penginderaan jauh pada skala regional di Provinsi Kalimantan Barat tahun 2022-2023?”. Pertanyaan penelitian tersebut dibagi menjadi beberapa pertanyaan yang lebih spesifik sebagai berikut:

1. Bagaimana kemampuan citra Aqua MODIS dalam mengidentifikasi kejadian ENSO pada periode 2022–2023 melalui analisis suhu permukaan laut?

2. Bagaimana kesesuaian pola curah hujan pada tahun 2022 dan 2023 terhadap pola curah hujan baru berdasarkan data penginderaan jauh?
3. Bagaimana akurasi citra GSMaP (*Global Satellite Mapping of Precipitation*) dalam merepresentasikan curah hujan selama periode El Nino dan La Nina jika dibandingkan dengan data curah hujan observasi?
4. Bagaimana pengaruh variasi anomali suhu permukaan laut dan curah hujan selama periode ENSO kaitannya dengan variabilitas musim menggunakan data penginderaan jauh?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan pertanyaan penelitian yang telah diuraikan, tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengkaji dinamika pola curah hujan dan suhu permukaan laut terhadap variabilitas musim berbasis citra penginderaan jauh skala regional di Provinsi Kalimantan Barat tahun 2022-2023. Adapun untuk menjawab tujuan utama tersebut, sub-sub tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis kemampuan citra Aqua MODIS dalam mengidentifikasi kejadian ENSO pada tahun 2022 dan 2023 melalui data suhu permukaan laut, serta mengevaluasi kesesuaian hasil identifikasi tersebut dengan membandingkannya terhadap data referensi kejadian ENSO dari sumber lain.
2. Mengevaluasi kesesuaian pola curah hujan pada tahun 2022 dan 2023 terhadap pola curah hujan baru yang ditetapkan oleh BMKG menggunakan data penginderaan jauh, serta menilai kemampuan citra satelit dalam memantau dan merepresentasikan dinamika pola curah hujan di wilayah penelitian.
3. Memvalidasi akurasi citra GSMaP pada periode El Nino dan La Nina dalam merepresentasikan curah hujan dengan membandingkannya terhadap data observasi.
4. Menganalisis pengaruh variasi anomali suhu permukaan laut dengan curah hujan selama periode ENSO yang berkaitan terhadap variabilitas musim di wilayah Provinsi Kalimantan Barat dengan menggunakan data penginderaan jauh.

1.5 Manfaat penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat membantu dan memberikan manfaat terkait dinamika pola curah hujan dan suhu permukaan laut yang berpengaruh terhadap variabilitas musim pada skala regional di Provinsi Kalimantan Barat pada tahun 2022-2023 dengan data penginderaan jauh. Adapun manfaat tersebut adalah sebagai berikut:

1. Memanfaatkan kemampuan Citra Aqua MODIS untuk mengidentifikasi kejadian ENSO.
2. Memberikan kontribusi dalam memahami kesesuaian antara pola curah hujan aktual dan pola curah hujan baru, serta mendukung pemanfaatan data penginderaan jauh sebagai sumber informasi alternatif dalam pemantauan curah hujan.
3. Memanfaatkan kualitas citra GSMaP dalam merepresentasikan curah hujan pada periode El Nino dan La Nina sebagai alternatif data curah hujan, sehingga dapat dimanfaatkan diberbagai sektor.
4. Memberikan pengetahuan dan pemahaman mengenai variasi suhu permukaan laut yang memengaruhi intensitas curah hujan di suatu wilayah dengan memanfaatkan data penginderaan jauh. Pengetahuan ini dapat menjadi pertimbangan dalam penentuan prakiraan musim serta membantu masyarakat dalam adaptasi dan mitigasi selama fenomena iklim.

BAB II

TELAAH PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Dalam suatu penelitian ilmiah, bab ini sangat penting sebagai tahapan awal yang memberikan arah dan batasan terhadap ruang lingkup pembahasan yang berfungsi untuk menjelaskan konsep-konsep dasar, kerangka berpikir, beserta studi-studi terdahulu yang relevan dengan permasalahan yang diangkat. Melalui penyusunan ini, peneliti dapat memahami hubungan antarvariabel dan memperkuat argumen ilmiah yang digunakan dalam analisis. Oleh karena itu, pada bagian ini akan diuraikan teori-teori dan konsep yang mendasari penelitian terkait citra satelit, fenomena ENSO (*El Nino Southern Oscillation*), dan variabilitas musim.

2.1.1 Penginderaan Jauh untuk Curah Hujan

Teknologi satelit penginderaan jauh dapat memberikan informasi terkait estimasi curah hujan. Produk penginderaan jauh dapat dihasilkan dari tiga jenis sumber data, yaitu gelombang mikro pasif, radiometer inframerah, serta kombinasi antara data gelombang mikro dan inframerah (Derin *et al.*, 2019). Penginderaan jauh memiliki resolusi spasial dan temporal yang tinggi, sehingga berpotensi menjadi alternatif sumber data curah hujan, khususnya pada wilayah-wilayah yang sulit dijangkau oleh pengukuran konvensional di lapangan (Shi *et al.*, 2021). Sebagian data curah hujan yang diperoleh dari pengamatan satelit memiliki akurasi yang memadai (Fadholi dan Adzani, 2018). Tingkat akurasi tersebut bergantung pada jenis citra satelit yang digunakan serta karakteristik wilayah penelitian.

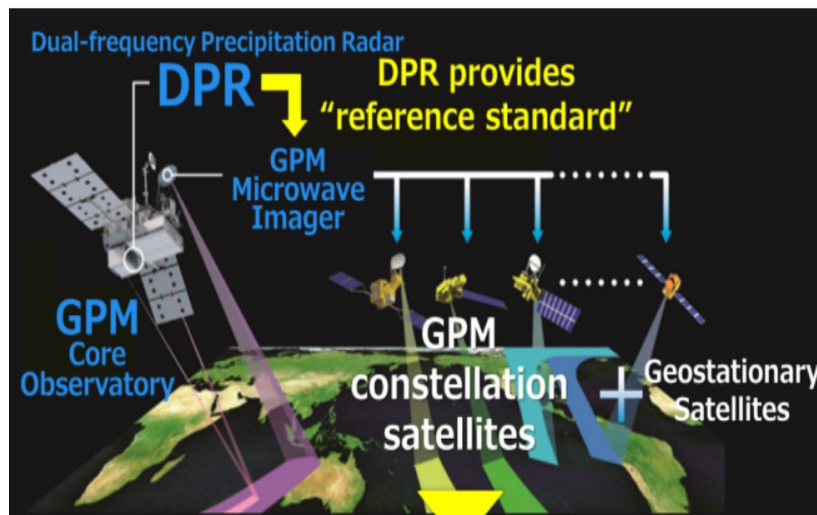
Berbagai citra penginderaan jauh, dengan resolusi yang beragam, dapat dimanfaatkan untuk estimasi curah hujan. Penggunaan citra penginderaan jauh untuk estimasi curah hujan meliputi beberapa metode dan produk, antara lain jaringan syaraf tiruan PERSIANN (*Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks*) (Sadeghi *et al.*, 2019); estimasi curah hujan multisatelit TMPA (*Tropical Multi-satellite Precipitation Analysis*) (Milewski *et al.*, 2015); metode morfing analisis dan prediksi iklim CMORPH

(*Climate Prediction Center Morphing Technique*) (Kim dan Han, 2018); serta pengukuran curah hujan tropis oleh satelit TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), estimasi produk cuaca secara real time yaitu Himawari, kombinasi satelit dan observasi yaitu CHIRPS (*Climate Hazard Information for Risk Prevention and Support*) (Bai *et al.*, 2018), dan lain-lain.

Citra penginderaan jauh yang akan dilakukan dalam penelitian ini yaitu citra satelit dengan pemetaan curah hujan secara global yaitu GSMaP (*Global Satellite Mapping of Precipitation*).

a. Citra GSMaP

GSMaP (*Global Satellite Mapping of Precipitation*) dikeluarkan oleh Japan Science and Technology Agency (JAXA) selama periode 2002–2007. Sejak tahun 2007 hingga sekarang, satelit GSMaP terus dikembangkan oleh JAXA Precipitation Measuring Mission (PMM) science team dengan memperbarui algoritma yang digunakan guna memperoleh estimasi curah hujan yang lebih akurat (Kubota *et al.*, 2020). Secara umum, algoritma satelit untuk produk estimasi curah hujan satelit GSMaP diilustrasikan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Algoritma Produk GSMaP
Sumber: <http://sharaku.eorc.jaxa.jp>

GSMaP bertujuan untuk membuat peta curah hujan global beresolusi tinggi dan mengembangkan algoritma. Proses algoritma pengolahan data pada GSMaP (Kubota *et al.*, 2020; Ramadhan *et al.*, 2023) yaitu:

1. Mengembangkan algoritma MWR dengan sensor Precipitation Radar yang ada pada satelit GPM dan satelit geostasioner
2. Menggabungkan penggunaan MWR dengan IR dengan menggunakan Kalman Filter

Algoritma GSMaP menghasilkan beberapa produk dengan latency yang berbeda-beda, yaitu: GSMaP Now (real time dengan latensi 0 jam), GSMaP NRT (near real time dengan latensi 4 jam), dan GSMaP MVK (post real time dengan latensi 3 hari) (Kubota *et al.*, 2020). GSMaP-NRT hanya menggunakan propagasi maju pada algoritma moving vector, sedangkan GSMaP-MVK menggunakan algoritma maju dan mundur (Wang *et al.*, 2021). Detail deskripsi data produk citra satelit GSMaP disajikan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Deskripsi Data GSMaP

Variabel	Curah hujan
Domain	Bujur: 0 – 360 Lintang: 60 – (-60)
Resolusi Spasial	0.1° x 0.1°
Resolusi Temporal	1 jam
Satuan	mm/jam

Sumber: Kubota *et al.*, 2022

Produk GSMaP versi 8 dirilis pada Desember 2021 menyempurnakan versi sebelumnya. Beberapa perbaikan pada GSMaP versi 8 meliputi penyempurnaan pada PMW-IR, pengembangan algoritma metode penyesuaian histogram (Kubota *et al.*, 2020), serta peningkatan metode ketebalan hujan es dan algoritma untuk hujan lebat orografis (Ramadhan *et al.*, 2023).

2.1.2 Penginderaan Jauh untuk Suhu Permukaan Laut

Suhu permukaan laut merupakan salah satu variabilitas iklim yang dapat berubah setiap waktu. Ada dua pendekatan untuk mengukur suhu permukaan laut yaitu pengukuran insitu yang dilakukan secara langsung, atau dengan memanfaatkan penginderaan jauh (Tangke, 2015). Teknik penginderaan jauh memiliki keunggulan dalam menganalisis wilayah yang luas, terpencil, atau sulit dijangkau dengan metode konvensional dalam rentang waktu yang relatif singkat,

sehingga sangat efektif untuk pemantauan wilayah secara spasial dan temporal (Hamuna *et al.*, 2015). Untuk mengatasi karakteristik suhu permukaan laut yang tidak konstan, citra penginderaan jauh menawarkan solusi pengukuran yang akurat dan berkelanjutan (Wijaya, 2015). Pengukuran suhu permukaan laut dengan gelombang inframerah dan mikro pada citra satelit dapat memberikan pengukuran yang akurat dan sistematis pada resolusi spasial satu hingga beberapa kilometer dan temporal yang tinggi dari setiap jam hingga harian (Pisano *et al.*, 2016)

Terdapat beberapa citra penginderaan jauh untuk suhu permukaan salah satunya yaitu citra Landsat, *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR NOAA), dan *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) dan lainnya. Citra penginderaan jauh yang digunakan dalam penelitian ini untuk memperoleh suhu permukaan laut adalah MODIS.

a. MODIS

Citra satelit MODIS berasal dari NASA (National Aeronautics and Space Administration). Pesawat ini dilengkapi dengan sensor Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS), yang dibawa oleh dua wahana yaitu Terra (diluncurkan Desember 1999) dan Aqua (diluncurkan Mei 2002). MODIS dikembangkan oleh Amerika Serikat. Satelit MODIS mengorbit bumi secara sun-synchronous dengan ketinggian orbit 705 km. Orbit Terra melintas dari utara ke selatan melewati khatulistiwa pada pagi hari jam 10.30 dan Aqua melintas dari selatan ke utara khatulistiwa melewati khatulistiwa pada sore hari jam 13.30 untuk satelit Aqua waktu lokal. MODIS dapat mengamati keseluruhan permukaan bumi setiap hari untuk kawasan di atas lintang 30°, dan setiap dua hari untuk kawasan dibawah lintang 30°, termasuk Indonesia (Maccherone, 2016). Berikut ini karakteristik satelit MODIS Terra dan Aqua yang disajikan pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Karakteristik Satelit MODIS

Kriteria	Karakteristik
Tinggi Orbit	705km, sun synchronous, near polar

Sensitivitas	2% dari 0,43 - 2,2 μm dan pemindaian $\pm 45^\circ$
Sudut pandang	49,5°
Lebar sapuan	2300 km
Siklus	100%
Panjang gelombang	0,4-14,5 μm
Resolusi temporal	1-2 kali sehari
Resolusi spasial	- Kanal 1 dan 2 resolusi 250m - Kanal 3-7 resolusi 500m - Kanal 8-36 resolusi 1000m
Ukuran	1,0 x 1,1 x 1,6 m
Berat	229 kg

Sumber: NASA, 2024

Satelit MODIS memiliki sebuah keunggulan dalam hal resolusi spasial yang lebih tinggi, kepekaan radiometri, rektifikasi geometri serta kalibrasi radiometri yang lebih banyak. MODIS secara pasif mengukur pantulan/pancaran sinar bumi di bagian atas atmosfer pada 36 band spektral berbeda. Satelit MODIS memiliki resolusi temporal yaitu 1-2 hari serta kepekaan radiometrik yang tinggi dengan panjang gelombang dari 0,4-14,5 μm (Feldman, 2015). Detail deskripsi band sensor MODIS yang disajikan pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Rincian Band Sensor MODIS

Saluran Spektral	Resolusi Spektral (μm)	Resolusi Spasial	Pemanfaatan Saluran
------------------	-------------------------------------	------------------	---------------------

1-2	0,6 – 0,87	250 x 250 meter	Klasifikasi lahan, awan, aerosol
3-7	0,45 – 2,15	500 x 500 meter	Sifat daratan, awan, aerosol
8-16	0,40 – 0,87	1 x 1 kilometer	Warna perairan laut, biogeokimia, dan fitoplankton.
17-19	0,89 – 0,96		Uap air atmosfer
20-23	3,6 – 4,08		Suhu permukaan, awan, kebakaran dan gunung meletus
24-25	4,43 – 4,54		Suhu atmosfer
26-28	1,36 – 7,47		Uap air awan Cirrus
28-29	8,40 – 8,70		Awan
30	9,58 – 9,88		Ozon
31-32	10,78 – 12,27		Suhu permukaan, awan
33-36	13,18 – 14,38		Tinggi puncak awan

Sumber: NASA, 2024

MODIS tersusun atas 19 band, meliputi spektrum visible hingga inframerah (termasuk band 26) dan band thermal. Data yang direkam oleh sensor MODIS memiliki signifikansi tinggi untuk berbagai penelitian. Data ini mendukung pemahaman proses dinamika global di daratan, samudra, dan lapisan atmosfer bawah. Instrumentasi MODIS diprioritaskan pada observasi atmosfer, perairan laut dan fitur permukaan daratan. MODIS tidak hanya memiliki band yang beragam, tetapi juga dibagi menjadi beberapa tingkatan level dengan resolusi spasial bervariasi, seperti disajikan pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Level Satelit MODIS

Level	Resolusi Spasial	Penjelasan
Level 0	250, 500, 1000m	Data mentah dalam bentuk nilai digital, format data transmisi tanpa koreksi
Level 1A	250, 500, 1000m	Data nilai radiansi (turunan dari level 0) terdapat informasi waktu, koefisien kalibrasi geometric dan radiometrik, serta georeferensi.
Level 1B	250, 500, 1000m	Data yang sudah di koreksi radiometrik
Level 2	1 km	Data yang sudah di kalibrasi, koreksi dan algoritma.
Level 3	4,63km	Data yang sudah diproyeksikan dalam grid spasial pada periode tertentu
Level 4	4,9km 39km 1°grid global	Produk data produktivitas primer perairan global yang merupakan hasil model dari analisis level yang lebih rendah.

Sumber: (Feldman, 2015)

2.1.3 Pemanfaatan Data ERA 5 untuk Angin dan Tekanan Permukaan Laut

Kondisi cuaca dan iklim suatu wilayah dipengaruhi oleh tekanan permukaan laut. Hal tersebut dikarenakan dinamika atmosfer yang melibatkan pergerakan angin termasuk proses uap air yang terjadi pertukaran panas antar uap air. Tekanan permukaan laut mempengaruhi pola angin skala regional dan global. Angin yang membawa uap air dari lautan dapat menyebabkan curah hujan yang tinggi saat mencapai daratan, terutama di daerah dengan tekanan rendah yang mendorong konveksi.

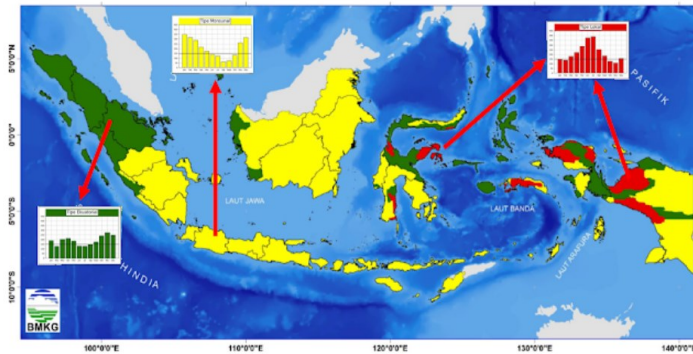
Tidak hanya sirkulasi atmosfer, tekanan permukaan laut juga memengaruhi sirkulasi laut. Tekanan permukaan laut memengaruhi proses upwelling dan downwelling di lautan sehingga terjadi interaksi antara atmosfer dan laut (de Oliveira Junior *et al.*, 2024). Pada saat terjadi interaksi atmosfer dan lautan terjadi transfer energi panas yang menyebabkan terjadi penghangatan dan pendinginan suhu permukaan laut serta diiringi pergerakan angin (Purwadana, 2022). Kondisi tersebut menimbulkan terjadinya ENSO, Dipole Mode, dan anomali suhu permukaan laut Indonesia. Sehingga diperlukan analisis tekanan permukaan laut dan angin untuk mengetahui variasi curah hujan di suatu wilayah.

ERA 5 merupakan produk reanalisis generasi kelima setelah FGGE (1979), ERA-15 (1990an), ERA-40 (2001-2003)), dan ERA-Interm (2016-2019) yang diproduksi oleh ECMWF didasarkan model Integrated Forecasting System (IFS) Cy41r2 dan analisis variasi empat dimensi, 4DVAR (Herbach *et al.*, 2019). ERA 5 dikembangkan oleh *Copernicus Climate Change Service (C3S)*. Penggabungan model prediksi numerik dengan data citra satelit dan data observasi menjadikan ERA5 lebih unggul dibanding produk sejenis sebelumnya.

ERA 5 memiliki resolusi temporal dan spasial yang jauh lebih tinggi dibandingkan model sebelumnya yaitu dengan resolusi spasial $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$, resolusi temporal 1 jam, resolusi horizontal 31 km dan vertical 137 level yang mencakup permukaan bumi hingga 0,01 hPa (Herbach *et al.*, 2019). ERA5 terbaru, yang diluncurkan di Climate Data Store (Gleixner *et al.*, 2020), dapat mempresentasikan interaksi cuaca dengan topografi. Kemampuan ini didukung oleh asimilasi data observasi serta resolusi spasial dan temporalnya yang baik (Rais *et al.*, 2019). Koreksi bias pada model ini juga terbukti efektif, menjaga akurasi dari penyimpangan reanalisis (Laloyaux *et al.*, 2020). Data ERA 5 memiliki kemiripan yang hampir sama dengan data in situ pada tren tekanan permukaan laut (Rovanov dan Romanova, 2021). Resolusi spasial dan temporal yang menjadikan ERA 5 lebih unggul dibandingkan data reanalisis lainnya

2.1.4 Pola Curah Hujan

Hujan merupakan bentuk cair dari suatu presipitasi yang jatuh sampai permukaan tanah (Tjasjono, 2019). Hujan yang sampai ke permukaan tanah diukur dalam satuan milimeter. Satu milimeter curah hujan merupakan tinggi air hujan yang menutupi muka dengan luasan 1 m^2 , diasumsikan bahwa air tersebut tidak meresap ke dalam tanah atau menguap ke atmosfer (Tjasyono, 2019). Tinggi rendahnya curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh sirkulasi atmosfer dan geografis di masing-masing wilayah (Prasetyo dan Pusparini, 2019). Letak geografis bergantung pada kondisi topografi. Pada **Gambar 2.2** menunjukkan pola curah hujan di Indonesia.



Gambar 2.2 Pola curah hujan di Indonesia
Sumber: (BMKG, 2022)

Berdasarkan sirkulasi atmosfer, Indonesia memiliki tiga tipe pola curah hujan (BMKG, 2022) antara lain:

1. Tipe pola monsunial yaitu pola curah hujan dalam satu tahun memiliki satu puncak hujan tertinggi dan puncak hujan terendah. Puncak hujan tertinggi berlangsung sekitar bulan Desember Januari Februari sedangkan puncak hujan terendah terjadi sekitar bulan Juni Juli Agustus.
2. Tipe pola ekuatorial yaitu pola curah hujan dengan dua puncak hujan tinggi (musim hujan) dalam satu tahun. Puncak hujan tertinggi berlangsung antara bulan Maret April Mei dan bulan Oktober November Desember.
3. Tipe pola lokal yaitu pola curah hujan kejadian berbanding kebalik dengan pola monsunial, dimana puncak hujan terendah terjadi pada bulan Desember Januari Februari sedangkan puncak hujan tertinggi terjadi pada bulan Juni Juli Agustus.

2.1.5 Suhu Permukaan Laut

Suhu permukaan laut memberikan efek berskala besar terhadap sirkulasi atmosfer (Li *et al.*, 2020). Sirkulasi atmosfer terjadi karena tidak merata penerimaan sinar matahari sehingga terjadi interaksi antara laut dan atmosfer dapat mengakibatkan pertukaran massa dan energi karena lautan berperan sebagai penyuplai uap air bagi atmosfer (Aldrian, 2014; Sari *et al.*, 2017). Penguapan terjadi akibat dari suhu permukaan laut yang cukup hangat (Rochmady, 2015), sehingga atmosfer mengalami titik jenuh dan membentuk awan. Arah angin secara bergantian

berpengaruh terhadap sirkulasi massa air yang berubah dan mengalami pergerakan massa air (Habibie dan Nuraeni, 2014). Angin akan bergerak dari daerah bertekanan udara tinggi ke wilayah bertekanan udara rendah (Sartika, 2016)

Suhu permukaan laut menimbulkan peristiwa ENSO dan anomali suhu permukaan laut Indonesia baik secara global ataupun regional. Suhu permukaan laut di Samudra Pasifik menimbulkan fenomena El Nino dan La Nina (Luo *et al.*, 2016; Tang *et al.*, 2018). Fenomena global tersebut sangat mempengaruhi intensitas curah hujan di Indonesia (Millinea *et al.*, 2022)

Selain suhu permukaan laut skala global, curah hujan juga berinteraksi terhadap anomali suhu permukaan laut dalam skala regional. Respons curah hujan terhadap suhu permukaan laut di perairan Indonesia lebih didominasi, dengan sensitivitas curah hujan lebih besar pada suhu permukaan laut yang lebih hangat (He *et al.*, 2018). Oleh karena itu, memahami respons curah hujan terhadap suhu permukaan laut di perairan Indonesia sangat penting untuk mengetahui dampak perubahan variasi suhu permukaan laut pada iklim di Indonesia.

2.1.6 Confussion Matrix

Confusion matrix adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengevaluasi performa model. Confusion matrix menggambarkan seberapa baik model yang digunakan dalam memprediksi suatu kelas tertentu (Hossin dan Sulaiman, 2015). Confusion Matrix menggunakan tabel matrix untuk evaluasi yang seperti pada **Gambar 2.3**

		Aktual	
		Possitive (1)	Negative (0)
Interpretasi/Representasi	Possitive (1)	TP	FP
	Negative (0)	FN	TN

Gambar 2.3 Ilustrasi Confussion Matrix

Confusion matrix biasanya berbentuk tabel 2x2 untuk masalah klasifikasi biner, yang terdiri dari empat komponen utama: True Positive (TP), False Positive (FP), False Negative (FN), dan True Negative (TN) (Sathyanarayanan dan Tantri,

2024). Perhitungan evaluasi confusion matrix terhadap citra satelit dan observer terdiri dari akurasi, presisi, recall, dan F1-score (Power, 2011).

2.1.7 Resample Citra

Proses ini diperlukan untuk menyelaraskan data dengan skala analisis yang dibutuhkan, baik untuk meningkatkan resolusi (upsampling) maupun menurunkannya (downsampling) (Jensen, 2015). Penentuan metode resampling sangat penting karena dapat memengaruhi kualitas dan akurasi citra hasil. Secara umum, resampling adalah proses mengubah resolusi spasial citra raster, yang berarti bisa menurunkan maupun menaikkan resolusi gambar. Untuk meningkatkan resolusi, teknik resampling yang umum digunakan meliputi Nearest Neighbor, Bilinear, dan Bicubic.

a. Nearest Neighbor

Merupakan metode resampling dengan nilai dari piksel terdekat tanpa interpolasi.

b. Bicubic

Merupakan metode yang digunakan untuk mengubah resolusi suatu data menggunakan pixel 4x4 dengan fungsi interpolasi bicubic. Nilai data dari interpolasi bicubic tidak hanya dipengaruhi oleh titik data terdekat saja (Nguyen *et al.*, 2019).

c. Bilinear

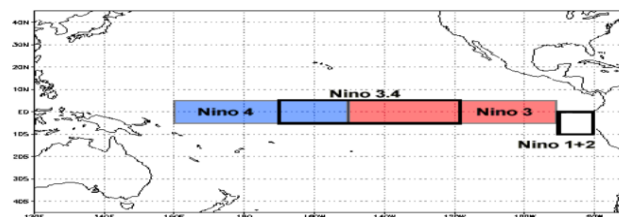
Merupakan metode dengan pendekatan yang lebih kompleks untuk menghitung nilai piksel output. Metode resample ini menghitung rata-rata tertimbang dari empat piksel tetangga terdekat di citra input (Jensen, 2015). Perhitungan ini didasarkan pada jarak relatif piksel output terhadap keempat piksel input tersebut, sehingga menghasilkan nilai yang lebih halus. Metode ini bekerja dengan melakukan interpolasi linear terlebih dahulu dalam satu arah, kemudian dilanjutkan interpolasi linear dalam arah tegak lurusnya menghasilkan transisi nilai yang halus antar grid (Burrough dan McDonnell, 1998). Interpolasi bilinear sangat sesuai untuk variabel kontinu seperti suhu, angin, dan tekanan permukaan laut karena dapat menghasilkan distribusi nilai yang lebih mulus antar grid (ECMWF,

2023). interpolasi bilinear adalah metode yang stabil dan efisien untuk meregridding variabel meteorologi yang bersifat halus dan berkelanjutan (Zhuang, 2020).

Resample untuk menurunkan resolusi adalah agregasi. Metode agregasi (rata-rata) adalah metode yang paling fundamental dan banyak diterapkan penurunan resolusi (downsampling). Metode agregasi berkerja mengelompokkan piksel-piksel dari citra resolusi tinggi ke dalam blok-blok yang lebih besar. Nilai untuk setiap piksel baru di raster output dihitung dengan mengambil rata-rata aritmatika dari semua piksel resolusi tinggi yang berada di dalam blok tersebut (Robinson, 2014). metode agregasi adalah mampu dalam mereduksi noise atau variasi skala kecil yang sering ditemukan pada data resolusi tinggi. Dengan merata-ratakan nilai dari area yang lebih luas, metode ini menghasilkan nilai yang lebih stabil dan representatif untuk fenomena skala regional (Jensen, 2015). Metode agregasi sangat krusial dalam pemrosesan data SST dari satelit. agregasi digunakan untuk mengintegrasikan nilai-nilai piksel dari resolusi yang lebih tinggi ke dalam grid yang lebih kasar (Kilpatrick *et al.*, 2015).

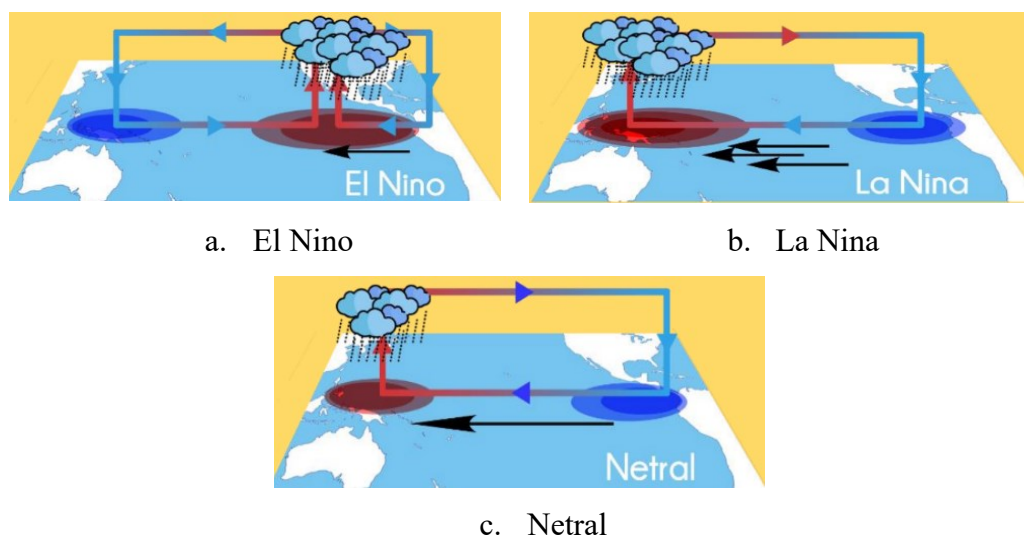
2.1.8 Fenomena ENSO

ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) adalah sebuah peristiwa fenomena iklim yang terjadi dikarenakan interaksi laut dan atmosfer yang ditandai dengan berubahnya suhu permukaan laut di wilayah Samudra Pasifik dan berdampak pada wilayah sekitarnya (Quispe, 2018). Secara umum peristiwa ENSO berulang antara dua sampai tujuh tahun (Tang *et al.*, 2018). Wilayah ENSO di Samudra Pasifik disajikan pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Wilayah ENSO
Sumber: <https://www.ncdc.noaa.gov/>

Proses ENSO terjadi di wilayah Samudra Pasifik yang terbagi menjadi tiga wilayah yaitu wilayah Nino 3 ($5^{\circ}\text{LU}-5^{\circ}\text{LS}$, $150^{\circ}\text{BT}-90^{\circ}\text{BB}$), Nino 4 ($5^{\circ}\text{LU}-5^{\circ}\text{LS}$, $160^{\circ}\text{BT}-150^{\circ}\text{BB}$) dan wilayah Nino 3.4 ($5^{\circ}\text{LU}-5^{\circ}\text{LS}$, $180^{\circ}-120^{\circ}\text{BB}$) (Tang *et al.*, 2018). ENSO terdiri dari tiga macam fenomena yaitu Netral, El Nino dan La Nina yang kejadiannya berkaitan dengan dengan fase hangat, dingin dan normal di wilayah Samudra Pasifik bagian ekuator (Tavakol *et al.*, 2020). Ilustrasi Proses Terjadi El Nino, La Nina dan Netral disajikan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Ilustrasi Proses Terjadi ENSO, a. El Nino, b. La Nina dan c. Netral
Sumber: (BMKG, 2018)

Ilustrasi proses terjadi El Nino, La Nina dan Netral menggambarkan suhu permukaan laut rendah (warna biru), suhu permukaan laut tinggi (warna merah), dan potensi dampak (ukuran). Pada **Gambar 2.5a** El Nino merupakan fase panas, keadaan di mana nilai suhu permukaan laut di atas rata-rata pada wilayah di sekitar Samudra Pasifik bagian tengah dan timur (Melly dan Suhadi, 2019). Tekanan udara di Samudra Pasifik timur rendah sedangkan Samudra Pasifik barat tinggi sehingga sirkulasi angin berubah dari barat ke timur yang menyebabkan bergesernya potensi awan dari wilayah barat ke Samudra Pasifik timur. Kondisi tersebut menyebabkan Samudra Pasifik terjadi peningkatan curah hujan sedangkan Indonesia mengalami penurunan curah hujan.

Pada **Gambar 2.5b** La Nina merupakan fase dingin, ditandai dengan suhu permukaan laut yang lebih dingin daripada suhu permukaan laut rata-rata di sebagian besar wilayah Samudra Pasifik bagian ekuator dibandingkan Samudra Pasifik bagian barat. Tekanan udara di Samudra Pasifik equator yang tinggi menyebabkan perubahan sirkulasi angin menuju wilayah tekanan rendah yaitu barat Samudra Pasifik sehingga di wilayah tersebut berpotensi terjadi pertumbuhan awan yang tinggi. Selama periode La Nina berpotensi terjadi peningkatan curah hujan di wilayah Indonesia. Sedangkan netral merupakan fase normal dimana sirkulasi atmosfer dan kondisi muka laut di Samudra Pasifik dan wilayah Indonesia berada pada kondisi normal pada rata-ratanya (**Gambar 2.5c**). Sehingga pada kondisi netral, jumlah curah hujan dengan intensitas normal.

2.1.9 Variabilitas Musim

Variabilitas musim adalah berubahnya waktu dari normalnya selama satu tahun dikarena suatu faktor sehingga terjadinya penyimpangan musim. Penentuan awal musim berdasarkan sedikit atau banyaknya jumlah curah hujan selama 3 dasarian berturut-turut (BMKG, 2022). Jika jumlah curah hujan kumulatif ≥ 150 mm selama 3 dasarian berturut maka masuk musim hujan. Apabila jumlah curah hujan kumulatif ≤ 150 mm selama 3 dasarian berturut maka masuk musim kemarau. Lama panjang musim di masing-masing wilayah berbeda, tergantung jumlah curah hujan yang diterima. Hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi geografis.

Musim kemarau dan musim hujan terjadi secara periodik di wilayah Indonesia, namun pada periode tertentu awal musim dan panjang musim terjadi pergeseran musim. Pada periode fenomena ENSO yang disebabkan aktivitas suhu permukaan laut menyebabkan terjadi defisit curah hujan (*Hu et al., 2021*) sehingga terjadi keterlambatan memasuki periode musim selanjutnya.

2.2 Penelitian Terdahulu

Pada tahapan penyusunan proposal penelitian, diperlukan pengkajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu yang serupa dengan penelitian ini. Tujuan dari penelitian terdahulu untuk menentukan posisi penelitian yang akan dilakukan. Selain itu penelitian terdahulu juga menjadi perbandingan dalam hal metode,

analisis, studi kasus, sehingga menghasilkan keterbaruan pada penelitian yang akan diteliti.

Penelitian terdahulu terdiri dari publikasi yang paling lama pada tahun 2016 dan terbaru pada tahun 2022. Jenis kajian dan jenis citra yang dimuat pada penelitian terdahulu cukup beragam. Pada penelitian ini, wilayah kajian menjadi pembeda dengan penelitian terdahulu. Perbedaan Karakteristik wilayah akan berpengaruh pada hasil dan pembahasan yang diperoleh. Penelitian ini akan mengkombinasikan metode yang dilakukan oleh penelitian-penelitian terdahulu, sehingga akan memperoleh hasil analisis yang baru.

Penelitian spasial suhu permukaan laut di kawasan perairan Kepulauan Riau menggunakan citra Aqua MODIS, untuk memantau sebaran suhu dilakukan oleh (Tampubolon *et al.*, 2016). Penelitian ini menggunakan citra Aqua MODIS dan observasi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa data citra level 1B dengan metode algoritma Brown & Minnett menghasilkan representasi suhu permukaan laut yang tinggi dengan akurasi 89 %.

Penelitian yang dilakukan (Wang *et al.*, 2017) menganalisis pengaruh siklus diurnal, kecepatan angin skala besar, dan topografi terhadap curah hujan di pulau-pulau kecil. Penelitian ini menggunakan model numerik yaitu WRF (*Weather Research and Forecasting*). Hasil dari model WRF menunjukkan kecepatan angin yang dominan dan topografi sangat memengaruhi curah hujan di pulau tersebut. Ketika kecepatan angin rendah, curah hujan meningkat secara signifikan, dan sirkulasi simetris lokal terbentuk di sekitar pulau.

Mengidentifikasi variabilitas, tren dan hubungan curah hujan dan suhu permukaan laut menggunakan data penginderaan jauh dilakukan oleh (Bayable *et al.*, 2021). Penelitian ini menggunakan citra satelit CHIRPS untuk curah hujan dan citra satelit dari NOAA untuk suhu permukaan laut. Hasil dari penelitian ini menunjukkan variasi hujan tahunan dibawah 20 % dan musiman mencapai 75%. Tren curah hujan periode bulanan dan tahunan menunjukkan penurunan, sedangkan musiman sebagian menunjukkan tren peningkatan. Korelasi periode musiman

menunjukkan penurunan pada musim Belg dan Kiremt dan peningkatan pada musim Belga, sedangkan periode tahunan menunjukkan penurunan.

Penelitian membandingkan dampak tiga peristiwa ENSO terhadap curah hujan pada musim gugur yang dilakukan oleh (Hu *et al.*, 2021) yang mengkaji Karakteristik ENSO dan dampak terhadap curah hujan di musim gugur. Penelitian ini menggunakan data curah hujan observasi, suhu permukaan laut, ONI, tekanan dan angin dengan metode analisis sirkulasi atmosfer, statistik, dan komposit. Hasil penelitian ini menunjukkan Curah hujan pada musim gugur mengalami dominan terjadi penurunan curah hujan. Sirkulasi atmosfer menunjukkan ketiga ENSO menunjukkan karakteristik berbeda terhadap respon curah hujan.

Penelitian yang dilakukan (Chua *et al.*, 2022) yang bertujuan menguji akurasi antara data observasi dan data penginderaan jauh dengan memanfaatkan metode yang dilakukan di Australia. Data penginderaan jauh sebagai data utama yang dilakukakn pengolahan. Hasil penelitian ini menunjukkan akurasi dari data penginderaan jauh GSMaP dengan data observasi memiliki hasil lebih baik dibandingkan dengan non pengukur lainnya. Rata - rata kesalahan absolut (MAE) terhadap data stasiun berkurang.

Berdasarkan penelitian terdahulu, maka peneliti akan mengkaji dinamika pola curah hujan dan suhu permukaan laut terhadap variabilitas musim berbasis citra penginderaan jauh skala regional di Provinsi Kalimantan Barat. Pada kajian tersebut peneliti akan menggunakan data penginderaan jauh Aqua MODIS untuk memperoleh data suhu permukaan laut, GSMaP memperoleh data curah hujan, serta tekanan permukaan laut dan angin menggunakan data ERA5. Data suhu permukaan menggunakan 2 level citra, level 1B dan level 3. Citra level 1B menggunakan algoritma Brown & Minnett, 1999 untuk wilayah Samudra Pasifik. Data level 3 sebagai validasi dari level 1B dan interpretasi suhu permukaan laut di Provinsi Kalimantan Barat. Dari dua lokasi penelitian suhu permukaan laut dihitung indeks ENSO dan INA. Analisis pola curah hujan baru dengan citra GSMaP berdasarkan kondisi dinamika atmosfer. Estimasi curah hujan yang diperoleh dari citra GSMaP dilakukan validasi dengan curah hujan observasi dengan anlisis statistik dan

komparatif. Menganalisis variabilitas musim dengan periode kombinasi dari indeks ENSO dan INA. Variabilitas musim yang digunakan berdasarkan musim di wilayah penelitian yang akan diteliti yaitu musim kemarau dan musim hujan. Pada periode kombinasi indeks tersebut dianalisis pengaruh variasi suhu permukaan laut terhadap curah hujan. Adapun penelitian terdahulu yang digunakan sebagai sumber literatur penelitian ini, yang disajikan pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu

Nama Penulis	Judul	Tujuan	Metode Penelitian	Hasil
Arief Binsar Tampubolon, Oktavianto Gustin, Siti Noor Chayati. (2016)	Pemetaan Suhu Permukaan Laut menggunakan Citra Satelit Aqua MODIS di Perairan Provinsi Kepulauan Riau	Penelitian ini bertujuan untuk: 1) Menghasilkan peta spasial suhu permukaan laut di kawasan perairan Kepulauan Riau menggunakan citra Aqua MODIS	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah: 1) Data yang digunakan adalah satelit Aqua MODIS level 1 dan observasi 2) Metode yang digunakan adalah algoritma Brown & Minnett, 1999) (ATBD-25)	Hasil dalam penelitian ini adalah: 1) Metode algoritma Brown & Minnett menghasilkan representasi suhu permukaan laut yang tinggi dengan akurasi 89 %.
Shuguang Wang, & Adam H. Sobel. (2017)	Factors Controlling Rain on Small Tropical Islands: Diurnal Cycle, Large-Scale Wind Speed, and Topography	Penelitian ini bertujuan untuk: 1) Menganalisis pengaruh siklus diurnal, kecepatan angin skala besar, dan topografi terhadap curah hujan di pulau-pulau kecil	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah: 1) Data yang digunakan adalah satelit TRMM 2) Metode yang digunakan adalah model numerik yaitu WRF (<i>Weather Research and Forecasting</i>)	Hasil dalam penelitian ini adalah: 1) Kecepatan angin yang dominan dan topografi sangat memengaruhi curah hujan di pulau tersebut. Ketika kecepatan angin rendah, curah hujan meningkat secara signifikan, dan sirkulasi simetris lokal terbentuk di sekitar pulau.
Getachew Bayable, Gedamu Amare, Getnet Alemu and Temesgen Gashaw. (2021)	Spatiotemporal variability and trends of rainfall and its association with Pacific Ocean Sea surface temperature in West Harerge Zone, Eastern Ethiopia	Penelitian ini bertujuan untuk: 1) Mengidentifikasi variabilitas spatiotemporal 2) Mengidentifikasi tren curah hujan 3) Hubungannya curah hujan dengan suhu permukaan laut Samudra Pasifik di Ethiopia timur.	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah: 1) Data yang digunakan adalah data suhu permukaan laut NOAA, data curah hujan in situ dari Badan Layanan Meteorologi Nasional Ethiopia dan curah hujan dari citra satelit CHIRPS. 2) Metode koefisien variasi dan indeks anomali terstandar (SAI), uji tren Mann-Kendall (MK) dan penduga kemiringan Sen	Hasil dalam penelitian ini adalah: 1.) Koefisien variasi curah hujan tahunan sebesar 12 hingga 19,36% sedangkan musiman sebesar 15–28,49%, 24–35,58%, dan 38–75,9%. 2.) Tren curah hujan bulanan menurun di semua bulan kecuali bulan Juli, Oktober, dan November. Tren tersebut tidak signifikan. Secara musiman tren curah hujan menurun pada musim tahunan Belg dan Kiremt, sedangkan tren meningkat pada musim Bega. Pada tren curah hujan tahunan menunjukkan tren penurunan yang tidak signifikan.

			dan koefisien korelasi pearson (r).	3.) Hubungan antara curah hujan dan suhu permukaan laut Samudra Pasifik bersifat negatif untuk Kiremt, sedangkan korelasi positif untuk musim Belg dan Bega. Pada periode tahunan berkorelasi negatif.
Jiajie Hu, Wei Wang, and Yining Tan (2021)	Contrasting Impacts of Three Types of ENSO Event on Boreal Autumn Rainfall over Southwest China	Penelitian ini bertujuan untuk: 1) Karakteristik ENSO dan dampak terhadap curah hujan musim gugur di barat daya Tiongkok.	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah: 1) Data yang digunakan data curah hujan observasi, suhu permukaan laut dari HadISST, ONI dari CPC, tekanan dan angin dari NCEP 2) Metode yang digunakan analisis sirkulasi atmosfer, analisis statistik dan komposit.	Hasil dalam penelitian ini adalah: 1) Curah hujan pada musim gugur mengalami dominan terjadi defisit curah hujan. Sirkulasi atmosfer menunjukkan ketiga ENSO menunjukkan karakteristik berbeda terhadap respon curah hujan.
Zhi-Weng Chua, Yuriy Kuleshov, Andrew B. Watkins, Suelynn Choy and Chayn Sun. (2022)	A Two-Step Approach to Blending GSMaP Satellite Rainfall Estimates with Gauge Observations over Australia	Penelitian ini bertujuan untuk: 1) Memanfaatkan metode yang efektif untuk menggabungkan data curah hujan dari satelit dengan stasiun pengamatan curah hujan	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah: 1) Data citra satelit GSMaP dan curah hujan stasiun operasional. 2) Metode two step yang digunakan dan metode pembobotan varians dengan MSWEP digunakan sebagai acuan. 3) AGCD dan MSWEP digunakan dalam teknik koreksi dan pencampuran. Selain itu, dua data berbasis satelit lainnya (GSMaP-gauge dan CMORPHBLD) dan kumpulan data berbasis	Hasil dalam penelitian ini adalah: 1) Validasi yang digunakan bahwa metode tersebut menghasilkan data set yang memiliki akurasi lebih baik terhadap stasiun dibandingkan analisis berbasis non-pengukur lainnya. Rata - rata kesalahan absolut (MAE) terhadap data stasiun berkurang dari 0,89 menjadi 0,31.

			non-satelit (ERA5) disertakan untuk validasi.	
	Kajian Dinamika Pola Curah Hujan dan Suhu Permukaan Laut Terhadap Variabilitas Musim Berbasis Citra Penginderaan Jauh Skala Regional di Provinsi Kalimantan Barat	<p>Penelitian ini bertujuan untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Menganalisis kemampuan citra Aqua MODIS dalam mengidentifikasi kejadian ENSO 2) Mengevaluasi kesesuaian pola curah hujan pada tahun 2022 dan 2023. 3) Mengkaji tingkat akurasi citra GSMaP periode ENSO dibandingkan data observasi dalam merepresentasikan curah hujan. 4) Menganalisis pengaruh variasi anomali suhu permukaan laut dengan curah hujan yang berkaitan terhadap variabilitas musim 	<p>Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Data yang digunakan citra Aqua MODIS, GSMaP, ERA 5, DEMNAS, dan curah hujan observasi 2) Metode algoritma Brown and Minnet (1999) dan resample agregasi pada sst serta resample bilinear pada angin dan tekanan permukaan laut 3) Metode analisis dinamika atmosfer, analisis statistik dan komposit. 	<p>Hasil dalam penelitian ini adalah:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Citra Aqua MODIS mampu mengidentifikasi kejadian ENSO dengan akurasi sebesar 75% pada periode La Nina dan 66.7% pada periode El Nino. 2) Evaluasi pola curah hujan tahun 2022 dan 2023 menunjukkan kesesuaian dengan pola Equatorial 2 dan Monsunal 1 sesuai dengan klasifikasi BMKG. 3) Validasi citra GSMaP terhadap data observasi menunjukkan tingkat akurasi sedang hingga tinggi. 4) Anomali variasi suhu permukaan laut terbukti berpengaruh signifikan terhadap pola curah hujan, sehingga menyebabkan perbedaan awal musim kemarau dan musim hujan.

2.3 Batasan Operasional

Batasan operasional merupakan penjelasan rinci mengenai istilah atau variabel yang digunakan dalam penelitian, agar memiliki makna yang jelas dan spesifik sesuai dengan konteks studi. Batasan operasional berfungsi untuk menyamakan pemahaman pembaca terhadap istilah-istilah yang digunakan, sehingga menghindari perbedaan interpretasi dan memastikan kejelasan konsep yang diteliti. Adapun batasan operasional pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

ENSO adalah fenomena iklim yang terjadi di Samudra Pasifik yang memengaruhi cuaca global. El Nino menyebabkan Indonesia penurunan curah hujan, sedangkan La Nina meningkatkan curah hujan.

ERA 5 merupakan gabungan model prediksi numerik dengan data citra satelit dan data observasi dengan asimilasi Integrated Forecasting System (IFS) Cy41r2 dan analisis variasi empat dimensi, 4DVAR (Herbach *et al.*, 2019).

GSMaP (*Global Satellite Mapping of Precipitation*) merupakan citra untuk estimasi curah hujan memiliki resolusi spasial $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ setara 11,13 km. Akurasi GSMaP sangat beragam tergantung masing-masing wilayah (Fadholi dan Adzani, 2018).

MODIS memiliki dua orbit yaitu Terra dan Aqua. Satelit tersebut untuk mengekstrak data suhu permukaan laut. MODIS memiliki resolusi temporal yaitu 1-2 hari serta kepekaan radiometrik yang tinggi dengan panjang gelombang dari 0,4-14,5 μm (Feldman, 2015).

Penginderaan jauh merupakan suatu teknik untuk memperoleh data dan mengolahnya menjadi sebuah informasi tanpaharus mempunyai pengalaman langsung terhadap objek tersebut (Rusdi dan Masitoh, 2023)

Pola curah hujan Indonesia memiliki tiga tipe yaitu pola monsoon, equatorial dan lokal. Pola monson memiliki satu puncak musim hujan di bulan Desember Januari Februari dan satu puncak musim kemarau di bulan Juni Juli

Agustus. Sedangkan pola lokal kebalikan dari pola monson. Pola equatorial memiliki dua puncak musim hujan dalam satu tahun.

Provinsi Kalimantan Barat terdiri atas 14 kabupaten atau kota. Secara umum kabupaten atau kota terdapat di satu wilayah pulau Kalimantan dan ada yang terpisah dengan pulau Kalimantan. Penelitian ini dilakukan di semua kabupaten atau kota baik dalam satu pulau Kalimantan maupun tidak.

Resampling adalah proses pengambilan sampel untuk mengubah resolusi data (Alexander *et al.*, 2024).

Sampling adalah pemilihan beberapa sampel secara acak atau tidak untuk mewakili seluruh populasi sampel tersebut.

Suhu permukaan laut Samudra Pasifik menggunakan wilayah Nino 3.4 dengan batas 5°LU-5°LS, 180°- 120°BB dengan anomali disebut ONI (*Oceanic Nino Index*).

Suhu permukaan laut perairan Indonesia menggunakan perairan wilayah di sekitar perairan Provinsi Kalimantan Barat. Suhu permukaan laut tersebut untuk menghitung anomali suhu di perairan tersebut dan sebagai indek anomali suhu perairan Kalimantan Barat. Wilayah suhu permukaan laut yang digunakan adalah Laut Natuna, Selat Karimata dan Laut Jawa.

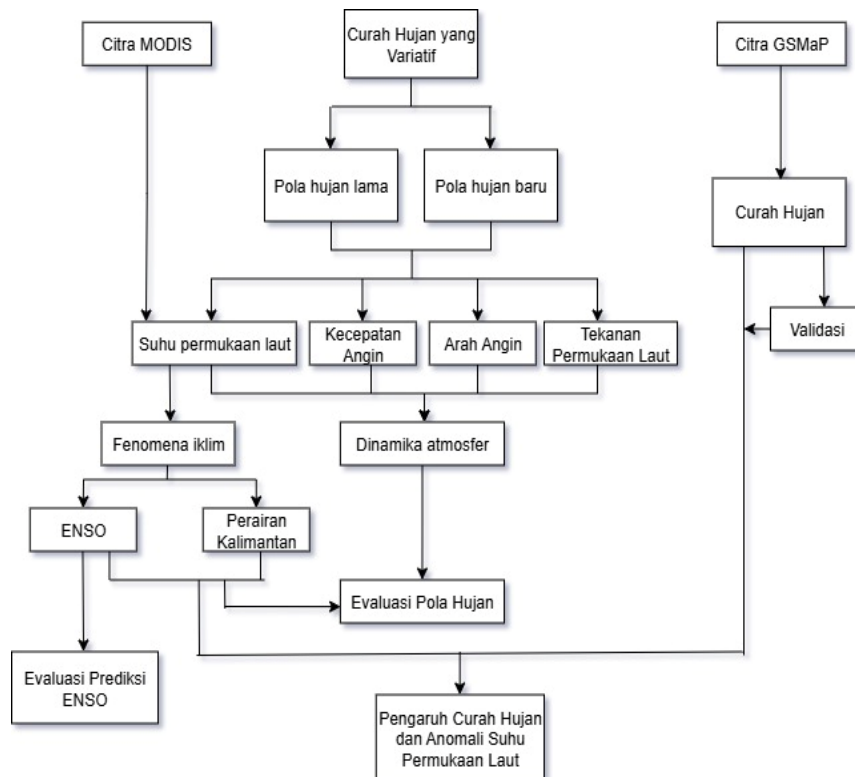
Variabilitas Musim yaitu awal dan panjang musim kemarau dan musim hujan berdasarkan jumlah curah hujan yang telah ditentukan berdasarkan kriteria musim kemarau dan musim hujan BMKG.

2.4 Kerangka Berpikir

Provinsi Kalimantan Barat merupakan salah satu wilayah yang dilalui garis khatulistiwa sehingga memiliki karakteristik iklim yang khusus. Provinsi Kalimantan Barat curah hujan dan suhu udara yang tinggi sehingga wilayah tersebut dikenal dengan wilayah musim hujan sepanjang tahun. Curah hujan yang bervariasi di provinsi tersebut menyebabkan terjadi perubahan pola curah hujan. Perubahan pola curah hujan disebabkan oleh berbagai faktor antara lain suhu permukaan laut,

arah dan kecepatan angin, dan tekanan permukaan laut. Dari faktor tersebut menimbulkan fenomena iklim seperti ENSO dan anomali perairan dari Samudra Pasifik dan Perairan Provinsi Kalimantan Barat. Peristiwa tersebut berdampak terhadap variabilitas musim. Sehingga untuk merepresentasi perubahan, faktor dan akibatnya dari curah hujan variatif selama fenomena iklim perlunya sebuah analisis dari citra satelit. Citra Modis akan menginterpretasikan kejadian ENSO dari suhu permukaan laut. Sedangkan curah hujan di representasikan dengan citra GSMaP. Curah hujan dari representasi citra GSMaP dianalisis pola hujan dan divalidasi. Selanjutnya dihubungkan dan dianalisis dengan prediksi musim pada periode ENSO.

Berikut ini diagram kerangka berpikir penelitian ini yang disajikan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Kerangka Berpikir

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian tentang dinamika pola curah hujan dan suhu permukaan laut terhadap variabilitas musim ini berlokasi di Provinsi Kalimantan Barat. Provinsi Kalimantan Barat merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang dilalui garis equator sehingga wilayah yang dilalui garis tersebut memiliki suhu yang tinggi serta dengan kelembaban yang tinggi berdasarkan letak geografis. Letak Provinsi Kalimantan Barat yang dekat dengan garis equator, di mana matahari berada hampir tegak lurus sepanjang tahun. Suhu udara rata-rata di Provinsi Kalimantan Barat berkisar antara 26,0 - 31,0°C dan kelembaban rata-rata antara 80% - 90%. Suhu udara dan kelembaban yang tinggi sehingga Provinsi Kalimantan Barat memiliki musim hujan sepanjang tahun.

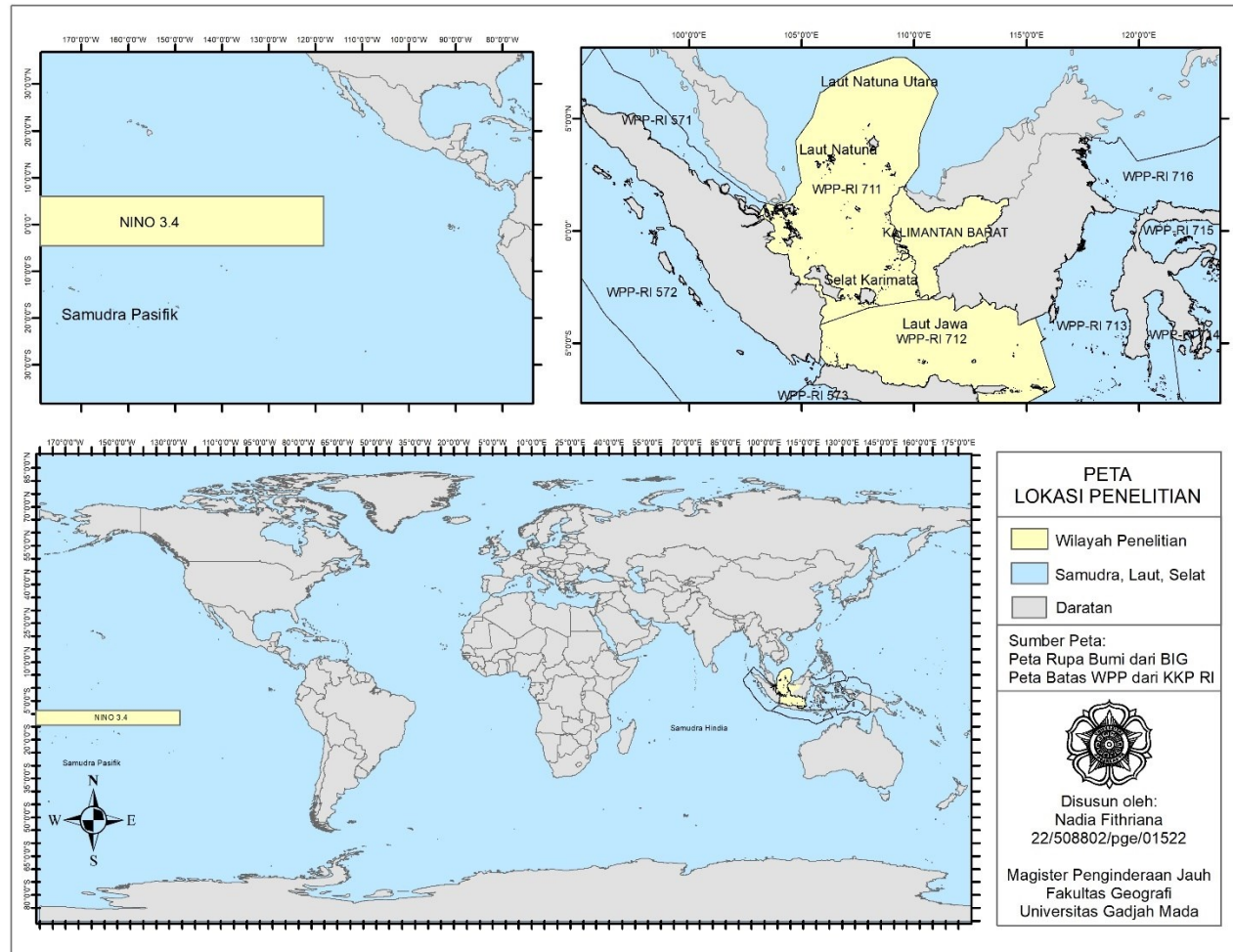
Karakteristik curah hujan di Provinsi Kalimantan Barat memiliki dua tipe pola curah hujan yaitu pola equatorial dan pola monsun. Secara umum wilayah Provinsi Kalimantan Barat di dominasi curah hujan dengan pola equatorial, dimana tidak terlihat jelas waktu musim kemarau terjadi, karena curah hujan berlangsung merata sepanjang tahun dengan dua puncak musim hujan, yaitu sekitar bulan Januari dan Oktober. Ada sebagian wilayah di Provinsi Kalimantan Barat memiliki pola curah hujan monsun yaitu selama satu tahun terlihat jelas perbedaan terjadi musim hujan dan musim kemarau, dengan puncak hujan terjadi pada Desember–Februari serta puncak kemarau pada Juni–Agustus. Karakteristik curah hujan dipengaruhi oleh variasi suhu permukaan laut baik secara regional hingga global. Lokasi suhu permukaan laut di Samudra Pasifik yaitu Nino 3.4 (5°LU-5°LS, 180°-120°BB) memiliki pengaruh terhadap curah hujan seluruh dunia termasuk di Indonesia. Lautan di sekeliling negara berpotensi berpengaruh terhadap curah hujan di sekitar negara tersebut salah satunya Indonesia. Pada wilayah penelitian yaitu Provinsi Kalimantan Barat, suhu permukaan laut di WPP 711 yaitu Laut Natuna Utara, Laut Natuna, Selat Karimata, dan WPP 712 yaitu Laut Jawa berpotensi memengaruhi terhadap intensitas curah hujan di wilayah penelitian.

Provinsi Kalimantan Barat terletak di sebelah barat pulau Kalimantan yang disajikan pada **Gambar 3.1**. Secara astronomis Provinsi Kalimantan Barat terletak antara 2° 06' Lintang Utara – 3° 05' Lintang Selatan dan 108° – 114°10 Bujur Timur. Provinsi Kalimantan Barat memiliki luas wilayah mencapai 146.807 km² atau setara dengan 14,68 juta hektare, yang membentang sejauh sekitar 600 km dari utara ke selatan dan 850 km dari timur ke barat.

Provinsi Kalimantan Barat beribukota di Pontianak yang terdiri dari 14 (empat belas) wilayah kabupaten/kota. Berikut ini kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Barat yang disajikan dalam **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Nama Kabupaten/Kota di Provinsi Kalimantan Barat

No	Nama Kabupaten/Kota	Luas Wilayah
1.	Kabupaten Sambas	5.938,00 Km ²
2.	Kabupaten Bengkayang	5.488,61 Km ²
3.	Kabupaten Landak	8.430,71 Km ²
4.	Kabupaten Pontianak	1.935,42 Km ²
5.	Kabupaten Sanggau	12.452,22 Km ²
6.	Kabupaten Ketapang	30.018,68 Km ²
7.	Kabupaten Sintang	22.025,79 Km ²
8.	Kabupaten Kapuas Hulu	31.318,25 Km ²
9.	Kabupaten Sekadau	5.979,04 Km ²
10.	Kabupaten Melawi	10.122,51 Km ²
11.	Kabupaten Kayong Utara	4.110,12 Km ²
12.	Kabupaten Kubu Raya	8.549,29 Km ²
13.	Kota Pontianak	118,21 Km ²
14.	Kota Singkawang	550,19 Km ²



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian

Secara administratif, Provinsi Kalimantan Barat memiliki batas wilayah dengan beberapa daerah di sekitarnya, yaitu:

- 1) Sebelah utara berbatasan dengan Negeri Serawak
- 2) Sebelah timur berbatasan Provinsi Kalimantan Utara dan Kalimantan Timur;
- 3) Sebelah selatan berbatasan dengan Kalimantan Tengah dan Laut Jawa;
- 4) Sebelah barat berbatasan dengan Selat Karimata, Laut Natuna, dan Semenanjung Malaysia;

Dilihat dari tekstur tanah, sebagian besar daerah Kalimantan Barat terdiri dari jenis tanah PMK (podsolet merah kuning), yang meliputi areal sekitar 10,5 juta hektar atau 17,28 persen dari luas daerah yang 14,7 juta hektar. Berikutnya, tanah OGH (orgosol, gley dan humus) dan tanah Aluvial sekitar 2,0 juta hektar atau 10,29 persen yang terhampar di seluruh Dati II, namun sebagian besar terdapat di kabupaten daerah pantai.

Sebagian besar luas tanah di Kalimantan Barat adalah hutan (42,32%) dan padang/semak belukar/alang-alang (34,11%). Adapun area hutan terluas terletak di Kabupaten Kapuas Hulu seluas 1.964.491 ha, sedangkan padang/semak belukar terluas berada di Kabupaten Ketapang yaitu seluas 1.374.145 ha. Sementara itu areal perkebunan mencapai 1.574.855,50 atau 10,73 %. Dari 14,68 ribu ha luas Kalimantan Barat, areal untuk pemukiman hanya berkisar 0,83 persen. Adapun areal pemukiman terluas berada di Kabupaten Sintang diikuti kemudian oleh Kabupaten Sanggau dan Kabupaten Ketapang.

Provinsi Kalimantan Barat dikenal dengan julukan “Provinsi Seribu Sungai” yang mencerminkan kondisi geografis yang mempunyai ratusan sungai besar hingga kecil. Banyak diantaranya dapat dan sering dilayari, menjadikannya sarana transportasi vital. Hingga kini, sejumlah sungai besar masih berperan sebagai jalur utama mobilitas masyarakat di wilayah pedalaman, meskipun infrastruktur jalan darat telah menjangkau sebagian besar kecamatan. Salah satu sungai terpenting adalah Sungai Kapuas, yang merupakan sungai terpanjang di Indonesia dengan panjang mencapai 1.086 km.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan alat dan bahan untuk mendukung dan mengolah data penelitian pada kajian pengaruh pola curah hujan dan suhu permukaan laut terhadap variabilitas musim. Berikut ini alat dan bahan pada penelitian ini yang disajikan pada **Tabel 3.2** dan **Tabel 3.3**

Tabel 3.2 Alat Penelitian

No	Alat dan Bahan	Fungsi
1.	Laptop	untuk mengolah data dan membuat laporan penelitian
2.	Printer	untuk mencetak laporan penelitian
3.	Kertas	untuk bahan mencetak laporan penelitian
4.	Alat tulis	untuk mencatat informasi penelitian
5.	Flash disk	untuk backup pengolahan dan laporan penelitian
6.	Perangkat lunak ArcGIS 10.8	untuk mengolah data penelitian
7.	Perangkat lunak ENVI	untuk mengolah data penelitian
8.	Perangkat lunak Grads	untuk mengolah data penelitian
9.	Perangkat lunak R studio	untuk mengolah data penelitian
10.	Perangkat Gif Animator	untuk visualisasi hasil penelitian
11.	Perangkat lunak Microsoft Office	untuk mengolah data dan membuat laporan penelitian

Tabel 3.3 Bahan Penelitian

Bahan	Jenis Data	Resolusi	Periode	Instansi
Curah hujan	GSMaP	0,1°x0,1°	2022-2023	JAXA
Suhu permukaan laut Indonesia	Aqua MODIS	4 km	2022-2023	NASA
Suhu permukaan laut Samudra Pasifik	Aqua MODIS	1 km dan 4 km	2011-2023	NASA
Angin	ERA5	0,25°x0,25°	2022-2023	Copernicus
Tekanan	ERA5	0,25°x0,25°	2022-2023	Copernicus
Topografi	DEMNAS	8,1 m	-	DEMNAS
Curah hujan	Data Observasi	-	2022-2023	BMKG
Indeks ENSO	NOAA	-	2022-2023	NOAA
Shp Provinsi Kalimantan Barat	Peta RBI	-	-	BIG
Pola curah hujan 2022	Peta Pola Curah Hujan	-	2022-sekarang	BMKG

3.3 Pengumpulan Data

Penelitian ini memanfaatkan berbagai jenis data, antara lain:

1. Data GSMaP yang diperoleh dari alamat FTP dengan host: hokusai.eorc.jaxa.jp dengan username: rainmap dan password: Niskur+1404. Data yang diunduh adalah data curah hujan GSMaP versi 8 skala global dalam format harian dengan panjang periode dari tahun 2022-2023. Data GSMaP beresolusi 0,1° atau setara 11,13km.
2. Data Aqua MODIS pada level 3 dengan resolusi 4km skala global pada wilayah Samudra Pasifik dan Perairan Provinsi Kalimantan Barat yang diunduh dari website <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>. Sedangkan untuk data Aqua MODIS level 1B pada wilayah Samudra Pasifik diunduh dari website <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>. Data level 1B yang diunduh adalah data dengan kode data MYD021KM untuk Aqua Modis

resolusi 1kilometer dan kode data MYD03 untuk Aqua MODIS geolocation. Data level 1B dan level 3 digunakan periode 2022-2023. Data citra Aqua MODIS level 3 tersebut sudah dikoreksi radiometrik dan atmosferik.

3. Data ERA 5 diunduh dari website <https://cds.climate.copernicus.eu/>. Data yang diunduh adalah data sea level pressure dan angin (angin u 10m dan angin v 10m). Data yang digunakan skala global dalam format bulanan dengan panjang periode dari tahun 2022-2023. Data ERA 5 beresolusi 0,25° atau setara 27,75km
4. Data topografi diperoleh dari DEMNAS digunakan untuk menggambarkan ketinggian di Provinsi Kalimantan Barat
5. Data curah hujan observasi diperoleh dari Stasiun Klimatologi Kalimantan Barat. Data curah hujan yang digunakan tiap kabupaten/kota mewakili satu titik data curah hujan. Data curah hujan observasi berasal dari 8 stasiun utama BMKG daerah masih kabupaten/kota dan 6 wilayah lainnya menggunakan data berasal dari pos pengamatan curah hujan. Data tersebut dipilih dengan kelengkapan data 100% dari periode 2022-2023.
6. Indeks fenomena iklim diperoleh dari website NOAA. Indeks yang digunakan dari periode 2022-2023.
7. Peta RBI diperoleh dari BIG yang akan digunakan sebagai wilayah administrasi Provinsi Kalimantan Barat.

3.4 Pengolahan Data

3.4.1 Suhu Permukaan Laut Aqua MODIS

Citra Aqua MODIS level 1B merupakan data yang telah melalui proses kalibrasi sensor serta oreksi hingga tingkat TOA (*Top Of Atmosfer*). Dalam penelitian ini, digunakan citra Aqua MODIS level 1B yang digunakan periode 2022-2023. Proses pengolahan citra Aqua MODIS level 1B menjadi level 2 untuk memperoleh data suhu permukaan laut sebagai berikut:

a. Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik merupakan meregistrasi nilai ulang piksel citra yang sesuai sehingga hasil yang diperoleh dari sensor persis dengan objek yang sebenarnya (Rahman, 2018).

b. Cropping Citra

Pemotongan scene citra yang dibutuhkan. Pemotongan citra dapat dilakukan sesudah koreksi geometrik, agar tidak ada perubahan nilai DN. Pemotongan citra dapat dilakukan menggunakan *region of interest* (ROI) penelitian.

c. Koreksi Bow-Tie

Koreksi bow tie merupakan memperbaiki kerusakan citra berupa duplikasi atau overlap citra. Efek Bow-Tie apabila sudut pemindaian sensor mencapai atau melebihi 15° . Hal ini disebabkan oleh peningkatan IFOV (*Instantaneous Field of View*), yang berubah dari ukuran 1×1 km pada titik nadir (tengah citra) menjadi hampir 2×5 km pada sudut pemindaian maksimum, yaitu sekitar 55° . Data citra asli ditransformasikan akan di resampling. Piksel lama di resampling dengan teknik tetangga terdekat atau *nearest neighbour* untuk menghasilkan piksel baru. Proses tersebut dilakukan dengan mengoreksi nilai keabuan piksel berdasarkan nilai keabuan piksel tetangga dari citra sebelumnya.

d. Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik merupakan proses awal dalam pengolahan citra satelit yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas visual citra, dengan mengurangi kesalahan nilai piksel atau ketidaksesuaian nilai pantulan atau pancaran spektral objek yang sebenarnya. Koreksi radiometrik pada pemerosesan data suhu permukaan laut dilakukan dengan menghitung nilai radiansi pada band 20-25 dan 27-36 dengan persamaan dibawah ini:

$$N_{Ra} = R_{scalea} \times (SI_a - R_{oa}) \quad (1)$$

Keterangan:

N_{Ra}	= Nilai radiansi pada kanal i
R_{scalea}	= Nilai skala radiansi pada kanal i
SI_a	= Scale Integer pada kanal i
R_{oa}	= Nilai offset radiansi pada kanal i

Perhitungan nilai radiansi pada sensor zenith dirumuskan dengan persamaan dibawah ini:

$$R_z = R_{sz} \times I_z \times \frac{\pi}{180} \quad (2)$$

Keterangan:

R_z = Nilai radiansi pada sensor zenith

R_{sz} = Nilai skala radiansi pada sensor zenith

I_z = Sensor zenith

Nilai radiansi yang diperoleh dari citra satelit kemudian diproses lebih lanjut untuk menghitung suhu kecerahan (*Brightness Temperature*). Persaman suhu kecerahan (*Brightness Temperature*) pada sensor MODIS dirumuskan menggunakan persamaan Planck (Darajat 2014), dibawah ini:

$$Tb = \frac{C_2}{\lambda_i \times \ln \left\{ 1 + \left(\frac{C_1}{\lambda_i^5 \times R} \right) \right\}} \quad (3)$$

Keterangan:

T_b = Suhu kecerahan air ($^{\circ}K$)

C_1 = Konstanta radiasi 1, nilai $1,1910659 \times 10^8$ [$Wm^{-2} sr^{-1}(\mu m^{-1})^{-4}$]

C_2 = Konstanta radiasi 2, nilai $1,438833 \times 10^4$ [μmK]

λ_i = Panjang gelombang, kanal 20 ($3,780 \mu m$), kanal 31 ($11,026 \mu m$) dan kanal 32 ($12,042 \mu m$)

R = Nilai radiansi pada kanal 20, 31 atau kanal 32 [$Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$]

e. Masking Citra

Masking citra dilakukan untuk menghilangkan wilayah yang tertutup awan. Sehingga piksel yang tertutup awan tidak ikut dalam pengolahan data suhu permukaan laut.

f. Suhu Permukaan laut

Perhitungan suhu permukaan laut dilakukan menggunakan persamaan Brown dan Minnett yang diimplementasikan dalam algoritma ATBD 25.

$$Spl = k_1 + k_2 \times (Tb_{31} - 273) + k_3 \times (Tb_{31} - Tb_{32}) \times (Tb_{320} - 273) + k_4 \times (Tb_{31} - Tb_{32}) \times \frac{1}{\cos^{\theta-1}} \quad (4)$$

Keterangan:

Spl = Suhu permukaan laut ($^{\circ}C$)

- Tb₂₀, Tb₃₁, Tb₃₂ = Suhu kecerahan air kanal 20, 31 dan 32 (°C)
k1, k2, k3, k4 = Koefisien, k1(1,152), k2(0,962), k3(0,151), dan k4(2,021)
θ = Nilai radiansi sensor zenith

Data citra level 2 yang diolah dari level 1B digunakan untuk menganalisa dinamika suhu permukaan laut di sekitar perairan wilayah Samudra Pasifik pada kurun waktu 2022-2023. Diperlukan data rata-rata suhu permukaan laut periode 2022-2023 untuk wilayah perairan Provinsi Kalimantan Barat sehingga diperlukan data suhu permukaan nning dengan resolusi spasial menjadi 4 km dan resolusi temporal yang digunakan pada periode bulanan di periode tersebut.

Suhu permukaan laut dari citra Aqua MODIS level 3 dihasilkan menggunakan kanal LWIR (*Long Wave Infared*) dan SWIR (*Short Wave Infared*). Pada penelitian ini menggunakan kanal LWIR yang dapat digunakan siang dan malam hari dengan nilai spektral 11 μm dan 12 μm. Persamaan algoritma suhu permukaan laut dari citra MODIS.

$$Spl_{mod} = aij_0 + aij_1 T_{11} + aij_2 (T_{11} - T_{12}) T_{sfc} + aij_3 (\sec(\theta - 1) (T_{11} - T_{12}) + aij_4 (mirror) + aij_5 (\theta *) + + aij_6 (\theta^2)) \quad (5)$$

Keterangan:

- T₁₁, Tb₁₂ = Suhu kecerahan kanal 11 dan 12 (°C)
T_{sfc} = Suhu permukaan laut referensi
θ = Sudut sensor zenith
θ* = Sudut sensor zenith (negatif)
mirror = 0 atau 1
aij = koefisien, i(bulan), j(latitude)

3.4.2 Curah Hujan GSMaP dan Observasi

Data GSMaP dilakukan pengolahan data untuk memperoleh estimasi curah hujan dengan periode waktu 2022-2023. Data GSMaP diunduh dalam format grid berbasis koordinat lintang dan bujur, di mana setiap sel grid merepresentasikan estimasi curah hujan pada lokasi dan waktu tertentu. Data tersebut di ekstraksi berdasarkan titik referensi berupa koordinat bujur dan lintang lokasi sampling penelitian pada data observasi. Lokasi sampling yang digunakan 14 lokasi yang disajikan pada **Lampiran 1**. Lokasi sampling ditentukan berdasarkan pos hujan

masing-masing kabupaten/kota yang memiliki data curah hujan observasi lengkap dari periode 2022-2023

Data curah hujan dari GSMaP dalam skala harian dilakukan pengolahan data curah hujan dasarian dihitung dalam persepuluh harian selama satu bulan tersebut. Setelah dilakukan perhitungan curah hujan dasarian hingga dasarian ke-36. Persamaan curah hujan dasarian yaitu:

$$CH_{das-1} = \frac{CH_1+CH_2+\dots+CH_n}{n} \quad (6)$$

$$CH_{das-2} = \frac{CH_{11}+CH_{12}+\dots+CH_n}{n} \quad (7)$$

$$CH_{das-3} = \frac{CH_{21}+CH_{22}+\dots+CH_n}{n} \quad (8)$$

Keterangan:

CH_{das} = Jumlah curah hujan dasarian (mm)

CH_n = Data curah hujan ke $i= 10,20,\dots,$ akhir bulan (mm)

n = Banyak data

Curah hujan observasi dilakukan pengolahan sama dengan data curah hujan GSMaP, dari skala harian menjadi skala dasarian dilanjutkan perhitungan curah hujan bulanan. Curah hujan dasarian maupun curah hujan bulanan dari data GSMaP dan data obsevasi akan digunakan untuk menganalisis pola curah hujan, validasi data dan penentuan musim.

3.4.3 Angin dan Tekanan Permukaan Laut

Data ERA5 yang digunakan pada penelitian yaitu data angin dan tekanan permukaan laut dengan periode 2022-2023. Data angin ERA 5 merupakan komponen angin U dan V dengan ketinggian 10 meter. Data tersebut dihitung resultannya untuk memperoleh arah dan kecepatan angin tersebut. Persamaan untuk menghitung komponen angin yaitu:

$$\vec{u} = \vec{V} \cos(270^\circ - \alpha) \quad (9)$$

$$\vec{v} = \vec{V} \sin(270^\circ - \alpha) \quad (10)$$

Keterangan:

- \vec{u} = Komponen angin zonal (timur-barat)
 \vec{v} = Komponen angin meridional (utara-selatan)
 \vec{V} = Kecepatan angin (knots)
 α = Arah datang angin

Persamaan rata-rata angin dirumuskan berdasarkan rata-rata angin zonal dan meridional yaitu:

$$\bar{u}_{[x,y]} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{u}_{[x,y]}}{n} \quad (11)$$

$$\bar{v}_{[x,y]} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{v}_{[x,y]}}{n} \quad (12)$$

Keterangan:

- $\bar{u}_{[x,y]}$ = Rata-rata angin zonal di titik (x,y)
 $\bar{v}_{[x,y]}$ = Rata-rata angin meridional di titik (x,y)
 $\vec{u}_{[x,y]}$ = Komponen angin zonal
 $\vec{v}_{[x,y]}$ = Komponen angin meridional
n = Jumlah data

Resultan angin dihitung berdasarkan nilai rata-rata angin u dan v pada tiap grid. Persamaan untuk menghitung resultan angin dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{[x,y]} = \sqrt{(\bar{u}_{[x,y]})^2 + (\bar{v}_{[x,y]})^2} \quad (13)$$

atau

$$ddd = 270^\circ - \theta \quad \text{dengan } \theta = \text{arc tan } \frac{v}{u} \quad (14)$$

Data ERA5 menghitung tekanan pada berbagai ketinggian di atmosfer, salah satunya permukaan laut. Tekanan permukaan laut dihitung dari tekanan di permukaan tanah, dengan persamaan hidrostatik (Holton *et al.*, 2022). Persamaan hidrostatik dapat menghitung tekanan permukaan laut dengan level tekanan yang lebih tinggi. Hal tersebut dikarenakan gradien tekanan vertikal sekanaling dengan gravitasi. Persamaan hidrostatik dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{dP}{dz} = -\rho z \quad (15)$$

Keterangan:

P = Tekanan udara

Z = Ketinggian

ρ = Densitas udara

g = Percepatan gravitasi

Tekanan permukaan laut yang semula dinyatakan dalam satuan Pascal (Pa), dikonversi ke satuan hektopascal (hPa) untuk menyesuaikan dengan satuan standar dalam meteorologi sejalan dengan konvensi yang digunakan oleh Badan Meteorologi Dunia (WMO) dan BMKG. Tekanan dalam Pa dikonversi menjadi hPa dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{hPa} = P_{Pa} / 100 \quad (16)$$

Keterangan:

P_{hPa} = Tekanan dalam satuan hektopascal

P_{Pa} = Tekanan dalam satuan pascal

3.4.4 Topografi DEMNAS

Penelitian ini untuk menganalisis karakteristik ketinggian wilayah penelitian dengan mengidentifikasi dan memetakan variasi ketinggian wilayah berdasarkan data topografi digital. Lokasi penelitian berada di Provinsi Kalimantan Barat, yang memiliki perbedaan ketinggian yang cukup signifikan, mulai dari dataran rendah hingga daerah perbukitan atau pegunungan.

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah data Digital Elevation Model (DEM) dalam format grid raster dengan sistem koordinat Geografis WGS 1984 dan memiliki resolusi spasial sekitar 8,25meter dan batas administrasi wilayah diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Data DEM di mosaik citra menjadi satu dan di *clip* sesuai batas wilayah penelitian. Selanjutnya dilakukan klasifikasi ketinggian menjadi beberapa kategori yang disajikan pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3.4 Klasifikasi Ketinggian Dengan Morfografi

Ketinggian	Morfografi
0-50meter	Dataran rendah
50-100meter	Dataran rendah pedalaman
100-200meter	Perbukitan rendah
200-500meter	Perbukitan
500-1500meter	Perbukitan tinggi
1500-3000meter	Pegunungan

Sumber: Zuidam, 1985

3.4.5 Resampling

Dalam penelitian ini, dilakukan penyesuaian resolusi spasial data agar seragam dalam analisis data menggunakan teknik resampling dan agregasi. Data angin zonal dan meridional serta tekanan permukaan laut yang semula memiliki resolusi spasial lebih tinggi, disesuaikan menggunakan metode bilinear resampling. Metode ini dipilih karena mempertimbangkan nilai piksel di sekitarnya secara linier, sehingga hasil interpolasi menghasilkan gradasi nilai yang lebih halus dan cocok untuk data meteorologis bersifat kontinyu.

Sementara itu, data suhu permukaan laut yang semula memiliki resolusi spasial tinggi (1 km dan 4 km), diubah menjadi resolusi 11 km menggunakan agregasi spasial. Proses ini dilakukan dengan merata-ratakan nilai piksel dalam blok 11×11 km, sehingga menghasilkan data yang lebih halus dan sesuai dengan resolusi data atmosfer lainnya. Pendekatan ini juga bertujuan untuk mengurangi ketidaksesuaian spasial yang dapat mempengaruhi akurasi analisis multivariat.

3.5 Analisis Data

3.5.1 Analisis Evaluasi Identifikasi Berbasis Citra Satelit

Evaluasi hasil identifikasi berdasarkan data citra satelit dilakukan menggunakan confusion matrix. Confusion matrix berupa tabel yang menunjukkan jumlah klasifikasi benar dan salah antara data citra satelit dan data observasi. Confusion matrix menggambarkan Perbandingan antara hasil prediksi

citra satelit dengan data observasi, yang disajikan dalam empat kategori utama (Sathyanarayanan & Tantri, 2024):

1. TP (*True Positive*) = Jumlah kasus di mana data data observasi dan prediksi dinyatakan positif.
2. FP (*False Positive*) = Jumlah kasus di mana data observasi negatif tetapi diprediksi sebagai positif.
3. FN (*False Negative*) = Jumlah kasus di mana data observasi positif tetapi diprediksi sebagai negatif.
4. TN (*True Negative*) = Jumlah kasus di mana data observasi dan prediksi dinyatakan negatif.

Persamaan evaluasi confusion matrix antara data citra satelit dan data observer (Powers, 2011).

a. Akurasi

Menunjukkan rasio antara jumlah prediksi yang tepat dengan total seluruh prediksi yang dihasilkan.

$$Akurasi = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (17)$$

b. Presisi

Menghitung proporsi dari prediksi positif yang benar dibandingkan terhadap semua jumlah prediksi

$$Presisi = \frac{TP}{TP+FP} \quad (18)$$

c. Recall

Mengukur proporsi prediksi yang positif yang berhasil

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (19)$$

d. F1-score

Mengevaluasi kinerja prediksi apabila terjadi ketidakseimbangan antara kelas positif dan negatif.

$$F1 - score = 2 \times \frac{Presisi \times Recall}{Presisi+Recall} \quad (20)$$

3.5.2 Identifikasi Indek Suhu Permukaan Laut

Mengidentifikasi indeks suhu permukaan laut dilakukan perhitungan anomali suhu permukaan laut di Samudra Pasifik dan perairan Provinsi Kalimantan Barat, selanjutnya mengidentifikasi fenomena yang terjadi dari perhitungan anomali suhu permukaan laut.

3.5.2.1 Indek Suhu Permukaan Laut Samudra Pasifik dan Perairan Provinsi Kalimantan Barat

Data suhu permukaan laut tersebut digunakan untuk memperoleh nilai indek. Nilai indek sebagai acuan penentuan kejadian fenomena iklim tersebut. Nilai indek tergantung pada nilai anomali suhu permukaan laut. Nilai anomali suhu permukaan laut Perairan Kalimantan Barat dan Samudra Pasifik dihitung berdasarkan hasil pengurangan suhu muka laut perairan antara aktual dengan rata-rata (Pribadi, 2012; Syaifullah, 2015). Pada penelitian menggunakan data suhu permukaan pada periode 2022-2023. Persamaan yang digunakan pada perhitungan anomali suhu permukaan laut, yaitu:

$$\Delta SST = SST_a - SST_r \quad (21)$$

Keterangan:

ΔSST = nilai anomali suhu permukaan laut pada wilayah penelitian ($^{\circ}C$)

SST_a = nilai suhu permukaan laut aktual pada wilayah penelitian ($^{\circ}C$)

SST_r = nilai suhu permukaan laut rata – rata ($^{\circ}C$)

Nilai suhu permukaan aktual adalah nilai suhu pada bulan tersebut pada periode 2022-2023. Nilai suhu permukaan laut rata-rata adalah nilai rata suhu permukaan laut pada periode 2022-2023. Nilai anomali suhu permukaan laut Indonesia disebut INA, sedangkan nilai anomali suhu permukaan laut di Samudra Pasifik disebut *Oceanic Nino Index* (ONI).

3.5.2.2 Penentuan Fenomena ENSO dan Anomali Perairan

Nilai ONI (*Oceanic Nino Index*) dan INA (Anomali Perairan Kalimantan Barat) merupakan hasil dari perhitungan anomali suhu permukaan laut. Penentuan

kategori indeks tersebut berdasarkan standar meteorologi. ONI diperoleh dari nilai anomali suhu muka laut di samudra Pasifik yaitu di wilayah nino 3.4 (Jamili, 2018). Kategori ONI dapat mengidentifikasi terjadinya ENSO. Kategori *Oceanic Nino Index* disajikan pada **Tabel 3.5**.

Tabel 3.5 Kategori Oceanic Nino Index

Anomali Samudra Pasifik	Kategori	Tahun
0.5 sampai $>2.0^{\circ}\text{C}$	El Nino	2023
$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	Normal	
-0.5 sampai $<-2.0^{\circ}\text{C}$	La Nina	2022

Sumber: (NOAA, 2024)

Jika anomali suhu mencapai $>0.5^{\circ}\text{C}$ maka terjadi penghangatan suhu muka laut, sehingga berpotensi terjadinya El Nino. Sedangkan apabila anomali suhu mencapai $<-0.5^{\circ}\text{C}$ maka terjadi pendinginan suhu muka laut, sehingga berpotensi terjadinya La Nina.

Pada indeks Perairan Indonesia, jika anomali suhu perairan $>+0.4^{\circ}\text{C}$ maka suhu muka laut pada kondisi hangat. Sedangkan apabila anomali suhu perairan $<-0.4^{\circ}\text{C}$ maka suhu muka laut pada kondisi dingin. Kategori Indeks Perairan Indonesia disajikan pada **Tabel 3.6**.

Tabel 3.6 Kategori Indeks Perairan Indonesia

Anomali Perairan Indonesia	Kategori
$> +0.4^{\circ}\text{C}$	Hangat / INA-
$\pm 0.4^{\circ}\text{C}$	Normal
$< -0.4^{\circ}\text{C}$	Dingin / INA+

Sumber: (Pribadi, 2012)

Berdasarkan kategori masing-masing indeks, penelitian ini menggunakan beberapa kombinasi kejadian fenomena iklim yang disajikan pada **Tabel 3.7**.

Tabel 3.7 Kategori Kombinasi Kejadian

Kejadian Fenomena Iklim	
El Nino (2023)	La Nina (2022)
El Nino, Dipole Mode +	La Nina, Dipole Mode
El Nino, Dipole Mode +, INA-	La Nina, Dipole Mode -, INA+

Curah hujan di wilayah ekuatorial Indonesia cenderung dipengaruhi oleh Dipole Mode daripada ENSO. Namun terjadinya beberapa kombinasi kejadian fenomena iklim menyebabkan perubahan yang signifikan pada jumlah curah hujan. El-Nino dan Dipole Mode+ memengaruhi terjadinya penurunan jumlah curah hujan, sedangkan La-Nina dan Dipole Mode- terjadi peningkatan jumlah curah hujan (Ariska *et al.*, 2023).

3.5.3 Analisis Korelasi dan Validasi Hubungan antar Variabel

Analisis ini menggunakan metrix evaluasi yang sama, namun dengan tujuan yang berbeda. Metrix evaluasi tersebut untuk mevalidasi citra satelit serta analisis pengaruh suhu permukaan laut terhadap curah hujan.

a. Mengukur hubungan antar variabel

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{n(\sum x^2) - (\sum x)^2\}\{n(\sum y^2) - (\sum y)^2\}}} \quad (22)$$

Keterangan:

r = nilai koefisien korelasi

x = nilai curah hujan

y= nilai variasi indek suhu permukaan laut

n = banyak data.

Interpretasi kategori hubungan antar variabel disajikan pada **Tabel 3.8**.

Tabel 3.8 Kategori Hubungan Curah Hujan dan Variasi Indeks Suhu Permukaan Laut

Interpretasi	Kategori
0,0 - 0,199	Sangat rendah
0,2 - 0,399	Rendah
0,4 - 0,599	Sedang
0,6 - 0,799	Kuat
0,8 - 1,0	Sangat kuat

Sumber: (Sugiyono, 2016)

- b. Menguji hubungan antar variabel signifikan. Jika $p < 0.05$ maka hubungan signifikan
- c. Mengukur tingkat kesalahan model untuk mengetahui seberapa jauh hasil prediksi menyimpang dari nilai sebenarnya dengan RMSE (Zhu, 2022).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_j - y_j)^2} \quad (23)$$

- d. Mengukur rata-rata nilai observasi dari kesalahan prediksi

$$MAE = \frac{1}{n} \sum (x_j - y_j)^2 \quad (24)$$

- e. Mengukur rata-rata selisih antara nilai yang diprediksi (misalnya dari citra satelit) dengan nilai observasi yang berguna untuk menilai kecenderungan kesalahan dalam prediksi dengan *Mean Bias Error* (MBE) (Xia *et al.*, 2021).

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - Y_i) \quad (25)$$

- f. Mengukur kecenderungan rata-rata nilai prediksi untuk menjadi lebih besar atau lebih kecil dibandingkan dengan nilai observasi yang disajikan dalam bentuk persentase (Arshad *et al.*, 2021).

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)}{\sum_{i=1}^N Y_i} \times 100\% \quad (26)$$

Nilai PBIAS positif menunjukkan model cenderung menghasilkan prediksi yang lebih rendah dari observasi, sedangkan nilai PBIAS negatif mengindikasikan prediksi yang lebih tinggi (Moriassi *et al.*, 2007). Menilai sejauh mana bias tersebut dapat diterima, nilai PBIAS diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori yang disajikan pada **Tabel 3.9**. Klasifikasi ini bertujuan untuk memberikan penilaian

terhadap tingkat akurasi model berdasarkan besar dan arah penyimpangan prediksi terhadap data observasi.

Tabel 3.9 Kategori Penilaian PBIAS

Nilai PBIAS (%)	Kategori
0 – ±10	Sangat Baik
±10 – ±15	Baik
±15 – ±25	Sedang
>±25	Buruk

Sumber: Moriassi *et al*, 2007

3.5.4 Analisis Variabilitas Musim

Analisis variabilitas musim menggunakan analisis komposit untuk mengidentifikasi awal dan panjang musim pada periode fenomena ENSO dan anomali suhu permukaan laut Provinsi Kalimantan Barat selama periode 2022-2023. Periode fenomena merupakan sebuah anomali dari interaksi variasi suhu permukaan laut yang menyebabkan terjadi pergeseran musim (awal dan panjang musim) dikarenakan jumlah intensitas curah hujan yang tidak sesuai pada periode tersebut.

Penentuan kriteria awal musim kemarau dan musim hujan adalah hujan sebanyak tiga dasarian berturut-turut baik dalam satu bulan yang sama atau bulan setelahnya < 50 mm atau akumulasi < 150 mm untuk musim kemarau sedangkan ≥ 50 mm atau akumulasi ≥ 150 mm untuk musim hujan (BMKG, 2022).

Penentuan panjang musim kemarau dan musim hujan dari penentuan awal musim, dilakukan berdasarkan data normal curah hujan dan variasi awal musim. Panjang musim kemarau dihitung berdasarkan selisih satu dasarian sebelum dasarian awal musim hujan dengan awal musim kemarau dengan jumlah curah hujan < 50 mm. Sedangkan panjang musim hujan berdasarkan selisih satu dasarian sebelum dasarian awal musim kemarau dengan awal musim hujan dengan curah hujan ≥ 50 mm.

Analisis variabilitas musim tersebut mempertimbangkan dinamika pola angin dan tekanan permukaan laut pada periode tersebut. Angin dan tekanan permukaan laut memiliki pengaruh terhadap variasi suhu permukaan laut dan intensitas curah hujan di suatu wilayah.

3.6. Diagram Alir Penelitian

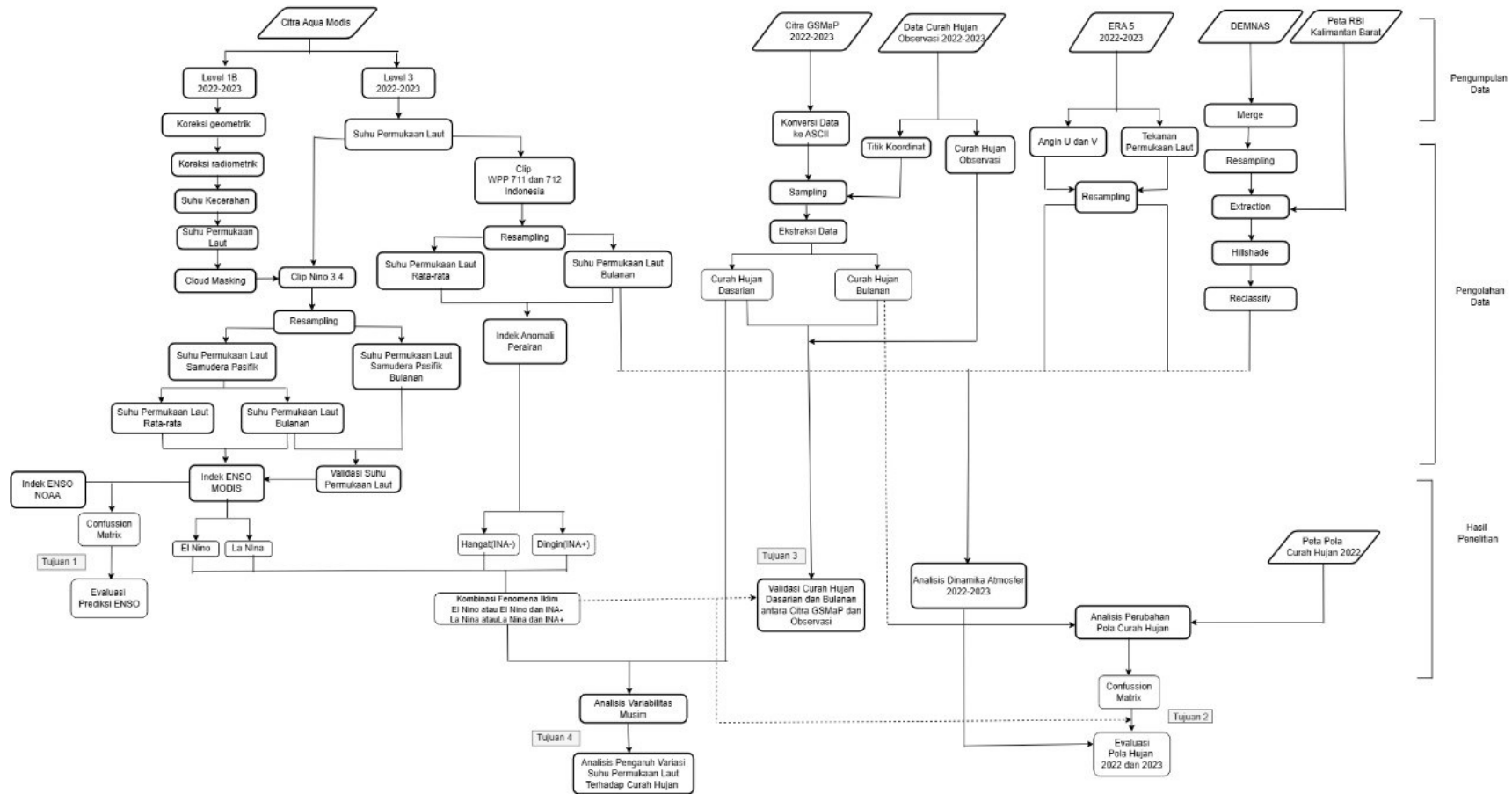
Berikut ini adalah penjelasan alur kerja dari penelitian ini

1. Pengumpulan data penelitian berupa citra satelit Aqua MODIS, GSMaP, DEMNAS, ERA 5, Peta RBI, dan curah hujan observasi.
2. Citra satelit Aqua Modis digunakan pada level 1B dan level 3.
3. Citra satelit Aqua Modis level 1B dilakukan koreksi menghitung suhu kecerahan. Data suhu permukaan laut yang diperoleh dari citra tersebut dilakukan masking awan. Citra yang telah dimasking dilakukan pemotongan citra sesuai batas wilayah. Citra tersebut di resampling sesuai resolusi penelitian. Kemudian dihitung nilai suhu permukaan laut rata-rata dan bulanan pada tahun 2022-2023.
4. Citra satelit Aqua Modis level 3 di lakukan pemotongan citra sesuai lokasi penelitian. Pemotongan citra tersebut pada wilayah Nino 3.4 dan perairan WPP 711 dan WPP 712. Kemudian dihitung nilai suhu permukaan laut rata-rata dan bulanan pada tahun 2022-2023.
5. Data suhu permukaan laut di Samudra Pasifik bulanan di validasi dengan data suhu permukaan laut level 3. Data suhu permukaan laut dari citra level 1B dihitung anomali untuk mendapatkan nilai indeks ENSO. Nilai indeks tersebut ditentukan kriteria fenomena iklim. Penentuan fenomena iklim dibandingkan dengan data dari NOAA dan dilakukan evaluasi prediksi ENSO dari Aqua MODIS (Tujuan 1).
6. Citra satelit GSMaP di di koversi ke dalam bentuk data ASCII. Selanjutnya mengekstrak data sesuai titik koordinat sampling pada data curah hujan observasi. Data yang diekstrak dalam format harian dan bulanan. Curah hujan harian diproses dalam time series curah hujan dasarian.
7. Data ERA 5 yang diunduh terdapat dua data yaitu tekanan permukaan laut dan angin U dan V 10m. Data tekanan permukaan laut dan angin U dan V

10m akan dilakukan resempling data, untuk proses selanjutnya dilakukan visualisasi sesuai lokasi dan periode penelitian.

8. Data DEMNAS dilakukan resampling dan direclassify topografi wilayah penelitian.
9. Data suhu permukaan laut bulanan di sekitar Perairan WPP 711 dan 712, curah hujan bulanan, tekanan permukaan laut, angin U dan V 10m dan dianalisis kondisi dinamika periode 2022-2023.
10. Curah hujan bulanan dari citra satelit diplot grafik masing-masing tahun. Hasil plot tersebut dilihat pola curah hujannya. Dilakukan Perbandingan antara pengolahan dari citra satelit terhadap normal dan obserasi. Selanjutnya dilakukan evaluasi. Evaluasi tersebut dikaitkan dengan kondisi dinamika pada tahun tersebut. (Tujuan 2)
11. Data *time series* curah hujan dasarian dan bulanan dari citra GSMaP dilakukan validasi dengan data curah hujan observasi. (Tujuan 3).
12. Ditentukan fenomena iklim yang terjadi pada tahun 2022-2023
13. Dari data curah hujan dasarian citra satelit GSMaP ditentukan prediksi musim pada tahun 2022-2023. Menganalisis prediksi musim terhadap normalnya
14. Menganalisis pengaruh suhu permukaan laut terhadap curah hujan terkait variabilitas musim (Tujuan 4)

Rincian umum tahap penelitian disajikan dalam diagram alir yang disajikan pada **Gambar 3.2.**



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

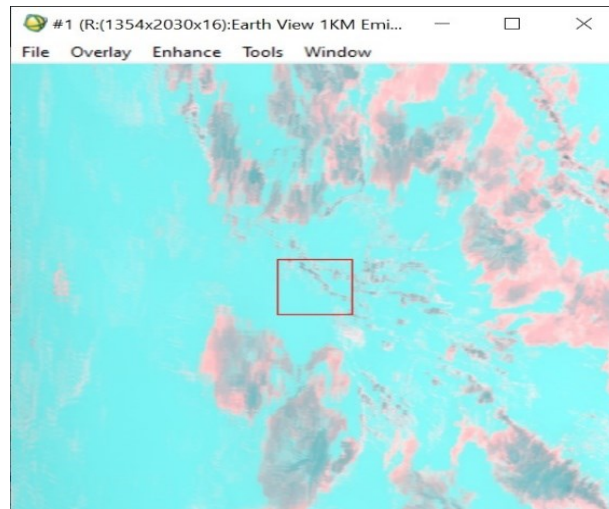
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

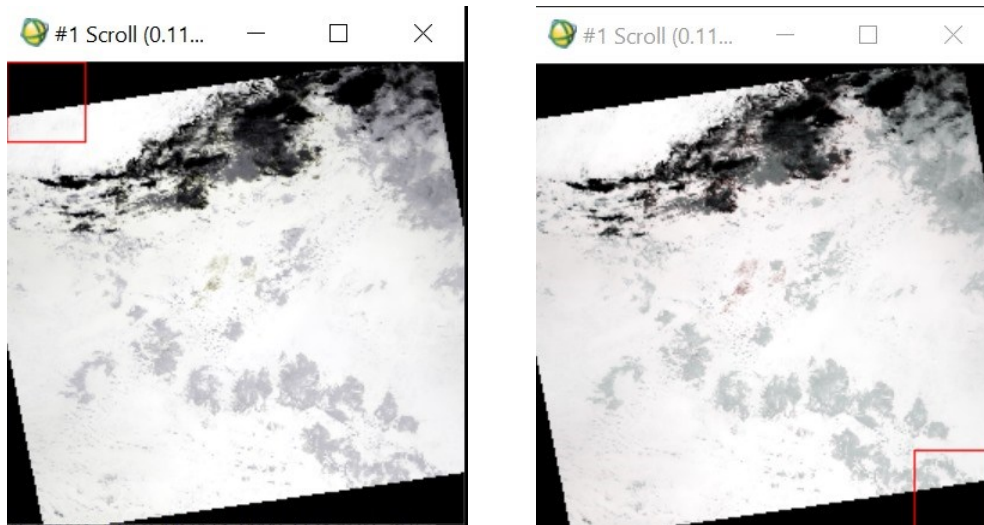
4.1 Identifikasi ENSO Berbasis Data Suhu Permukaan Laut Aqua MODIS

Suhu permukaan laut wilayah Nino 3.4 di Samudra Pasifik diperoleh dari pengoahan citra Aqua Modis level 1B resolusi 1 km dengan periode 2022 sampai 2023. Citra yang digunakan adalah citra yang bebas awan atau minimal awan di titik koordinat wilayah penelitian. Hal tersebut dilakukan untuk menghindari gap hasil yang besar sehingga memperoleh nilai suhu permukaan laut yang akurat.

Pengolahan data citra Aqua MODIS untuk memperoleh data suhu permukaan laut terdiri beberapa proses yaitu koreksi geometrik, koreksi radiometrik, konversi suhu kecerahan dan konversi suhu permukaan laut. Koreksi geometrik untuk mengubah posisi geografis pada citra ke koordinat yang sesuai dengan permukaan bumi. Kesalahan geometrik dapat disebabkan oleh distorsi, posisi piksel, integrasi, dan akurasi pengukuran yang tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya. Koreksi geometri dilakukan pada kanal 31, dan 32. Penampakan citra yang sebelum dan sesudah dikoreksi geometri disajikan pada **Gambar 4.1**.



Sebelum

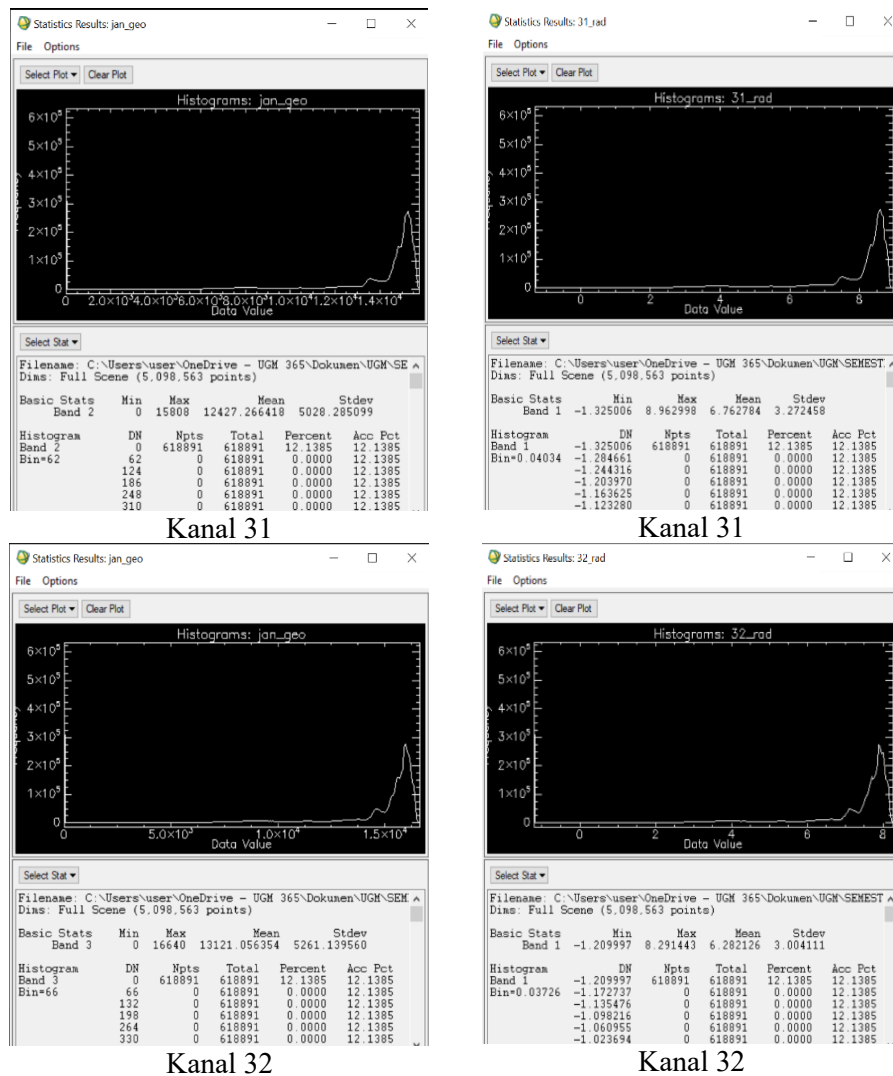


Sesudah

Gambar 4.1 Citra Sebelum dan Sesudah Koreksi Geometrik
Sumber: pengolahan data, 2025

Citra yang belum dikoreksi terlihat miring, bentuk objek yang tidak sesuai dan titik koordinat belum sesuai dengan permukaan bumi. Sedangkan citra yang sudah terkoreksi geometrik sudah sesuai dengan titik koordinat permukaan bumi. Citra yang sudah dikoreksi geometrik akan dilakukan koreksi radiometrik. Koreksi tersebut bertujuan memperbaiki nilai kesalahan pada nilai kecerahan (Jensen, 2005; Richards dan Jia, 2006; Lillesand *et al.*, 2015). Citra Aqua MODIS level 1B sebelum di koreksi geometrik, sudah dilakukan koreksi radiometrik dasar. Namun pada pengolahan citra tetap dilakukan koreksi radiometrik setelah koreksi

geometrik agar radiasi TIR yang digunakan oleh algoritma Brown & Minnett akurat, memperhitungkan drift sensor dan pengaruh atmosfer, sehingga suhu permukaan laut yang dihitung mendekati kondisi nyata. Perbandingan citra kanal 31 dan kanal 32, sebelum dan sesudah dikoreksi radiometrik disajikan dalam histogram pada **Gambar 4.2**.



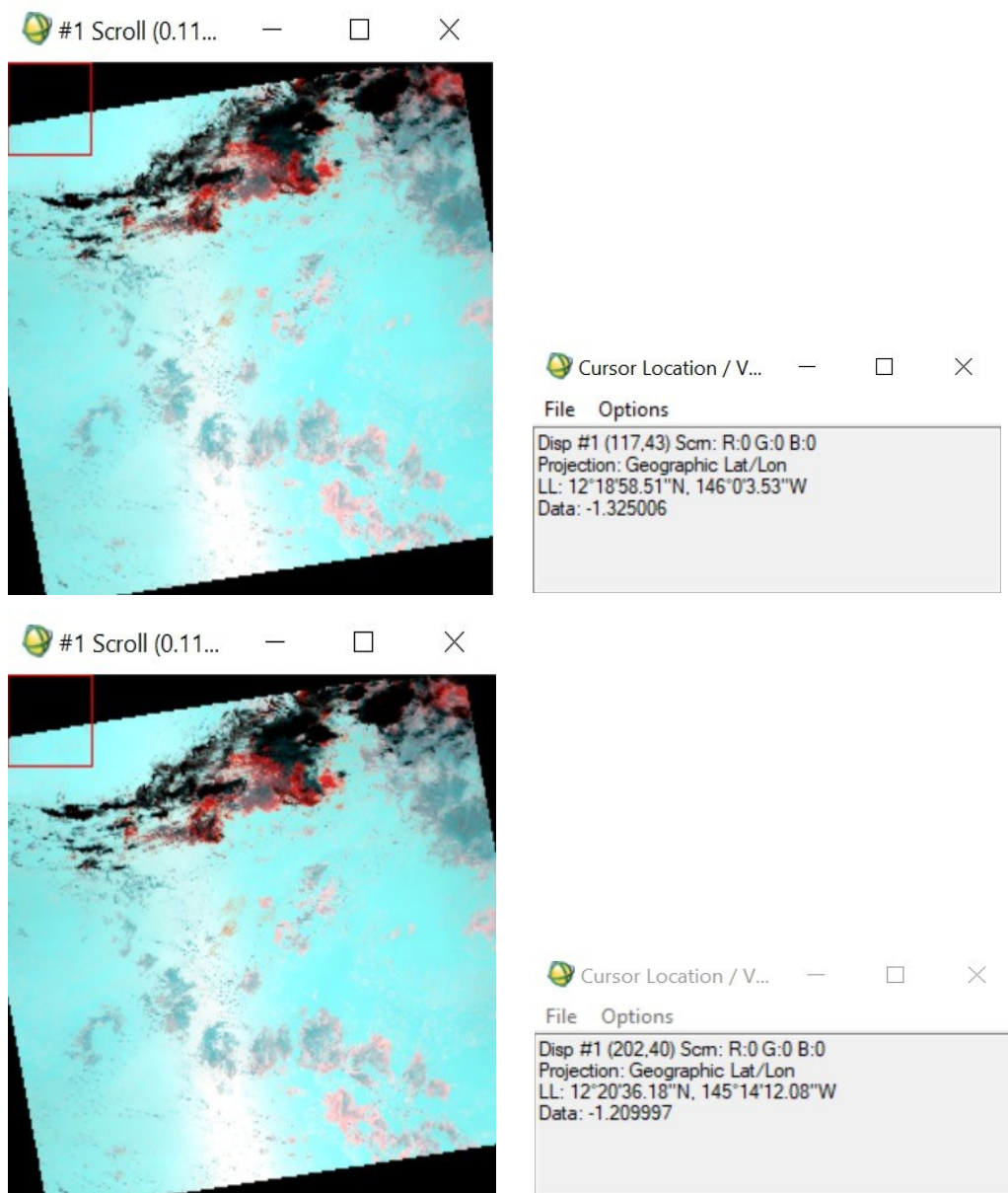
a. Sebelum

b. Sesudah

Gambar 4.2 Histogram citra sebelum dan sesudah koreksi radiometrik
Sumber: pengolahan data, 2025

Sebelum dikoreksi radiometrik, citra pada kanal 31 memiliki nilai piksel dalam rentang 0 hingga 15.808, sedangkan kanal 32 memiliki nilai piksel antara 0 hingga 16.640. Nilai tersebut masih merupakan tingkat keabuan yang belum

menunjukkan nilai radiansi sebenarnya. Setelah dilakukan koreksi radiometrik, nilai-nilai tersebut dikonversi menjadi radiansi spektral (Congalton dan Green, 2008; Chander *et al.*, 2009; Lillesand *et al.*, 2015). Hasilnya, kanal 31 menunjukkan nilai radiansi dalam rentang -1,325006 hingga 8.962998, sedangkan kanal 32 memiliki rentang -1,209997 hingga 8.291443. Nilai yang sudah dikoreksi radiometrik seharusnya tidak bernilai negatif melainkan nol. Penampakan citra yang sudah dikalibrasi radiometrik pada kanal 31 dan 32 disajikan **Gambar 4.3**.

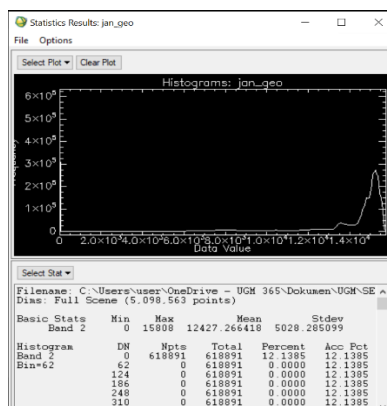


Gambar 4.3 Citra yang sudah dikoreksi radiometrik

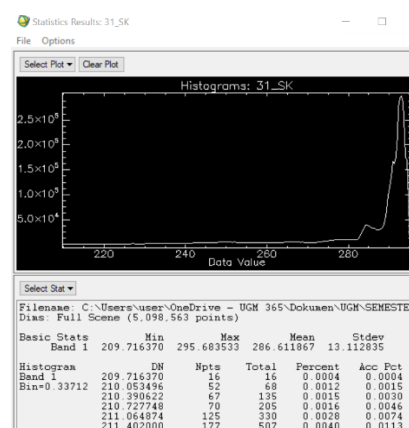
Sumber: pengolahan data, 2025

Berdasarkan **Gambar 4.3** menunjukkan nilai radiansi yang bernilai negatif berasal dari area di luar area citra, yang kemungkinan merupakan area tanpa data. Nilai negatif tersebut bukan merepresentasikan objek di permukaan bumi, melainkan area kosong yang secara default diberi nilai nol pada citra mentah, dan kemudian terkonversi menjadi nilai radiansi negatif akibat proses koreksi radiometrik yang tetap menerapkan persamaan pada piksel tanpa data tersebut (Jensen, 2015; Lillesand *et al.*, 2015).

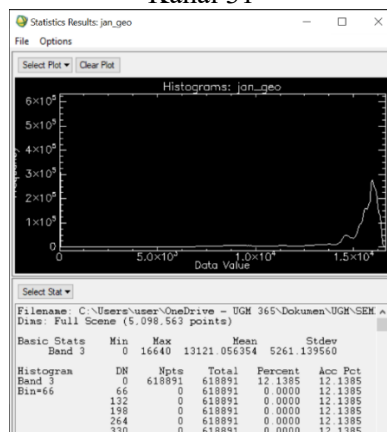
Nilai radiansi yang diperoleh digunakan untuk menghitung nilai suhu kecerahan. Nilai suhu kecerahan dihitung menggunakan fungsi Plank. Perbandingan antara citra sebelum dan sesudah dihitung suhu kecerahan terdapat dapat dilihat pada histogram yang disajikan pada **Gambar 4.4** yang menggambarkan perubahan distribusi nilai piksel setelah konversi dilakukan.



Kanal 31

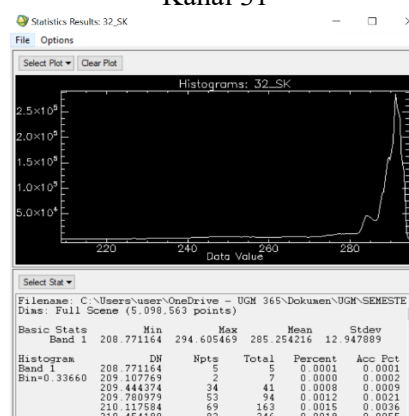


Kanal 31



Kanal 32

c. Sebelum



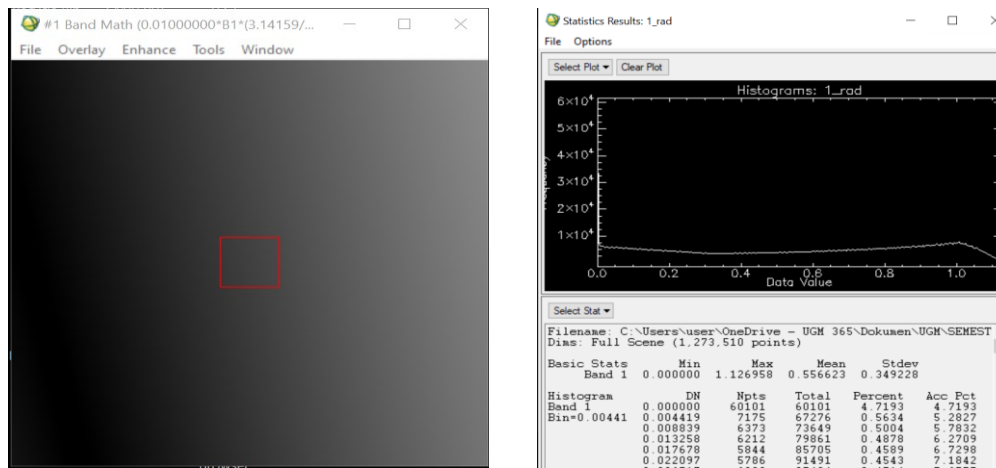
Kanal 32

d. Sesudah

Gambar 4.4 Citra sebelum dan sesudah dikonversi suhu kecerahan
Sumber: pengolahan data, 2025

Nilai citra sebelum konversi merupakan nilai digital number hasil perekaman geometrik yang memiliki nilai minimal adalah nol. Setelah dilakukan konversi, nilai citra tersebut berubah menjadi suhu dalam satuan Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), yang merepresentasikan suhu radiasi dari permukaan objek yang terekam. Hasil suhu kecerahan pada kanal 31 antara rentang 209.716370 – 295.683533 $^{\circ}\text{K}$, sedangkan pada kanal 32 antara rentang 208.771164 – 294.605469 $^{\circ}\text{K}$. Nilai suhu kecerahan tersebut dikonversikan dari satuan kelvin ke celcius.

Sudut zenith berpengaruh terhadap efek atmosferik dan radiometrik dalam merepresentasikan kondisi permukaan bumi sebenarnya. Tampilan dan histogram citra sensor zenith disajikan pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5 Tampilan dan Histogram Sensor Zenith

Sumber: pengolahan data, 2025

Nilai suhu kecerahan yang telah diperoleh, selanjutnya digunakan untuk menghitung suhu permukaan laut. Perhitungan suhu permukaan laut menggunakan persamaan ATBD 25, yang memanfaatkan dua kanal thermal. Nilai suhu permukaan laut yang telah diperoleh, dilakukan proses masking untuk menghilangkan pengaruh nilai pixel yang berasal dari awan dan daratan. Proses masking tersebut menggunakan batas *threshold* minimal 24°C – 31°C yang mencerminkan kisaran suhu permukaan laut yang umum terjadi di wilayah Nino 3.4, Samudra Pasifik (L'Heureux *et al.*, 2017; Lin *et al.*, 2022; NOAA, 2025). Nilai suhu yang kurang dari 24°C dan lebih dari 31°C tidak digunakan dan diklasifikasikan menjadi NaN. NaN (*Not a Number*) diartikan sebagai nilai piksel yang tidak ada data, tidak valid

atau tidak relevan, secara otomatis diabaikan dalam pengolahan data sehingga tidak memengaruhi hasil analisis data (Jensen, 2015; Lillesand *et al.*, 2015; Wickham dan Grolemund, 2017).

4.1.1 Validasi Suhu Permukaan Laut

Nilai suhu permukaan laut yang telah bebas dari pengaruh awan dan daratan kemudian dilakukan proses resampling dengan metode agregasi dari resolusi spasial 1 km menjadi 11 km, sesuai dengan resolusi spasial yang digunakan dalam penelitian ini. Setelah menjadi resolusi 11 km, data tersebut kemudian dibandingkan dengan data suhu level 3, yang telah merupakan nilai rata-rata bulanan dan tidak memerlukan proses perhitungan lagi karena sudah melalui tahap koreksi sebelumnya. Data suhu permukaan laut level 3 juga dilakukan resampling dari resolusi awal 4 km menjadi 11 km agar memiliki resolusi spasial yang sama dengan data hasil pengolahan, sehingga dapat dilakukan Perbandingan secara valid. Nilai suhu permukaan laut yang diperoleh dari citra level 1B dan level 3 pada tahun 2022 dan 2023 disajikan pada Lampiran 2.

Data suhu permukaan laut dari level 1B dan level 3 kemudian dihitung nilai korelasinya untuk mengetahui sejauh mana kesesuaian dan nilai kesalahan antara hasil pengolahan citra level 1B dengan algoritma Brown and Minnet, 1999 dengan data suhu level 3 yang telah dikoreksi dan dirata-ratakan secara temporal. Analisis korelasi terhadap data level 1B dan level 3 pada data tersebut, berupaya mengidentifikasi kesesuaian metode pengolahan citra terhadap data rujukan, serta menilai keefektifan metode koreksi dan konversi suhu yang diterapkan. Korelasi suhu permukaan laut tahun 2022 dan 2023 disajikan pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Korelasi Suhu Permukaan Laut Level 1B dan Level 3

	2022	2023
R	0.44	0.55
Sig	0.15	0.07
MAE	0.72	0.79
RMSE	0.88	0.93

Sumber: pengolahan data, 2025

Hasil korelasi menunjukkan bahwa pada tahun 2023 menunjukkan perbaikan dibandingkan tahun 2022. Nilai korelasi mengalami peningkatan, yang

menunjukkan adanya hubungan sedang antara Level 1 dan Level 3, dengan kemampuan model menjelaskan variasi data yang lebih baik dibandingkan tahun 2022. Selain itu, nilai MAE dan RMSE mengalami sedikit peningkatan, baik dari rata-rata kesalahan absolut maupun kesalahan kuadrat. Perbedaan suhu permukaan laut yang diperoleh dari citra level 1B dengan algoritma *ATBD25* dengan level 3 pada tahun 2022-2023 sebesar 0.8°C – 1.0°C . Hal tersebut disebabkan oleh kombinasi agregasi spasial, perbedaan waktu observasi, koreksi atmosfer, dan masking kualitas data (Chender *et al.*, 2009; Sunarernanda *et al.*, 2017; Harliyanti *et al.*, 2022; Arafah *et al.*, 2024). Citra Level 3 memiliki nilai lebih stabil namun kurang mampu menangkap variasi ekstrem yang ditampilkan oleh Level 1B (Justice *et al.*, 2002; Liang, 2003; MODIS Atmosphere Science Team, n.d.). Nilai signifikan juga semakin mendekati signifikan, memperkuat keandalan hubungan tersebut.

4.1.2 Prediksi Fenomena ENSO

Suhu permukaan laut yang diperoleh dari pengolahan data citra level 1B Aqua MODIS selama dua tahun, digunakan untuk menghitung nilai anomali suhu. Selanjutnya, ditetapkan ambang batas tertentu dari perhitungan nilai anomali mengklasifikasikan fenomena iklim ke dalam kategori El Nino, La Nina, atau Normal. Hasil Perbandingan nilai indeks ENSO tersebut disajikan pada **Tabel 4.2**

Berdasarkan **Tabel 4.2**, dapat diidentifikasi adanya tingkat kesesuaian dan ketidaksesuaian antara hasil interpretasi fenomena ENSO pada tahun 2022 dan 2023 antara data citra MODIS dan NOAA. Hasil interpretasi dari citra MODIS pada tahun 2022 menunjukkan dua kondisi di tahun tersebut yaitu La Nina dan normal, sedangkan citra NOAA ditahun tersebut menginterpretasi sepanjang tahun terjadi La Nina. Sementara pada tahun 2023 citra MODIS menginterpretasi akan mengalami El Nino dan normal, sedangkan citra NOAA menginterpretasi ditahun tersebut mengalami kondisi La Nina di awal tahun, berubah menjadi normal, berangsur terjadi El Nino hingga akhir tahun. Secara umum, pada tahun 2022 menunjukkan bahwa fenomena La Nina merupakan kondisi yang paling dominan terjadi di tahun tersebut dan El Nino ditahun 2023 sebagaimana ditunjukkan oleh kedua data citra yang dibandingkan.

Tabel 4.2 Perbandingan Nilai Indeks ENSO Tahun 2022 dan 2023

2022				2023			
Aqua MODIS		NOAA		Aqua MODIS		NOAA	
-0.4	Normal	-1	La Nina	0.4	Normal	-0.7	La Nina
-0.6	La Nina	-0.9	La Nina	0.6	El Nino	-0.4	Normal
-0.4	Normal	-1	La Nina	0.4	Normal	-0.1	Normal
-1.2	La Nina	-1.1	La Nina	1.2	El Nino	0.2	Normal
-0.9	La Nina	-1	La Nina	0.9	El Nino	0.5	El Nino
-0.7	La Nina	-0.9	La Nina	0.7	El Nino	0.8	El Nino
-0.6	La Nina	-0.8	La Nina	0.6	El Nino	1.1	El Nino
-0.7	La Nina	-0.9	La Nina	0.7	El Nino	1.3	El Nino
-1.1	La Nina	-1	La Nina	1.1	El Nino	1.6	El Nino
-1.8	La Nina	-1	La Nina	1.8	El Nino	1.8	El Nino
0.0	Normal	-0.9	La Nina	0.0	Normal	1.9	El Nino
-0.9	La Nina	-0.8	La Nina	0.9	El Nino	2	El Nino

Sumber: pengolahan data, 2025

Hasil klasifikasi fenomena tersebut selanjutnya dihitung confusion matrix untuk mengetahui seberapa baik hasil dari citra MODIS dapat menginterpretasi fenomena ENSO yang benar dan seberapa banyak kesalahan yang terjadi dibandingkan data NOAA. Hasil confusion matrix dari interpretasi fenomena ENSO pada tahun 2022 dan 2023 disajikan pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Confusion Matrix Interpretasi ENSO Tahun 2022 dan 2023

Tahun	Interpretasi\Realita	La Nina	El Nino	Normal	Total Realita
2022	La Nina	9	0	3	12
	El Nino	0	0	0	0
	Normal	0	0	0	0
	Total Interpretasi	9	0	3	12
2023	La Nina	0	0	1	1
	El Nino	0	7	1	8
	Normal	0	2	1	3
	Total Interpretasi	0	9	3	12

Sumber: pengolahan data, 2025

Tabel 4.3 menyajikan confusion matrix yang menginterpretasikan distribusi klasifikasi ENSO antara dua data citra satelit yang berbeda. Confusion matrix yang ditampilkan pada **Tabel 4.3** menjadi dasar untuk menghitung parameter evaluasi performa klasifikasi fenomena ENSO, seperti akurasi, presisi, recall, dan F1-score. Nilai-nilai evaluasi tersebut disajikan pada **Tabel 4.4**

Tabel 4.4 Evaluasi Interpretasi Klasifikasi ENSO Periode 2022 dan 2023

	Index	La Nina	El Nino	Normal	Total	Persentase
2022	True Positive	9	0	0	9	75.0%
	False Positive	0	0	3	3	25.0%
	False Negative	3	0	0	3	25.0%
	Presisi	1	~	0		
	Recall	0.75	~	~		
	F1-score	0.86	~	~		
	Index	La Nina	El Nino	Normal	Total	Persentase
2023	True Positive	0	7	1	8	66.7%
	False Positive	0	2	2	4	33.3%
	False Negative	1	1	2	54	33.3%
	Presisi	~	0.78	0.33		
	Recall	0	0.88	0.33		
	F1-score	~	0.82	0.33		

Sumber: pengolahan data, 2025

Berdasarkan hasil evaluasi yang diturunkan dari confusion matrix tahun 2022 menunjukkan performa dengan nilai akurasi 75%. sementara kesalahan interpretasi masing-masing sebesar 25%. Kinerja terbaik ditunjukkan pada interpretasi La Nina di mana berhasil mengidentifikasi kejadian dengan presisi sebesar 1 mengindikasikan bahwa seluruh interpretasi positif benar. Namun recall lebih rendah sebesar 0.75 menunjukkan masih adanya interpretasi yang tidak terdeteksi pada tahun 2022. Hasil evaluasi tahun 2023 menunjukkan performa dengan nilai akurasi 66.7%. sementara kesalahan interpretasi masing-masing sebesar 33.3%. Prediksi El Nino mengidentifikasi kejadian dengan presisi sebesar 0,78, recall 0,88, dan F1-score 0,82. Nilai ini mengindikasikan bahwa citra MODIS memiliki kemampuan tinggi dalam mengidentifikasi fenomena El Nino, dengan sensitivitas dan ketepatan interpretasi yang tinggi.

Secara umum, hasil interpretasi fenomena ENSO berdasarkan analisis citra MODIS menunjukkan bahwa pada tahun 2022 dominan terjadi fenomena La Nina, sementara pada tahun 2023 cenderung didominasi oleh fenomena El Nino (Chen *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2025), yang diperkuat oleh hasil evaluasi citra dengan nilai performa yang tinggi. Fenomena La Nina dan El Nino berdampak terjadinya peningkatan dan penurunan intensitas curah hujan, salah satunya di Indonesia. Fenomena tersebut memengaruhi berbagai sektor (Safitri, 2015; Irawan, 2016;

Hapsari *et al.*, 2021; Nurdiati *et al.*, 2021) akibat dari perubahan pola cuaca yang menyimpang dari kondisi normal pada bulan terkait.

4.2 Analisis Pola Curah Hujan Berdasarkan Dinamika Atmosfer

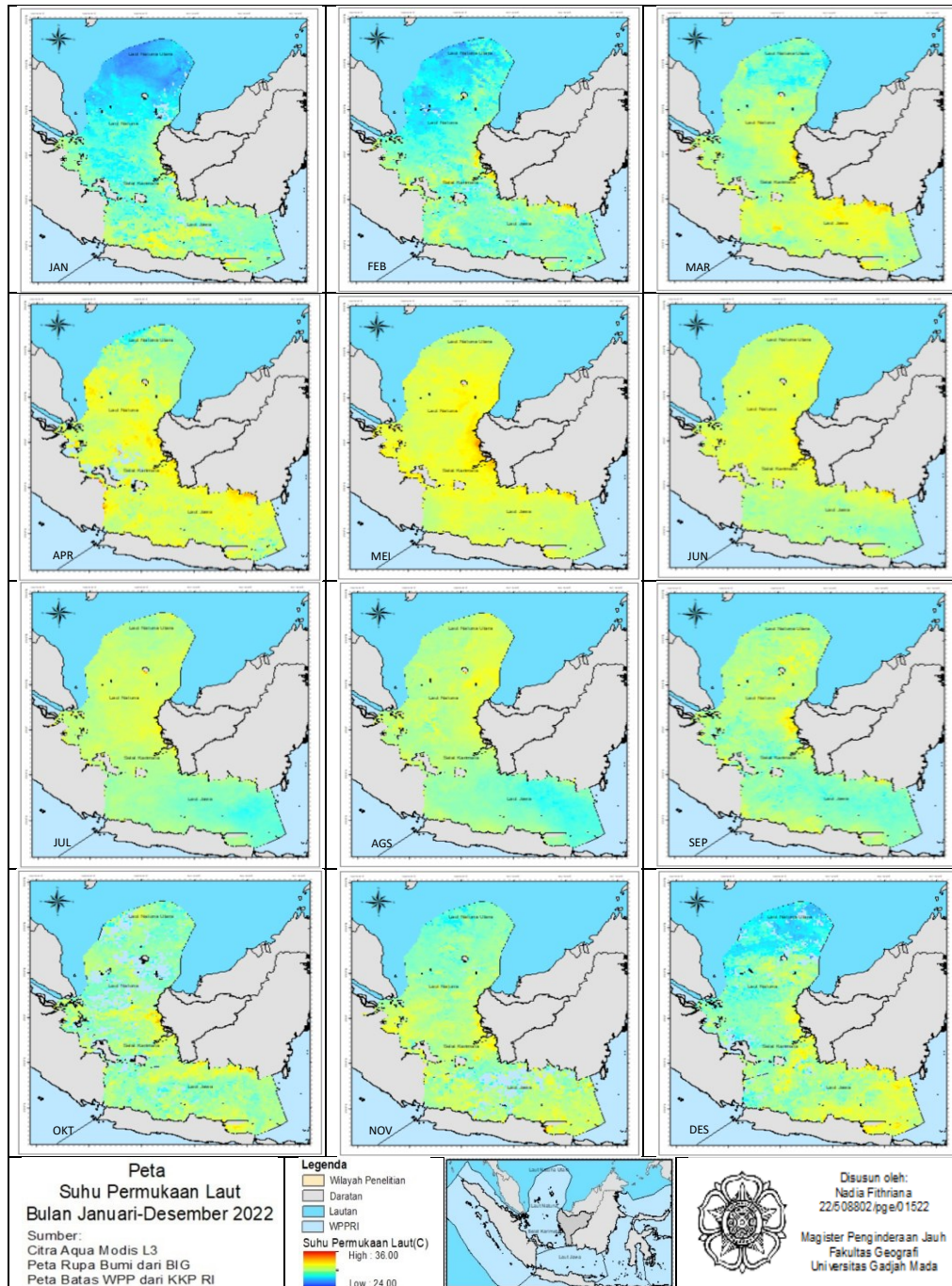
Perubahan intensitas curah hujan sangat dipengaruhi oleh dinamika atmosfer yang kompleks dan bervariasi sepanjang tahun. Perubahan intensitas curah hujan baik bersifat peningkatan maupun penurunan secara terus menerus dapat memengaruhi distribusi curah hujan dalam skala waktu harian, mingguan, bulanan hingga tahunan, sehingga menyebabkan perubahan pola curah hujan di suatu wilayah. Faktor-faktor utama yang memengaruhi dari skala lokal hingga global antara lain adalah ketinggian, angin, tekanan udara permukaan, suhu permukaan laut, dan lain-lain.

4.2.1 Suhu Permukaan Laut Perairan Provinsi Kalimantan Barat

Hasil analisis suhu permukaan laut di sekitar Perairan Provinsi Kalimantan Barat ditampilkan dalam bentuk peta untuk mengetahui pola sebaran suhu pada periode penelitian. Peta suhu permukaan laut di perairan Provinsi Kalimantan Barat diinterpretasi menggunakan citra Aqua MODIS. Wilayah perairan Provinsi Kalimantan Barat yang digunakan adalah WPP 711 dan WPP 712. Secara geografis bagian barat Provinsi Kalimantan Barat dikelilingi WPP 711 dan bagian selatan di berada di WPP 712. Citra Aqua MODIS level 1B karena menyediakan data yang detail dan memiliki resolusi spasial yang tinggi. Namun tingginya tutupan awan di wilayah perairan Provinsi Kalimantan Barat (Anggreni *et al.*, 2018; Nugraha *et al.*, 2019; Saragih., 2020) menyebabkan data level 1B tidak dapat digunakan di wilayah penelitian. Pengolahan suhu permukaan dengan citra level 1B disajikan pada Lampiran 3. Tutupan awan yang banyak di wilayah penelitian menghalangi sensor merekam objek dibawah dengan baik (Gawlikowski *et al.*, 2022; Koutantou *et al.*, 2023). Sehingga pengolahan data suhu permukaan laut di wilayah Perairan Provinsi Kalimantan Barat yaitu WPP 711 dan WPP 712 menggunakan data level 3 yang sudah di kalibrasi, nilai rata-rata secara spasial masing-masing grid.

Pada pengolahan peta tersebut menggunakan resolusi spasial 4km yang kemudian di resample dengan metode agregasi menjadi 11 km sesuai analisis pada

skala wilayah penelitian. Analisis suhu permukaan laut dalam penelitian ini dari tahun 2022-2023. Peta suhu permukaan laut tahun 2022 disajikan pada **Gambar 4.6**.



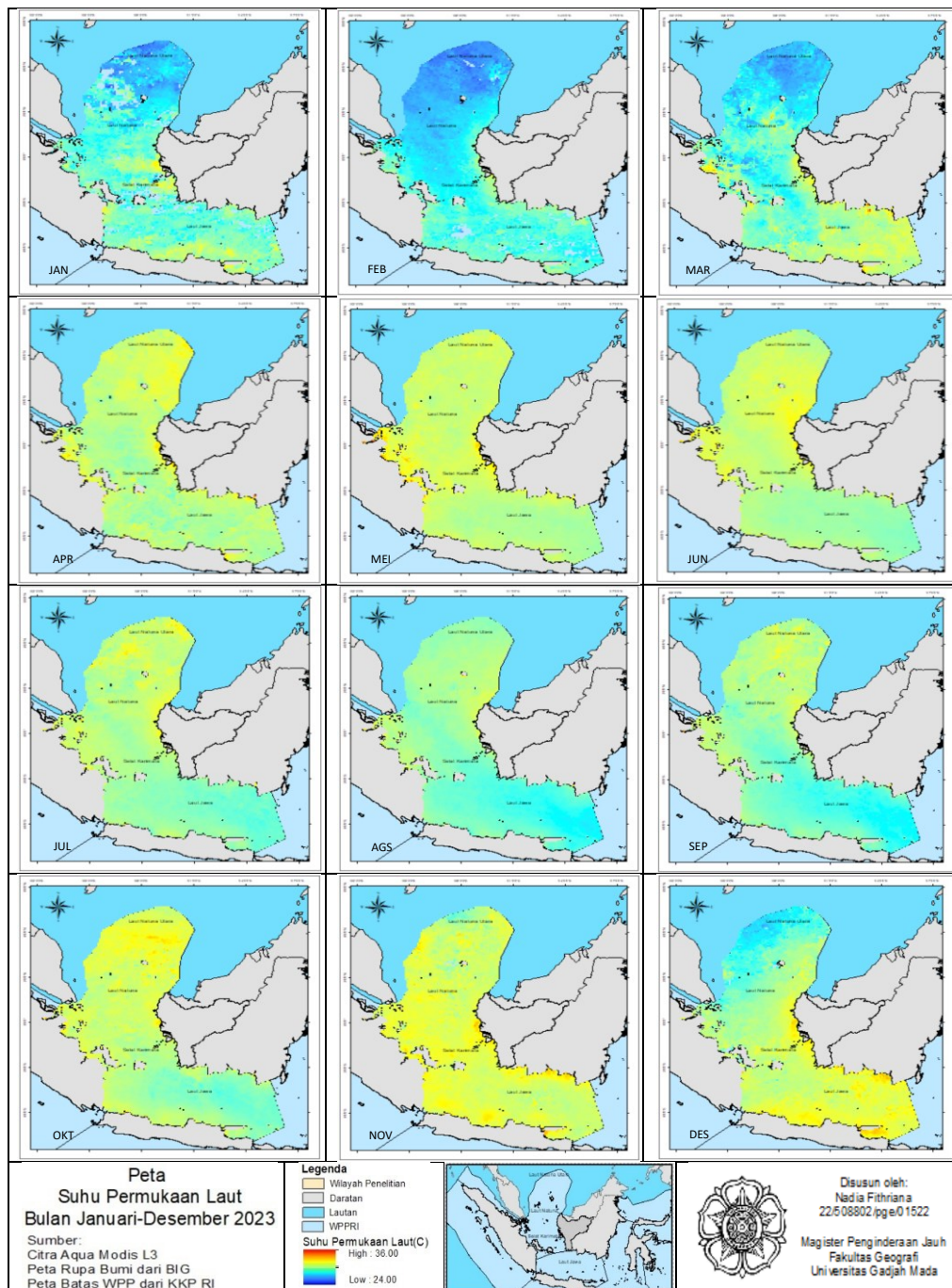
Gambar 4.6 Peta Suhu Permukaan Laut Bulan Januari-Desember 2022

Sumber: pengolahan data, 2025

Pada bulan Januari dan Februari 2022 menunjukkan sebagian besar wilayah penelitian suhu permukaan laut relatif rendah sekitar 25°C terutama di perairan bagian barat Provinsi Kalimantan Barat yaitu Laut Natuna Utara. Memasuki bulan Maret hingga Juni menunjukkan terjadi peningkatan suhu secara bertahap. Suhu maksimum mulai tampak pada bulan April dan Mei di wilayah perairan bagian barat dekat Provinsi Kalimantan Barat. Puncak suhu permukaan laut terjadi pada bulan Mei, dimana sebagian besar wilayah penelitian menunjukkan suhu lebih dari 29°C .

Pada bulan Juli hingga bulan September, pola suhu permukaan laut bervariasi. Perairan Laut Jawa menunjukkan penurunan suhu secara signifikan dan relatif cepat dibandingkan dengan wilayah perairan lainnya yang menunjukkan penurunan suhu secara bertahap. Selanjutnya, pada bulan Oktober hingga Desember, suhu permukaan laut kembali menurun secara bertahap. Penurunan suhu mencapai 24°C di Laut Natuna Utara.

Peta suhu permukaan laut tahun 2023 disajikan pada **Gambar 4.7**. Suhu permukaan laut bulan Januari hingga Maret menunjukkan sebagian besar wilayah penelitian suhu permukaan laut relatif rendah mencapai 24°C di perairan Laut Natuna Utara. Memasuki bulan Maret hingga Desember 2023 menunjukkan terjadi peningkatan suhu secara bertahap dan relatif stabil dengan rata-rata suhu permukaan laut 30°C .



Gambar 4.7 Peta Suhu Permukaan Laut Bulan Januari-Desember 2023

Sumber: pengolahan data, 2025

Pola sebaran suhu permukaan laut periode 2023 sama dengan tahun 2022. Suhu permukaan laut bulan Januari hingga Desember berada dalam rentang 24°C hingga 36°C. Suhu permukaan laut bisa mencapai 36°C karena kombinasi radiasi matahari yang tinggi tanpa awan dan angin, perairan dangkal tropis yang cepat

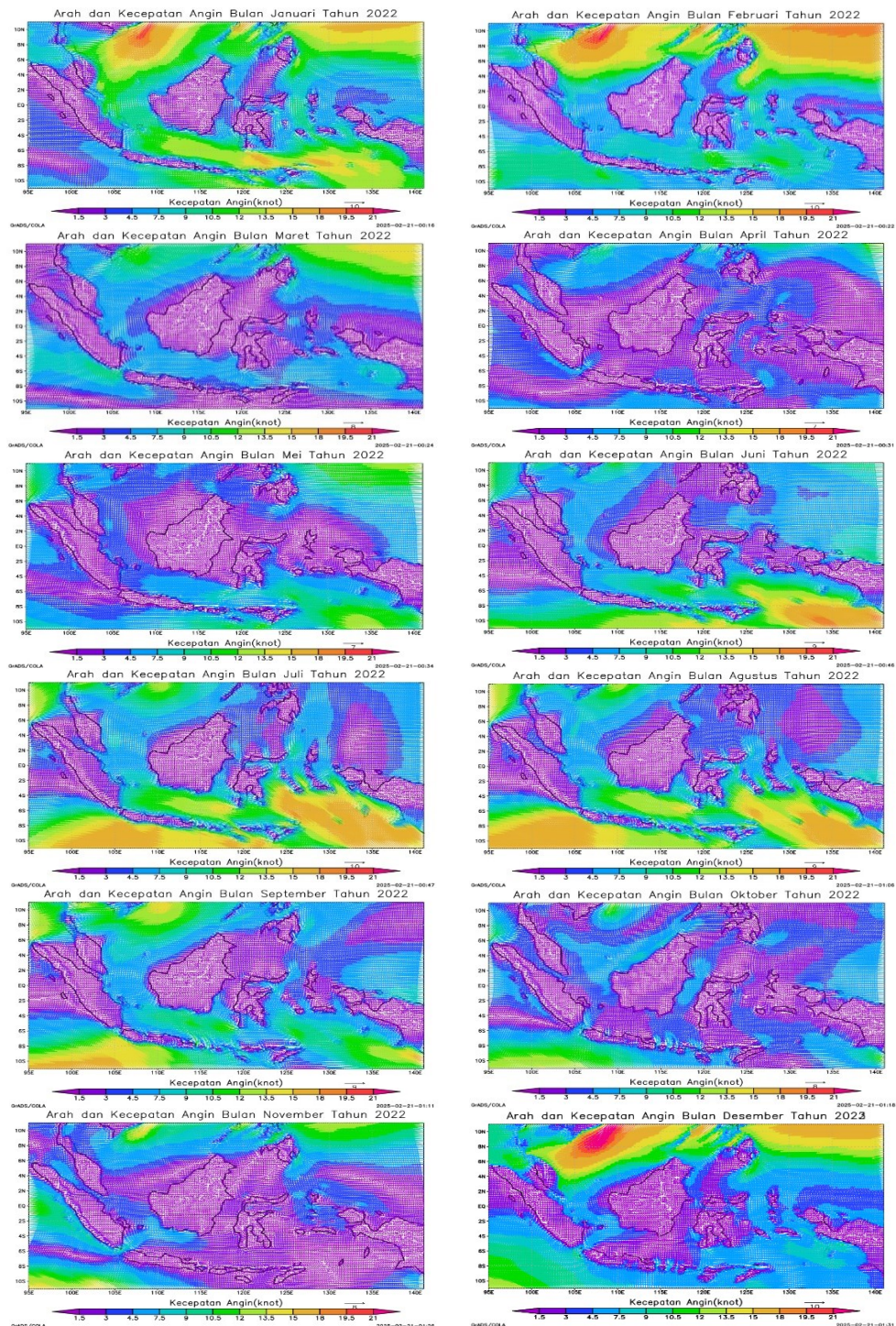
menyerap panas, serta efek skin layer lapisan tipis laut yang sangat panas dan diukur langsung oleh sensor satelit (Menhert *et al.*, 2000; Jia *et al.*, 2023)

4.2.2 Arah dan Kecepatan Angin

Representasi arah dan kecepatan angin periode 2022-2023 diperoleh dari pengolahan komponen angin zonal(u_{10m}) dan angin meridional(v_{10m}) pada ketinggian 10m diatas permukaan tanah. Komponen u_{10m} dan v_{10m} direpresentasi dengan resolusi rata-rata bulanan dengan satuan kecepatan yang dikonversikan dari m/s ke satuan knot. Interpretasi arah dan kecepatan angin di resample menjadi 0.1° . Hasil dari resampling arah dan kecepatan angin berubah halus antar grid dan mampu menjaga transisi spasialnya (Prather *et al.*, 2011; GMAO, 2017). Arah dan kecepatan angin pada bulan Januari hingga Desember tahun 2022 disajikan pada **Gambar 4.8.**

Analisis angin menunjukkan bahwa kecepatan angin di wilayah Indonesia pada tahun 2022 berkisaran antara 1,5 knot hingga 18 knot. Kecepatan minimum sebesar 1,5 knot umumnya teramati di perairan yang relatif tenang, sementara kecepatan maksimum mencapai 18 knot terjadi di wilayah perairan yang dipengaruhi oleh dinamika atmosfer yang kuat, misalnya gangguan tekanan. Kecepatan angin di wilayah daratan Indonesia terutama Provinsi Kalimantan Barat umumnya lebih rendah dibandingkan dengan wilayah perairan, dengan nilai rata-rata sekitar 1,5 knot. Hal tersebut disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya topografi. Perbedaan topografi dan gesekan pada permukaan dapat memperlambat laju angin di atas daratan.

Sementara itu, di wilayah perairan tertentu, terlihat adanya variasi kecepatan angin yang signifikan selama periode Desember hingga Februari. Pada periode tersebut perairan disekitar wilayah barat Provinsi Kalimantan Barat yaitu perairan Laut Natuna Utara, Laut Natuna, dan Selat Karimata kecepatan angin hingga kecepatan maksimum yaitu 18 knot mengindikasikan adanya intensifikasi aliran angin laut terbuka, sedangkan perairan bagian selatan Provinsi Kalimantan Barat yaitu Laut Jawa menunjukkan kecepatan angin yang lebih rendah sekitar 12 knot adanya pengaruh angin monsoon barat.



Gambar 4.8 Arah dan Kecepatan Angin Bulan Januari hingga Desember 2022
Sumber: pengolahan data, 2025

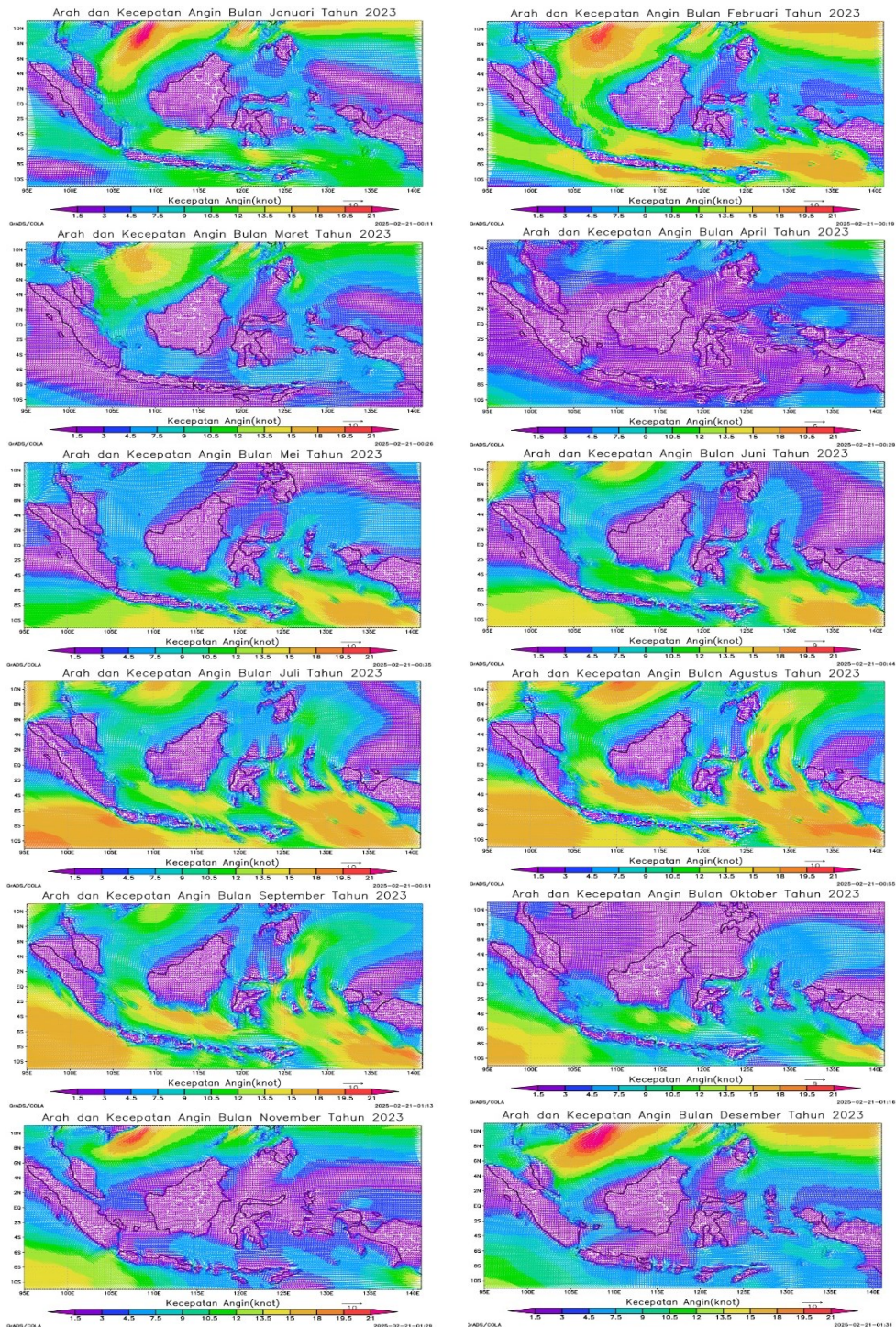
Secara geografis perairan Laut Natuna Utara, Laut Natuna, dan Selat Karimata berada lebih dekat dengan jalur utama aliran angin Monsun Barat, menunjukkan kecepatan angin yang lebih tinggi dibandingkan dengan perairan

Laut Jawa (He dan Zhu, 2015; Kok *et al.*, 2021). Angin tersebut membawa udara lembap dari lautan yang luas, sehingga berperan besar terjadinya musim hujan.

Memasuki periode Maret hingga Mei kecepatan angin menurun menjadi 4,5 knot yang menunjukkan masa transisi musim pancaroba. Pada periode tersebut, pola angin menjadi lemah dan bergesernya sistem tekanan udara dari Asia ke Australia. Selanjutnya, pada periode Juni hingga September, kecepatan angin di Laut Jawa meningkat signifikan hingga mencapai 13,5 knot dibandingkan di wilayah perairan barat Provinsi Kalimantan Barat. Hal ini menandakan Laut Jawa didominasi muson timur tenggara yang berasal dari Benua. Angin ini membawa udara kering dan bersifat stabil, sehingga berkontribusi terhadap penurunan curah hujan. Angin muson timur berdampak pada wilayah sekitar Laut Jawa dan kemungkinan kecil berdampak terhadap wilayah yang dilalui oleh Laut Natuna Utara. Pada periode Oktober hingga November, kecepatan angin di Perairan bagian barat Provinsi Kalimantan Barat kembali meningkat hingga 7,5 knot, sedangkan di Laut Jawa menurun signifikan. Hal tersebut menunjukkan kembali aktif muson barat.

Secara umum, berdasarkan pola angin pada tahun 2022, didominasi muson barat. Diiringi kejadian La Nina, maka memperkuat pergerakan Monsun Barat membawa uap air dari Samudra Hindia dan wilayah Asia Tenggara menuju kawasan Indonesia bagian barat hingga tengah. Kondisi atmosfer yang lembap dan meningkatkan frekuensi serta intensitas hujan di Provinsi Kalimantan Barat.

Sedangkan pada tahun 2023 didominasi muson timur di wilayah Indonesia bagian selatan yang menyebabkan penurunan intensitas curah. Arah dan kecepatan angin pada bulan Januari hingga Desember tahun 2023 disajikan pada **Gambar 4.9**.



Gambar 4.9 Arah dan Kecepatan Angin Bulan Januari hingga Desember 2023
Sumber: pengolahan data, 2025

Pada periode Desember hingga Maret 2023, kecepatan angin di wilayah perairan barat Provinsi Kalimantan Barat relatif tinggi dibandingkan Laut Jawa. Sementara pada periode Mei hingga November 2023, kecepatan angin di Laut Jawa

meningkat dan relatif stabil. Sehingga pada tahun tersebut monsun timur kembali aktif.

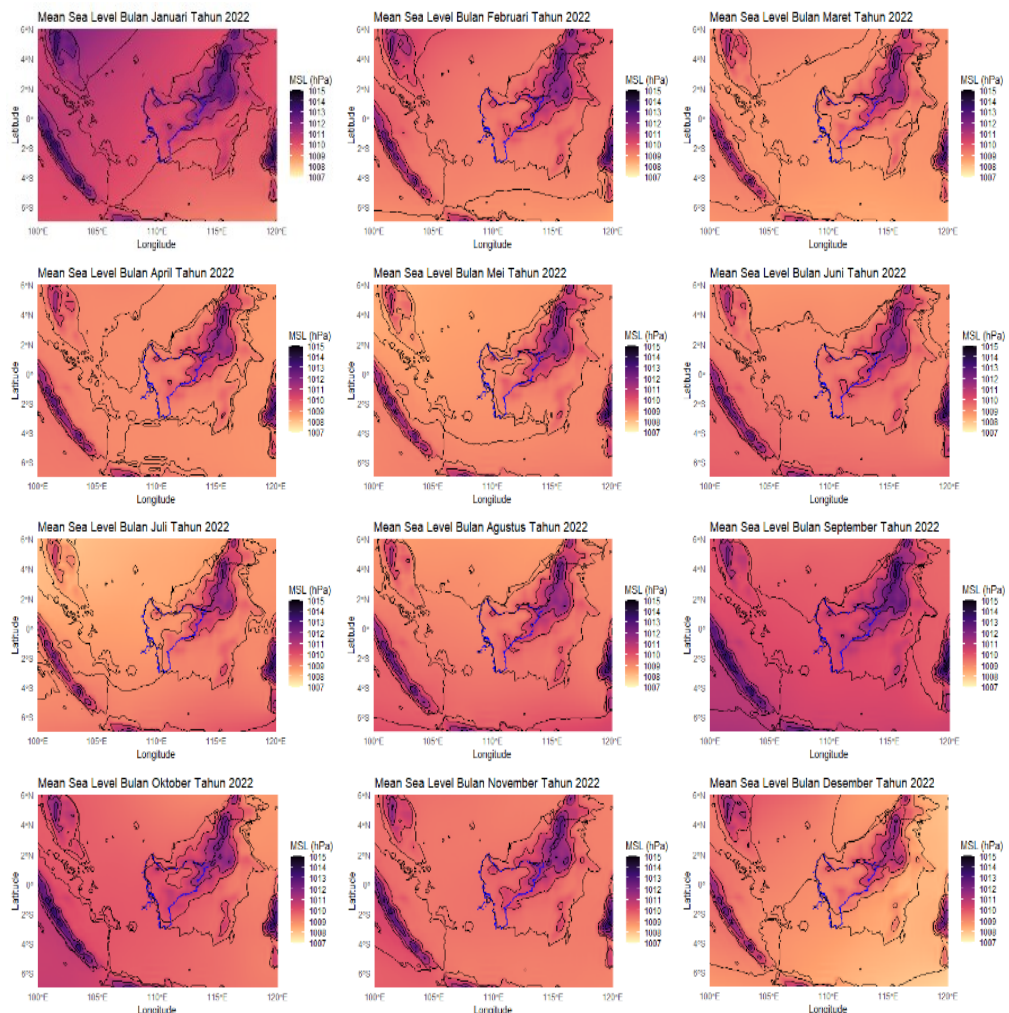
Pada tahun 2023 menunjukkan pola angin yang dominan adalah monsun timur di wilayah Indonesia, khusus bagian selatan Indonesia. Angin tersebut membawa massa udara kering dari Benua Australia menuju wilayah Indonesia, sehingga terjadi penurunan signifikan di wilayah tersebut (Aldrian dan Susanto, 2003; Erma dan Noersomadi, 2010; Trismidianto *et al.*, 2024). Sebagian wilayah Provinsi Kalimantan Barat berada langsung di jalur utama pergerakan monsun timur. Sebagian Provinsi Kalimantan Barat menerima dampak langsung dari monsun timur dan tidak langsung yang diiringi kejadian El Nino. Dengan demikian, Provinsi Kalimantan Barat mengalami kondisi kemarau, meskipun dampaknya tidak sepanjang di wilayah selatan Indonesia.

4.2.3 Tekanan Permukaan Laut

Tekanan permukaan laut wilayah Provinsi Kalimantan Barat diperoleh dari pengolahan data reanalisis ERA5, yaitu *monthly averaged reanalysis*. Data tekanan permukaan laut diinterpretasikan dengan resolusi 0.1°. Interpretasi tekanan permukaan laut menunjukkan hasil halus antar grid dan mampu menjaga transisi spasialnya (Prather *et al.*, 2011; GMAO, 2017). Kondisi tekanan permukaan laut wilayah Provinsi Kalimantan Barat pada bulan Januari hingga Desember 2022 disajikan pada **Gambar 4.10**.

Tekanan permukaan laut sekitar wilayah Provinsi Kalimantan Barat tahun 2022 menunjukkan rentang tekanan berkisar antara 1008.5 hPa hingga 1012.3 hPa dengan rata-rata 1009.8 hPa. Kondisi ini bersamaan dengan fenomena La Nina yang mencerminkan adanya anomali peningkatan tekanan di sisi timur yang dapat dikaitkan dengan subsiden udara atau aliran massa udara turun sebagai respon dari penguatan sirkulasi Walker selama fase La Nina (Aldrian dan Susanto, 2003; Wallace dan Hobbs, 2006). Wilayah yang memiliki tekanan lebih tinggi yaitu diatas 1012.0 hPa di bagian timur Kalimantan Barat. Tekanan tinggi di timur Kalimantan Barat pada periode ini diduga merupakan pengaruh gabungan antara yang diakibatkan oleh fenomena La Nina dan faktor lokal seperti ketinggian, yang dapat

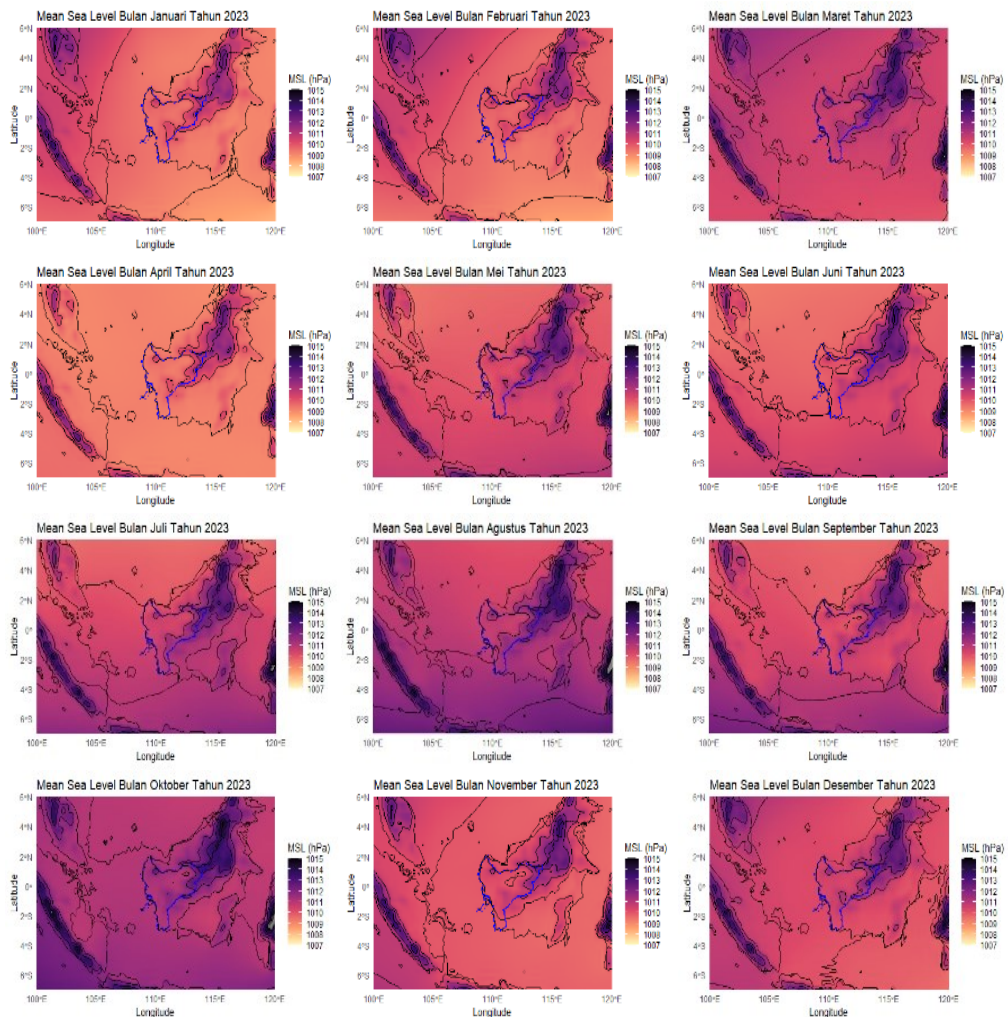
memicu terjadinya subsiden udara di area tersebut. Perbedaan tekanan ini berdampak pada distribusi curah hujan yang tidak merata, di mana wilayah timur cenderung mengalami periode kering singkat, sedangkan wilayah bertekanan lebih rendah di bagian lain provinsi lebih mendukung pembentukan awan dan hujan.



Gambar 4.10 Tekanan Permukaan Laut Bulan Januari hingga Desember 2022
Sumber: pengolahan data, 2025

Pada tahun 2023 Tekanan permukaan laut sekitar wilayah Provinsi Kalimantan Barat menunjukkan rentang tekanan berkisar antara 1009.2 hPa hingga 1013.3 hPa dengan rata-rata 1010.5 hPa. Kondisi tekanan permukaan tersebut kategori normal hingga tinggi. Kondisi tekanan permukaan laut wilayah Provinsi Kalimantan Barat pada bulan Januari hingga Desember 2023 disajikan pada **Gambar 4.11**.

Tekanan permukaan yang berada pada kategori normal hingga tinggi menunjukkan kondisi atmosfer relatif stabil dengan aktivitas konveksi yang terbatas (Wallace dan Hobbs, 2006; Ahrens, C. D. 2024). Kondisi ini diperparah dengan keberadaan periode El Nino pada tahun 2023, berdampak penurunan curah hujan akan menjadi lebih signifikan (Iskandar *et al.*, 2019).

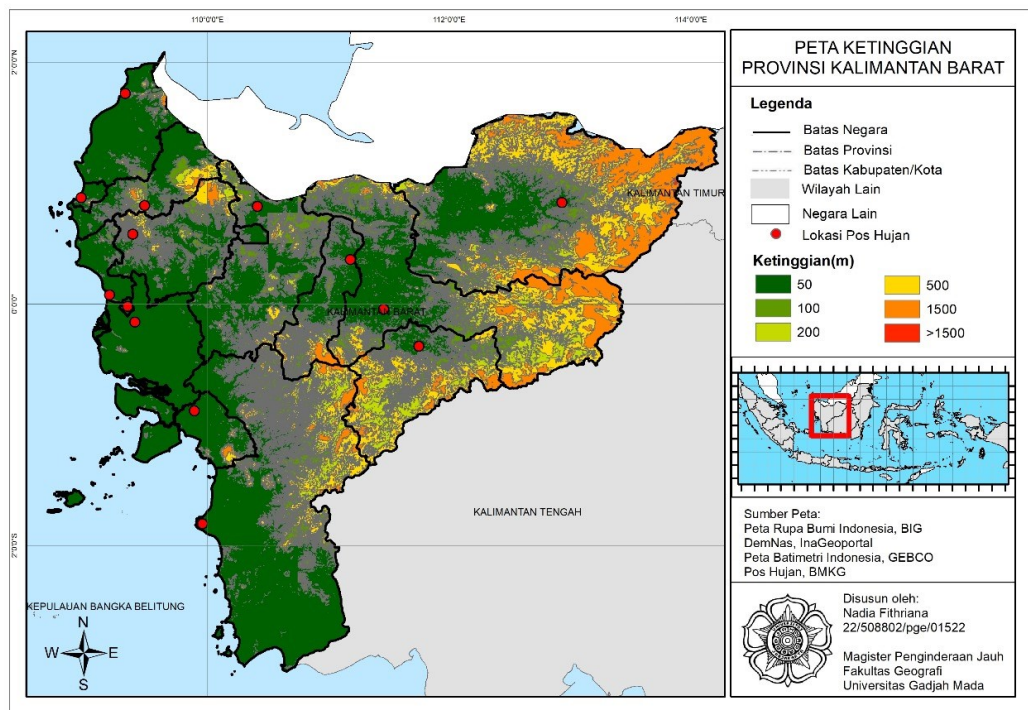


Gambar 4.11 Tekanan Permukaan Laut Bulan Januari hingga Desember 2023
Sumber: pengolahan data, 2025

4.2.4 Topografi Provinsi Kalimantan Barat

Topografi wilayah Provinsi Kalimantan Barat diperoleh dari interpretasi data Demnas, yaitu melakukan klasifikasi topografi berdasarkan ketinggian morfografi menurut Zuidam, 1985. Kondisi topografi Provinsi Kalimantan Barat disajikan pada **Gambar 4.12**.

Kondisi topografi Provinsi Kalimantan Barat menunjukkan rentang ketinggian yang cukup bervariasi, dengan ketinggian berkisar antara 0 hingga lebih dari 1500 m di bawah permukaan laut. Berdasarkan ketinggian topografi menurut Zuidam, 1985 tersebut wilayah Provinsi Kalimantan Barat merupakan wilayah dataran rendah hingga pegunungan.



**Gambar 4.12 Peta Ketinggian Provinsi Kalimantan Barat
Sumber: pengolahan data, 2025**

Ketinggian di bagian barat, didominasi oleh dataran rendah dengan ketinggian 0 sampai 100 m di bawah permukaan laut yang merupakan karakteristik wilayah pesisir atau lembah. Sebaliknya, bagian timur wilayah Provinsi Kalimantan Barat menunjukkan variasi ketinggian yang cukup kompleks, mulai dari dataran rendah hingga wilayah yang ketinggian lebih dari 1500 m di bawah permukaan laut. Hal ini menandakan wilayah bagian timur memiliki bentang alam yang terjal hingga pegunungan (Kapos *et al.*, 2000; Meybeck *et al.*, 2001; Korner *et al.*, 2011; Rahbek *et al.*, 2019). Terdapat Pegunungan Kalingkang di perbatasan timur Provinsi Kalimantan Barat (Pemerintah Provinsi Kalimantan Barat, n.d.).

Di bagian utara dan selatan Provinsi Kalimantan Barat umumnya berada pada ketinggian 0 sampai 100 m di bawah permukaan laut, namun terdapat sebagian kecil wilayah yang lebih tinggi berkisar antara 100 hingga 1500 m di bawah permukaan laut, kemungkinan wilayah perbukitan (Pemerintah Provinsi Kalimantan Barat, n.d). Sedangkan wilayah bagian tengah dengan ketinggian bervariasi antara 0 hingga lebih dari 1500 m di bawah permukaan laut yang menunjukkan transisi antara dataran rendah dan pegunungan (Rahbek *et al.*, 2019) ditandai terdapatnya Pegunungan Schwaner yang berbatasan dengan Provinsi Kalimantan Tengah (Pemerintah Provinsi Kalimantan Barat, n.d.).

Berdasarkan **Gambar 4.12**. Lokasi sampel pos hujan yang diteliti berada di wilayah dataran rendah dengan ketinggian 0 sampai 100 m di bawah permukaan laut. Namun hanya satu lokasi pos hujan yang berada di wilayah dengan ketinggian di atas 100 m di bawah permukaan laut yaitu pos hujan Bengkayang di Kabupaten Bengkayang.

4.2.5 Analisis Pola Curah Hujan

Penerapan pola curah hujan baru dalam penentuan musim perlu disertai evaluasi terhadap kesesuaiannya. Hal ini tersebut penting untuk memastikan bahwa pendekatan baru tersebut mampu merepresentasikan penentuan prediksi musim secara akurat, khususnya pada periode tahun 2022 dan 2023 yang memiliki karakteristik cuaca tersendiri. Berdasarkan **Tabel 4.2** pada tahun 2022 Indonesia mengalami fenomena iklim La Nina sedangkan pada tahun 2023 Indonesia mengalami El Nino. Hasil evaluasi pola curah hujan terhadap data prediksi GSMaP dengan membandingkannya terhadap data normal serta hasil observasi lapangan.

Evaluasi penerapan pola curah hujan menggunakan confusion matrix yaitu dengan membandingkan pola curah hujan hasil representasi dengan citra satelit GSMaP dengan kondisi lapangan. Jumlah titik sampel yang digunakan satu titik lokasi curah hujan tiap kabupaten/kota. Pembagian titik sampel tersebut berdasarkan lokasi utama dan topografi lokasi sampel tersebut. Titik sampel tersebut ditentukan pola curah hujannya yang telah ditetapkan oleh BMKG tahun

2022. Hasil Perbandingan representasi pola curah hujan dari citra satelit dan observasi pada tahun 2022 disajikan pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Perbandingan Representasi Pola Curah Hujan Tahun 2022

Nama Kabupaten/Kota	Lokasi Pos Hujan	Pola Curah Hujan		
		Normal	GSMaP	Observasi
Kabupaten Kubu Raya	Stamet Supadio	E 2	E 1	E 2
Kota Pontianak	Stamar Pontianak	E 2	E 2	E 2
Kabupaten Mempawah	Staklim Kalbar	E 1	E 1	E 2
Kabupaten Sambas	Stamet Sambas	M 1	M 1	M 1
Kabupaten Sintang	Stamet Sintang	M 1	M 1	M 1
Kabupaten Melawi	Stamet Melawi	M 1	M 1	M 1
Kabupaten Kapuas Hulu	Stamet Putusibau	M 1	M 2	M 1
Kabupaten Ketapang	Stamet Ketapang	M 2	M 2	M 2
Kabupaten Sekadau	Pos Nanga Mahap	M 1	M 1	M 1
Kabupaten Sanggau	Pos Balai Karangan	M 1	M 1	M 2
Kabupaten Landak	Pos Karangan	M 1	M 1	M 1
Kota Singkawang	Pos Singkawang Selatan	E 1	E 2	E 2
Kabupaten Kayong Utara	Pos Seponti Jaya	E 2	E 2	E 2
Kabupaten Bengkayang	Pos Bengkayang	E 1	E 2	E 2

Sumber: pengolahan data, 2025

Keterangan:

M1= Monsunal 1,

M2 = Monsunal 2,

E1 = Equator 1, dan

E2 = Equator 2.

Berdasarkan **Tabel 4.5** menunjukkan kesesuaian dan ketidaksesuaian penerapan pola curah hujan baru pada tahun 2022 di wilayah penelitian tersebut. Hasil tersebut selanjutnya dihitung confusion matrix untuk mengetahui seberapa baik hasil dari citra GSMaP dapat merepresentasi tipe pola curah hujan yang benar dan seberapa banyak kesalahan yang terjadi. Hasil confusion matrix antara citra GSMaP dan observasi pola curah hujan tahun 2022 disajikan pada **Tabel 4.6**

Tabel 4.6 Confusion Matrix antara Citra GSMaP dan Observasi Pola Curah Hujan Tahun 2022

Confussion Matrix (GSMaP VS Observasi)					
Representasi/Realita	E 2	E 1	M 2	M 1	Total Representasi
E 2	4	0	0	0	4
E 1	2	0	0	0	2
M 2	0	0	1	1	2
M 1	0	0	1	5	6
Total Realita	6	0	2	6	14

Sumber: pengolahan data, 2025

Berdasarkan **Tabel 4.6** hasil confusion matrix maka dihitung evaluasi dari hasil pola curah hujan tersebut. Evaluasi citra GSMaP dan observasi pola curah hujan tahun 2022 disajikan pada **Tabel 4.7**. Hasil evaluasi performa representasi dari citra satelit dan observasi penerapan pola curah hujan baru menunjukkan tingkat keberhasilan yang bervariasi antar kategori.

Tabel 4.7 Evaluasi antara Citra GSMaP dan Observasi Pola Curah Hujan Tahun 2022

Pola curah hujan	True Positive	False Positive	False Negative	Presisi	Recall	F1-score
E 2	4	0	2	1.00	0.67	0.80
E 1	0	2	0	0.00	~	~
M 2	1	1	1	0.50	0.50	0.50
M 1	5	1	1	0.83	0.83	0.83
Total	10	4	4			
Persentase	71.4%	28.6%	28.6%			

Sumber: pengolahan data, 2025

Hasil evaluasi menunjukkan citra GSMaP mampu mengklasifikasikan pola dengan akurasi sebesar 71.4%, sementara kesalahan yang dihasilkan masing-masing sebesar 28.6%. Kinerja terbaik ditunjukkan pada pola curah hujan Equatorial 2 (E 2) dan Monsunal 1 (M 1), di mana representasi citra GSMaP berhasil mengidentifikasi kejadian dengan F1-score masing-masing sebesar 0.80 dan 0.83. Hal tersebut menunjukkan keseimbangan yang cukup baik antara presisi dan sensitivitas dalam mengenali kedua pola tersebut.

Secara umum pola curah hujan pada tahun 2022 citra GSMaP mampu merepresentasikan pola curah hujan Equatorial 2 dan Monsunal 1 mengikuti hasil normal BMKG dan observasi. Pola curah hujan Equatorial 2 (E 2) dan Monsunal 1 (M 1) dari representasi citra GSMaP mengikuti pola normal BMKG ditandai dengan true positive tinggi, precision dan recall baik. Hasil representasi pola curah hujan tersebut dipengaruhi oleh interaksi dinamika atmosfer, meliputi suhu permukaan laut, tekanan udara, dan pola serta faktor lokal seperti topografi (Aldrian dan Susanto, 2003; McKnight dan Hess, 2010; Lutgens dan Tarbuck, 2016) didukung dengan kondisi atmosfer pada tahun tersebut yang disajikan pada **Gambar 4.6**, **Gambar 4.8**, **Gambar 4.10**, dan **Gambar 4.12**. Berdasarkan **Gambar 4.12** pola curah hujan Equatorial 2 berada disekitar pesisir daratan Provinsi Kalimantan Barat menunjukkan pola curah hujan yang cenderung sama dengan normal. Sirkulasi angin laut harian memicu pembentukan awan dan hujan secara rutin, bahkan dalam kondisi atmosfer yang relatif kering dan stabil secara termodinamik. Stabilitas suhu permukaan laut turut menjaga pasokan kelembapan, sehingga proses konveksi lokal tetap aktif dan mendukung kestabilan curah hujan pesisir (Bergemann *et al.*, 2015; Sato *et al.*, 2016).

Sedangkan pola curah hujan Monsunal 1 berdasarkan **Gambar 4.12** terdapat diwilayah daratan Provinsi Kalimantan Barat yang memiliki topografi yang bervariasi. Wilayah tersebut mengalami musim hujan sepanjang tahun. Stabilitas tekanan permukaan laut yang relatif stabil disajikan pada **Gambar 4.10** memungkinkan terbentuknya pola angin lokal yang mendukung proses konvektif secara konsisten. Selain itu, pergerakan angin permukaan yang membawa uap air dari wilayah pesisir atau lembah sungai besar akan mengalami perlambatan dan pengangkatan di daerah daratan yang topografi kompleks, sehingga meningkatkan potensi pembentukan awan dan hujan (Houze, 2012; Anders dan Nesbitt, 2015; Nicolas dan Boos, 2025). Meskipun tidak selalu dipengaruhi langsung oleh angin monsun, kawasan daratan Provinsi Kalimantan Barat tetap mendapatkan suplai kelembapan akibat interaksi antara angin lokal dan kondisi tekanan yang tidak terlalu tinggi, sehingga memungkinkan hujan terjadi secara merata sepanjang tahun

(Wang, 2006). Didukung pada tahun tersebut Indonesia mengalami fenomena La Nina yang menyebabkan terjadinya peningkatan curah hujan.

Sementara pada tahun 2023 titik sampel yang digunakan mengikuti pola curah hujannya yang telah ditetapkan oleh BMKG seperti tahun 2022. Hasil Perbandingan representasi pola curah hujan antara normal BMKG, citra GSMaP dan observasi pada tahun 2023 disajikan pada **Tabel 4.8**

Tabel 4.8 Perbandingan Representasi Pola Curah Hujan Tahun 2023

Nama Kabupaten/Kota	Lokasi Pos Hujan	Pola Curah Hujan		
		Normal	Prediksi	Observasi
Kabupaten Kubu Raya	Stamet Supadio	E 2	E 2	E 2
Kota Pontianak	Stamar Pontianak	E 2	E 2	E 2
Kabupaten Mempawah	Staklim Kalbar	E 1	E 2	E 2
Kabupaten Sambas	Stamet Sambas	M 1	M 2	M 2
Kabupaten Sintang	Stamet Sintang	M 1	M 2	M 1
Kabupaten Melawi	Stamet Melawi	M 1	M 2	M 1
Kabupaten Kapuas Hulu	Stamet Putusibau	M 1	M 2	M 1
Kabupaten Ketapang	Stamet Ketapang	M 2	M 2	M 2
Kabupaten Sekadau	Pos Nanga Mahap	M 1	M 1	M 1
Kabupaten Sanggau	Pos Balai Karang	M 1	M 1	M 2
Kabupaten Landak	Pos Karang	M 1	M 1	M 1
Kota Singkawang	Pos Singkawang Selatan	E 1	E 2	E 2
Kabupaten Kayong Utara	Pos Seponti Jaya	E 2	E 2	E 2
Kabupaten Bengkayang	Pos Bengkayang	E 1	E 2	E 2

Sumber: pengolahan data, 2025

Berdasarkan **Tabel 4.8** penerapan pola curah hujan baru pada tahun 2023 menunjukkan kesesuaian dan ketidaksesuaian bervariasi dibandingkan tahun 2022. Hasil tersebut selanjutnya dihitung confusion matrix pada tahun tersebut. Hasil confusion matrix citra GSMaP dan observasi pola curah hujan tahun 2023 disajikan pada **Tabel 4.9**.

Tabel 4.9 Confusion Matrix antara Citra GSMaP dan Observasi Pola Curah Hujan Tahun 2023

Confussion Matrix (Prediksi VS observasi)					
Representasi/Realita	E 2	E 1	M 2	M 1	Total Representasi
E 2	6	0	0	0	6
E 1	0	0	0	0	0
M 2	0	0	2	3	5
M 1	0	0	1	2	3
Total Realita	6	0	3	5	14

Sumber: pengolahan data, 2025

Berdasarkan **Tabel 4.9** hasil confusion matrix maka dihitung evaluasi dari hasil pola curah hujan tersebut. Hasil evaluasi performa representasi dari citra satelit dan observasi penerapan pola curah hujan baru menunjukkan tingkat keberhasilan yang bervariasi antar kategori. Evaluasi citra GSMaP dan observasi pola curah hujan tahun 2023 disajikan pada **Tabel 4.10**.

Tabel 4.10 Evaluasi antara Citra GSMaP dan Observasi Pola Curah Hujan Tahun 2023

Pola curah hujan	True Positive	False Positive	False Negative	Presisi	Recall	F1-score
E 2	6	0	0	1.00	1.00	1.00
E 1	0	0	0	~	~	~
M 2	2	3	1	0.40	0.50	0.44
M 1	2	1	3	0.67	0.40	0.50
Total	10	4	4			
Persentase	71.4%	28.6%	28.6%			

Sumber: pengolahan data, 2025

Hasil evaluasi menunjukkan citra GSMaP mampu mengklasifikasikan pola curah hujan 2023 dengan tingkat True Positive (TP) sebesar 71.4%, sementara kesalahan prediksi masing-masing sebesar 28.6%. Kinerja terbaik ditunjukkan pada pola curah hujan Equatorial 2 (E 2) di mana prediksi citra GSMaP berhasil mengidentifikasi kejadian dengan F1-score masing-masing sebesar 1. Hal tersebut menunjukkan keseimbangan yang sangat baik antara presisi dan sensitivitas dalam mengenali kedua pola tersebut antara data citra GSMaP dan observasi. Namun pada pola curah hujan Equatorial 1, Monsunal 1, dan Monsunal 2 menunjukkan hasil prediksi dari citra satelit kecenderungan tidak mengikuti pola normal yang

ditetapkan oleh BMKG ataupun data observasi. Hal tersebut bisa dipengaruhi oleh fenomena global seperti El Nino yang menyebabkan terjadi penurunan curah hujan, sehingga pola curah hujan di tahun 2023 mengalami penyimpangan.

Perbedaan kesesuaian dan akurasi pola curah hujan tahun 2022 dan 2023 diduga dipengaruhi oleh dinamika atmosfer dan kelautan di wilayah Laut Natuna Utara (Ningsih *et al.*, 2019; Dewi dan Amri, 2022; Ruslana *et al.*, 2022). Laut Natuna Utara berperan penting dalam memasok uap air melalui suhu permukaan laut yang hangat, yang mendorong penguapan tinggi dan pembentukan awan hujan. Selain itu, pola angin yang terbentuk akibat gradien tekanan turut mengarahkan kelembapan dari Laut Natuna Utara ke wilayah daratan, termasuk wilayah Provinsi Kalimantan Barat. Selama Monsun Barat Laut, angin membawa uap air secara intensif dari Laut Natuna Utara ke wilayah penelitian, menciptakan kondisi yang mendukung peningkatan curah hujan. Pengaruh variasi tersebut tergambar dalam **Gambar 4.6** hingga **Gambar 4.11** yang menunjukkan kondisi atmosfer dan kelautan yang berbeda antar tahun.

4.3 Validasi Curah Hujan antara Data Citra GSMaP dengan Data Observer

Keakuratan data citra dalam merepresentasikan kondisi curah hujan di lapangan sangat penting. Sehingga dilakukan proses validasi terhadap data citra dengan data observasi pada dua skala waktu, yaitu periode dasarian dan bulanan pada tahun 2022 dan 2023. Validasi pada skala dasarian bertujuan mengamati kesesuaian pola curah hujan jangka pendek, sedangkan validasi bulanan digunakan untuk melihat konsistensi dan ketelitian data citra dalam jangka waktu yang lebih panjang.

4.3.1 Validasi Curah Hujan Dasarian

Curah hujan dasarian akan digunakan untuk penentuan prediksi musim. Sehingga sebelum digunakan dalam analisis lebih lanjut, data citra satelit perlu divalidasi untuk memastikan tingkat akurasi dan keandalannya. Validasi dilakukan dengan membandingkan data citra terhadap data observasi pada periode dan lokasi yang sama. Proses ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana data citra GSMaP

merepresentasikan curah hujan dasarian aktual. Hasil validasi antara data citra GSMaP dan data observasi disajikan pada **Tabel 4.11**.

Curah hujan dasarian pada tahun 2022 menunjukkan nilai korelasi (R) antara prediksi dan observasi lapangan bervariasi antara 0,23 hingga 0,72, dengan nilai determinasi (R^2) berkisar antara 5% hingga 52%. Dari total 14 sampel lokasi pos hujan, 9 di antaranya memiliki nilai signifikansi $p < 0,05$, yang berarti hubungan tersebut signifikan secara statistik. Nilai korelasi tertinggi teramati di Kabupaten Bengkayang sebesar 0,72 ($R^2 = 52\%$), menunjukkan bahwa prediksi menjelaskan lebih dari setengah variasi data observasi.

Tabel 4.11 Korelasi Curah Hujan Dasarian Periode 2022 dan 2023

Nama Kabupaten/Kota	Lokasi Pos Hujan	2022			2023		
		R	R^2	Sig	R	R^2	Sig
Kab. Kubu Raya	Stamet Supadio	0.51	26%	0.002	0.53	29%	0.009
Kota Pontianak	Stamar Pontianak	0.54	29%	0.001	0.67	45%	0.000
Kab. Mempawah	Staklim Kalbar	0.23	5%	0.182	0.36	13%	0.033
Kab. Sambas	Stamet Sambas	0.67	45%	0.000	0.84	70%	0.000
Kab. Sintang	Stamet Sintang	0.70	48%	0.000	0.30	9%	0.077
Kab. Melawi	Stamet Melawi	0.56	31%	0.000	0.58	34%	0.000
Kab. Kapuas Hulu	Stamet Putusibau	0.47	22%	0.004	0.62	39%	0.000
Kab. Ketapang	Stamet Ketapang	0.36	13%	0.030	0.79	63%	0.000
Kab. Sekadau	Pos Nanga Mahap	0.33	11%	0.052	0.32	10%	0.057
Kab. Sanggau	Pos Balai Karang	0.27	7%	0.117	0.73	53%	0.000
Kab. Landak	Pos Karang	0.49	24%	0.002	0.49	24%	0.003
Kota Singkawang	Pos Singkawang Selatan	0.31	10%	0.066	0.47	22%	0.004
Kab. Kayong Utara	Pos Seponti Jaya	0.30	9%	0.079	0.62	38%	0.000
Kab. Bengkayang	Pos Bengkayang	0.72	52%	0.000	0.47	22%	0.004

Sumber: pengolahan data, 2025

Sementara pada tahun 2023 menunjukkan nilai korelasi antara 0.30 hingga 0.84, dengan nilai determinasi (R^2) berkisar antara 9% hingga 70%. Dari total 14 sampel lokasi pos hujan, 12 di antaranya memiliki nilai signifikansi $p < 0,05$, yang berarti hubungan tersebut signifikan secara statistik. Nilai korelasi tertinggi teramati di Kabupaten Sambas sebesar 0,84 ($R^2 = 70\%$), menunjukkan bahwa citra GSMaP menjelaskan lebih dari setengah variasi data observasi dan memiliki nilai hubungan sangat tinggi antara data citra GSMaP dengan data observasi. Berdasarkan **Tabel 4.11** hubungan curah hujan dasarian pada tahun 2022 dan 2023 antara data citra satelit dengan data observasi menunjukkan di Kabupaten Sambas memiliki tingkat akurasi yang baik dimana hasil korelasi dan nilai signifikan pada dua tahun tersebut memiliki nilai tinggi secara bersamaan.

Secara umum uji akurasi curah hujan dasarian menunjukkan terdapat perbedaan di tahun 2022 dan 2023. Uji akurasi pada tahun 2023 hingga sangat tinggi. Uji akurasi dapat bervariasi tergantung lokasi dan waktu pengamatan. Berdasarkan **Tabel 4.2** menunjukkan tahun 2022 merupakan periode Indonesia mengalami fenomena La Nina dan tahun 2023 mengalami fenomena El Nino. Fenomena tersebut berpengaruh terhadap kemampuan citra satelit. Jumlah sampel pada tahun 2023 lebih banyak menunjukkan hubungan signifikan dibandingkan tahun 2022. Hal tersebut mengindikasikan bahwa tahun 2023 citra GSMaP mampu mendeteksi variasi curah hujan lebih stabil dan terukur karena area tutupan awan sedikit dan gelombang microwave dapat merekam curah hujan dengan baik (Tian *et al.*, 2010; Arshad *et al.*, 2021; Zeng *et al.*, 2021). Sementara pada tahun 2022, jumlah sampel signifikan lebih sedikit. Hal tersebut terjadi karena fenomena La Nina menimbulkan anomali curah hujan bersifat lokal dan tidak merata disuatu wilayah, sehingga menyebabkan citra GSMaP sulit untuk merepresentasikan curah hujan secara akurat di seluruh wilayah penelitian.

Selanjutnya, untuk mengevaluasi representasi curah hujan dasarian oleh citra GSMaP, disajikan nilai Root Mean Square Error (RMSE), Mean Bias Error (MBE), dan PBIAS pada **Tabel 4.12**.

Tabel 4.12 Evaluasi Curah Hujan Dasarian Periode 2022 dan 2023

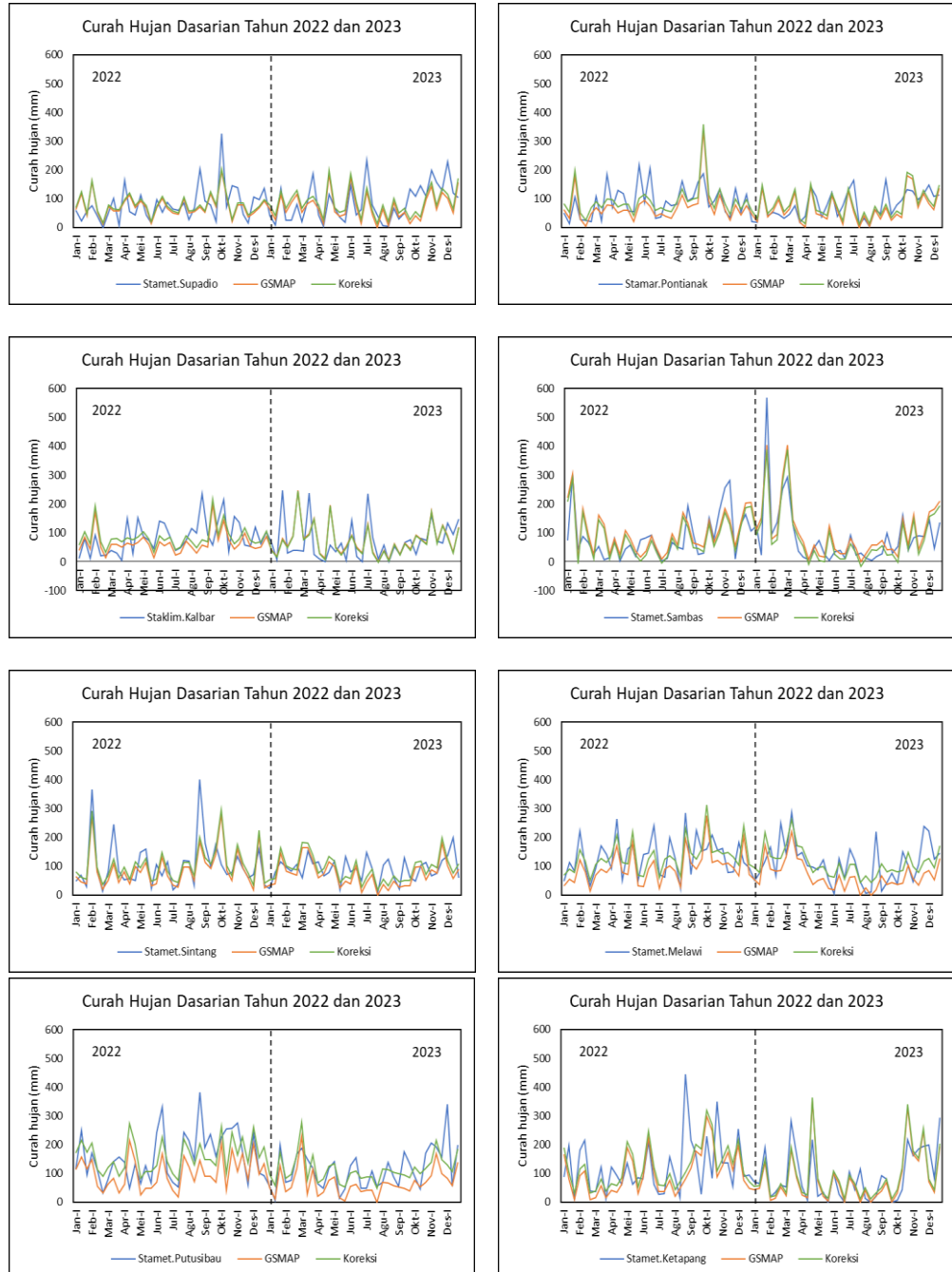
Nama Kabupaten/Kota	Lokasi Pos Hujan	2022			2023		
		RMSE	MBE	PBIAS	RMSE	MBE	PBIAS
Kab. Kubu Raya	Stamet Supadio	53.1	-5.7	-7.2	53.9	-14.2	-16.5
Kota Pontianak	Stamar Pontianak	45.8	-21.2	-23.2	34.6	-11.3	-14.4
Kab. Mempawah	Staklim Kalbar	54.5	-19.4	-22.9	61.8	3.4	4.9
Kab. Sambas	Stamet Sambas	56.5	15.4	18.2	57.5	16.6	19.3
Kab. Sintang	Stamet Sintang	60.9	-15.5	-14.7	39.1	-17.6	-19.5
Kab. Melawi	Stamet Melawi	55.2	-35.9	-27.1	57.3	-43.1	-39.3
Kab. Kapuas Hulu	Stamet Putusibau	74.7	-57.8	-36.0	53.7	-47.5	-41.5
Kab. Ketapang	Stamet Ketapang	88.6	-23.0	-18.9	50.8	-10.1	-11.3
Kab. Sekadau	Pos Nanga Mahap	71.3	-55.5	-44.2	69.1	-5.6	-6.0
Kab. Sanggau	Pos Balai Karangan	46.9	14.3	25.0	32.1	22.5	36.0
Kab. Landak	Pos Karangan	52.7	-32.8	-35.1	64.9	-36.6	-38.5
Kota Singkawang	Pos Singkawang Selatan	66.3	-42.1	-42.6	77.0	-23.3	-26.4
Kab. Kayong Utara	Pos Seponti Jaya	68.1	-11.9	-11.9	43.3	7.3	8.9
Kab. Bengkayang	Pos Bengkayang	30.1	6.5	7.9	66.3	7.1	8.7

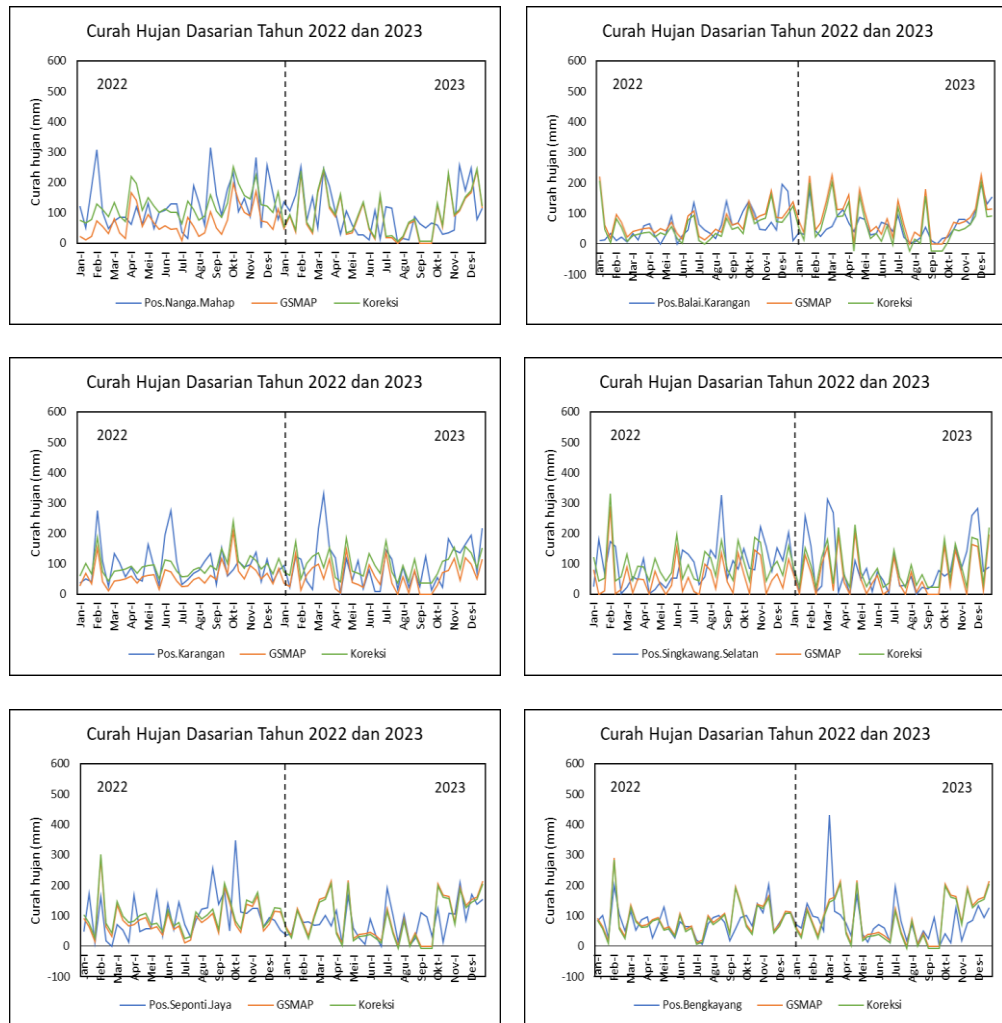
Sumber: pengolahan data, 2025

Evaluasi dari representasi curah hujan, mean bias eror pada citra GSMaP menunjukkan dominan *overestimate* terhadap data observasi yang terjadi pada tahun 2022, sementara pada tahun 2023 seimbang antara *underestimate* dan *overestimate* yang terjadi di beberapa wilayah penelitian. Seiring terjadi fenomena La Nina pada tahun 2022 terjadi peningkatan aktivitas awan konvektif yang sangat tinggi dan dingin, yang membuat sensor satelit mendeteksi hujan lebih lebat dari kenyataannya di permukaan (Palharini *et al.*, 2022; Nicholson dan Klotter, 2021). Persentase nilai bias pada tahun 2022-2023 yang dihasilkan oleh citra GSMaP merepresentasikan curah hujan dasarian dengan kategori sangat baik hingga buruk.

Evaluasi Citra GSMaP dalam merepresentasikan curah hujan dasarian diperlukan koreksi citra. Perbandingan representasi citra GSMaP sebelum dan sesudah di koreksi disajikan pada Gambar 4.12. Pada **Gambar 4.12.** menunjukkan representasi curah hujan dari citra GSMaP terkoreksi pada tahun 2022 dan 2023

underestimate dan *overestimate* namun masih skala mendekati nilai observasi. Citra GSMaP koreksi masih cenderung *overestimate* atau *underestimate* curah hujan karena kombinasi keterbatasan sensor, kompleksitas atmosfer, minimnya data darat untuk kalibrasi, pengaruh variabilitas iklim, dan resolusi spasial-temporal yang terbatas (Zambrano-Bigiarini *et al.*, 2017; Yamaji *et al.*, 2021)





Gambar 4.13 Perbandingan Curah Hujan Dasarian Observasi, Citra GSMaP dan Citra Koreksi

Sumber: pengolahan data, 2025

4.3.2 Validasi Curah Hujan Bulanan

Curah hujan bulanan akan digunakan untuk penentuan pola curah hujan. Untuk memperoleh hasil analisis pola curah hujan yang valid dan dapat dipercaya, data curah hujan yang digunakan perlu melalui proses validasi. Validasi dilakukan dengan membandingkan data citra terhadap data observasi pada periode dan lokasi yang sama. Proses ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana data citra GSMaP dapat merepresentasikan curah hujan bulanan aktual. Hasil validasi antara data citra GSMaP dan data observasi disajikan pada **Tabel 4.13**.

Curah hujan bulanan pada tahun 2022 menunjukkan nilai korelasi (R) antara citra GSMaP dan observasi lapangan bervariasi antara 0,11 hingga 0,72, dengan nilai determinasi (R^2) berkisar antara 1% hingga 53%. Dari total 14 sampel lokasi pos hujan, 5 di antaranya memiliki nilai signifikansi $p < 0,05$, yang berarti hubungan tersebut signifikan secara statistik. Nilai korelasi tertinggi teramati di Kabupaten Sambas sebesar 0,72 ($R^2 = 53\%$).

Tabel 4.13 Korelasi Curah Hujan Bulanan Periode 2022 dan 2023

Nama Kabupaten/Kota	Lokasi Pos Hujan	2022			2023		
		R	R^2	Sig	R	R^2	Sig
Kab. Kubu Raya	Stamet Supadio	0.64	41%	0.024	0.48	23%	0.111
Kota Pontianak	Stamar Pontianak	0.44	20%	0.148	0.61	37%	0.035
Kab. Mempawah	Staklim Kalbar	0.19	4%	0.557	0.15	2%	0.637
Kab. Sambas	Stamet Sambas	0.72	53%	0.008	0.91	83%	0.000
Kab. Sintang	Stamet Sintang	0.57	32%	0.054	0.43	18%	0.168
Kab. Melawi	Stamet Melawi	0.64	41%	0.024	0.76	58%	<i>0.004</i>
Kab. Kapuas Hulu	Stamet Putusibau	0.47	22%	0.125	0.83	69%	<i>0.001</i>
Kab. Ketapang	Stamet Ketapang	0.58	34%	0.047	0.72	52%	<i>0.009</i>
Kab. Sekadau	Pos Nanga Mahap	0.16	3%	0.615	0.33	11%	0.293
Kab. Sanggau	Pos Balai Karangan	0.42	18%	0.171	0.79	63%	0.002
Kab. Landak	Pos Karangan	0.30	9%	0.343	0.64	41%	0.026
Kota Singkawang	Pos Singkawang Selatan	0.68	46%	0.016	0.82	67%	0.001
Kab. Kayong Utara	Pos Seponti Jaya	0.11	1%	0.737	0.68	46%	0.015
Kab. Bengkayang	Pos Bengkayang	0.57	32%	0.053	0.55	30%	0.064

Sumber: pengolahan data, 2025

Sementara pada tahun 2023 menunjukkan nilai hubungannya antara 0.15 hingga 0.91, dengan nilai determinasi (R^2) berkisar antara 2% hingga 83%. Dari total 14 sampel lokasi pos hujan, 9 di antaranya memiliki nilai signifikansi $p < 0,05$, yang berarti hubungan tersebut signifikan secara statistik. Nilai korelasi tertinggi teramati di Kabupaten Sambas sebesar 0,91 ($R^2 = 83\%$), menunjukkan bahwa representasi dan observasi memiliki hubungan yang tinggi dan nilai representasi dapat digunakan di wilayah tersebut.

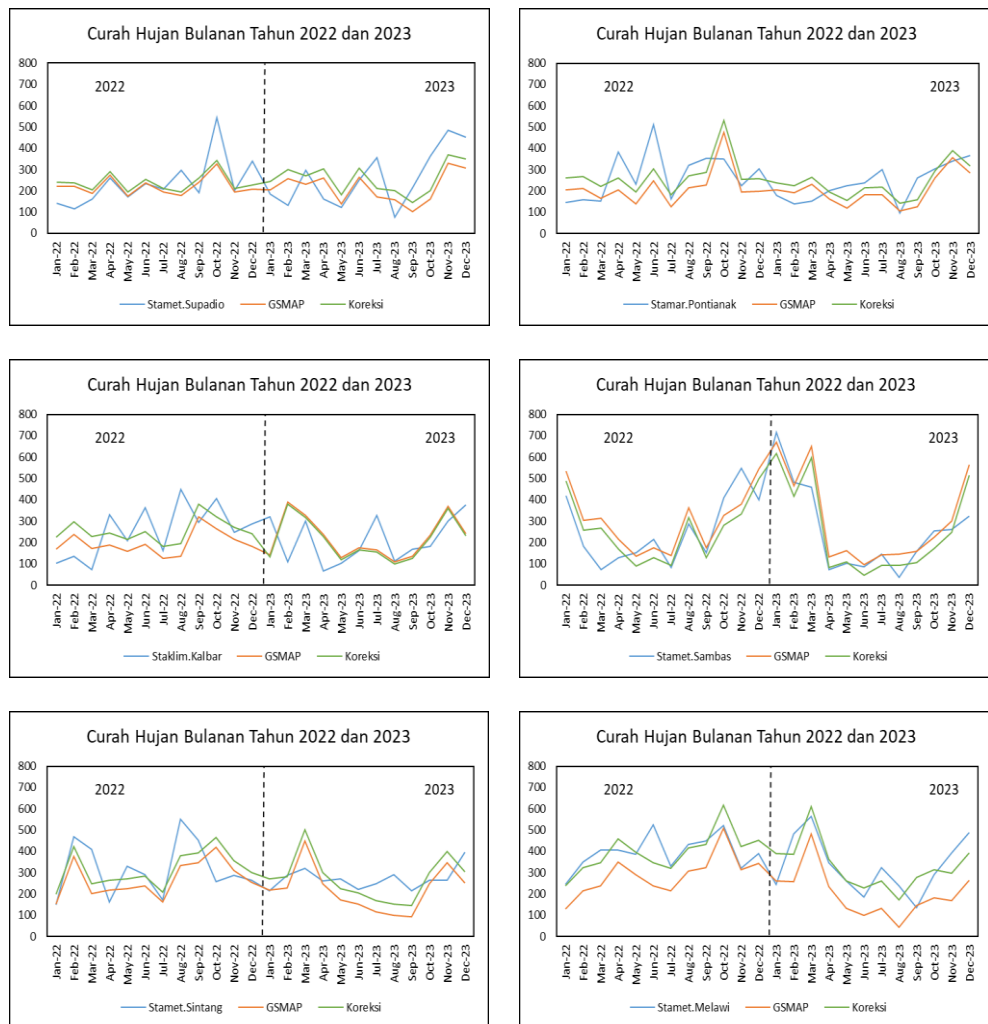
Berdasarkan **Tabel 4.13** menunjukkan pada tahun 2022 dan 2023 di Kabupaten Sambas, Kabupaten Melawi, Kabupaten Ketapang dan Kota Singkawang memiliki nilai koefisien korelasi berada dalam kategori sedang hingga tinggi, dengan nilai p-value < 0,05. Hal tersebut mengindikasikan adanya hubungan linier yang signifikan dengan demikian, citra GSMaP memiliki tingkat akurasi yang memadai dalam merepresentasikan curah hujan bulanan di lokasi tersebut. Selanjutnya, untuk mengevaluasi representasi curah hujan bulanan citra GSMaP, disajikan nilai Root Mean Square Error (RMSE), Mean Bias Error (MBE), dan PBIAS pada **Tabel 4.14**.

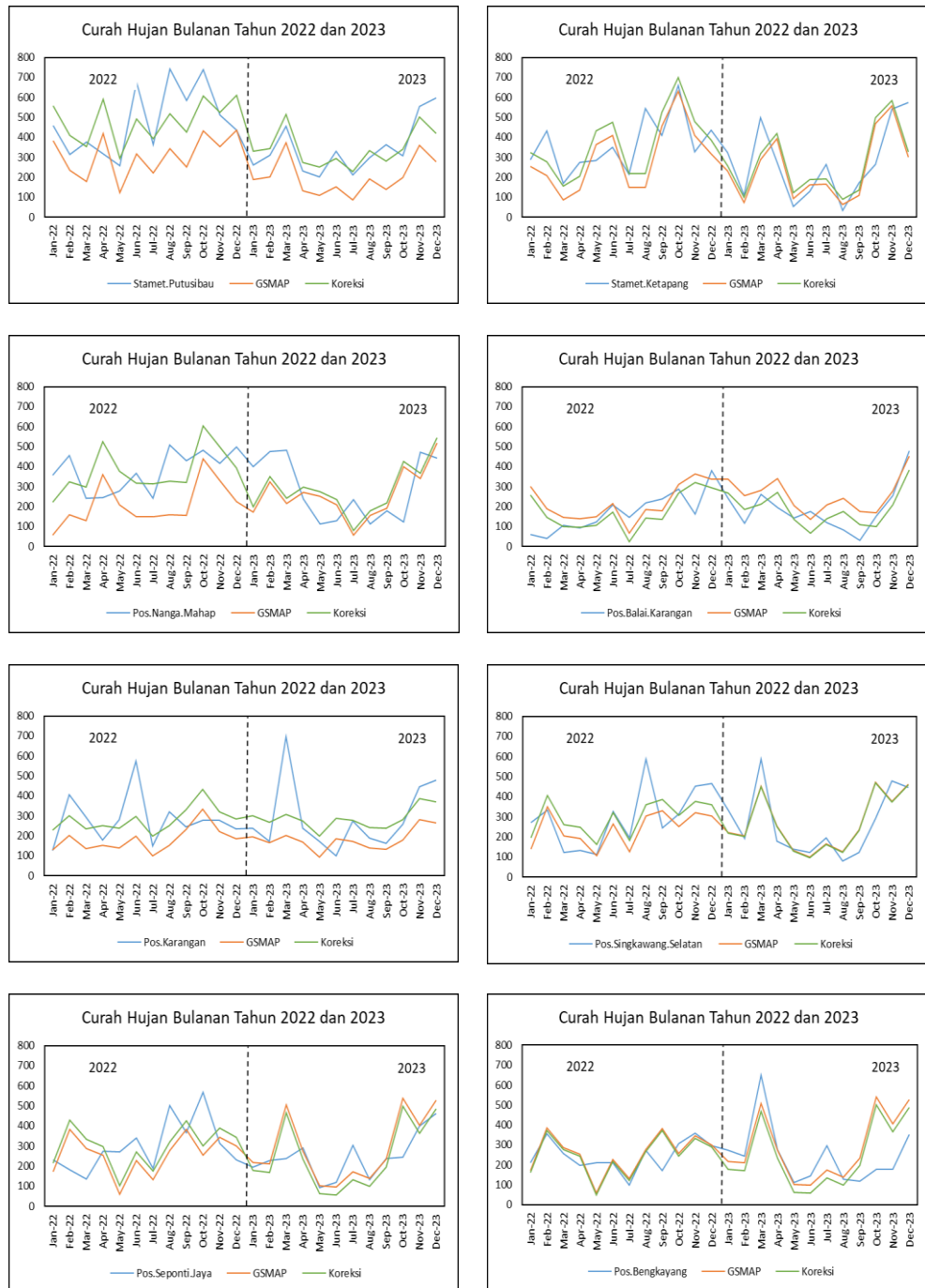
Tabel 4.14 Evaluasi Curah Hujan Bulanan Periode 2022 dan 2023

Nama Kabupaten/Kota	Lokasi Pos Hujan	2022			2023		
		RMSE	MBE	PBIAS	RMSE	MBE	PBIAS
Kab. Kubu Raya	Stamet Supadio	84.8	-16.9	-7.1	111.9	-42.3	-16.4
Kota Pontianak	Stamar Pontianak	98.9	-57.2	-20.8	63.7	-33.5	-14.3
Kab. Mempawah	Staklim Kalbar	114.1	-58.4	-22.9	101.6	10.5	5.0
Kab. Sambas	Stamet Sambas	102.4	46.1	18.1	80.3	51.2	19.8
Kab. Sintang	Stamet Sintang	102.5	-46.3	-14.6	43.9	-52.8	-19.5
Kab. Melawi	Stamet Melawi	59.7	-107.7	-27.1	81.7	-128.7	-39.1
Kab. Kapuas Hulu	Stamet Putusibau	143.4	-173.6	-36.1	68.4	-142.2	-41.5
Kab. Ketapang	Stamet Ketapang	108.8	-68.8	-18.8	123.6	-28.4	-10.5
Kab. Sekadau	Pos Nanga Mahap	97.7	-166.6	-44.3	142.5	-24.5	-8.6
Kab. Sanggau	Pos Balai Karangan	86.2	43.4	25.3	67.5	67.9	36.2
Kab. Landak	Pos Karangan	110.2	-98.6	-35.2	126.2	-103.8	-36.4
Kota Singkawang	Pos Singkawang Selatan	105.3	-55.8	-18.8	89.9	2.8	1.1
Kab. Kayong Utara	Pos Seponti Jaya	123.1	-43.9	-14.6	76.8	39.8	16.2
Kab. Bengkayang	Pos Bengkayang	60.7	11.3	4.6	119.9	39.4	16.0

Sumber: pengolahan data, 2025

Nilai *Mean bias error* dari representasi curah hujan bulanan citra GSMaP pada tahun 2022 menunjukkan dominan *overestimate* terhadap data observasi, sementara pada tahun 2023 seimbang antara *underestimate* dan *overestimate*. Persentase nilai bias pada tahun 2022-2023 yang dihasilkan oleh citra GSMaP merepresentasikan curah hujan bulanan dengan kategori sangat baik hingga buruk. Evaluasi Citra GSMaP dalam merepresentasikan curah hujan bulanan diperoleh citra GSMaP terkoreksi. Perbandingan representasi citra GSMaP sebelum dan sesudah di koreksi disajikan pada **Gambar 4.13**.





Gambar 4.14 Perbandingan Curah Hujan Bulanan Observasi, Citra GSMaP dan Citra Koreksi

Sumber: pengolahan data, 2025

Pada **Gambar 4.13** menunjukkan representasi yang bervariasi masing-masing tahun di wilayah penelitian. Secara umum uji akurasi curah hujan bulanan dapat bervariasi tergantung lokasi dan waktu pengamatan (Fang *et al.*, 2019; Lv *et al.*,

2024). Sama seperti uji akurasi curah hujan dasarian sebelumnya, bahwa uji akurasi curah hujan bulanan lokasi sampel pada tahun 2023 lebih banyak menunjukkan hubungan signifikan dibandingkan tahun 2022. Hal tersebut mengindikasikan bahwa tahun 2023 citra GSMaP periode mampu merekam variasi curah hujan pada periode El Nino lebih terukur dan konstan, dibandingkan pada tahun 2022 periode La Nina.

Fenomena El Nino dan La Nina memberikan pengaruh uji akurasi antara data citra GSMaP dengan data observasi. Curah hujan bulanan pada tahun 2022 di bandingkan curah hujan dasarian menunjukkan jumlah sampel signifikan lebih rendah. Hal tersebut berkaitan dengan karakteristik La Nina yang memicu variabilitas curah hujan yang lebih tinggi dalam jangka waktu pendek. Pada skala dasarian, fluktuasi curah hujan lebih mudah terdeteksi karena periode waktu yang relatif singkat memungkinkan pengamatan perubahan intensitas hujan secara lebih detail. Sebaliknya, pada skala bulanan adanya kombinasi faktor dari kompleksitas awan konvektif, keterbatasan sensor IR dan mikrowave, variabilitas spasial-temporal hujan yang tinggi dan an validasi permukaan yang terbatas (Kubota *et al.*, 2007; Tan *et al.*, 2018; You *et al.*, 2020).

Sementara fenomena El Nino yang terjadi pada tahun 2023 memengaruhi pola curah hujan dengan meningkatkan stabilitas dan konsistensi curah hujan dalam jangka waktu yang lebih panjang. Akibatnya, curah hujan bulanan selama periode El Nino cenderung menunjukkan pola yang lebih homogen dan korelasi yang sangat tinggi dan antar sampel signifikan. Pada periode El Nino, pola curah hujan cenderung lebih luas, teratur, dan stabil, sehingga citra satelit dapat merepresentasikannya secara lebih akurat, baik dari sisi distribusi spasial maupun akumulasi bulanan. Kurangnya awan kompleks dan variabilitas tinggi juga mendukung akurasi satelit (Ashouri *et al.*, 2020; Nicholson dan Klotter, 2021; Putra *et al.*, 2024).

Representasi curah hujan citra GSMaP periode La Nina berdasarkan *mean bias eror* cenderung *overestimate*. Sensor satelit berbasis gelombang mikro pasif dan inframerah, seperti yang digunakan oleh GSMaP, memiliki kecenderungan

untuk mengasumsikan bahwa awan tinggi dan dingin selalu disertai hujan dengan intensitas tinggi (Kidd dan Levizzani, 2011; Fang *et al.*, 2019). Padahal, tidak semua awan konvektif menghasilkan presipitasi yang setara di permukaan. Proses emisi dan hamburan (*scattering*) gelombang mikro oleh partikel air dan es di dalam awan dapat menyebabkan intensitas hujan yang sesungguhnya menjadi sulit diukur secara akurat, sehingga sistem pengolahan data satelit justru melebih-lebihkan estimasi curah hujan, terutama pada area yang sebenarnya tidak sedang terjadi hujan (Jensen, 2000; Hou *et al.*, 2014; Laviola *et al.*, 2019). Kondisi ini diperparah oleh keterbatasan spasial dan temporal dalam proses kalibrasi algoritma satelit dengan data observasi permukaan, yang juga sering terkendala oleh minimnya stasiun hujan aktif di wilayah tropis. Citra GSMaP lebih efektif merepresentasikan curah hujan bulanan selama periode El Nino karena cenderung stabil dan seragam dalam jangka panjang (Tian *et al.*, 2010).

4.4. Identifikasi Variabilitas Musiman Berdasarkan Curah Hujan dan Suhu Permukaan Laut

Penentuan awal musim dalam penelitian ini menggunakan data curah hujan harian yang diperoleh dari citra satelit GSMaP. Data tersebut dianalisis dengan metode kumulatif dasarian untuk mengidentifikasi waktu awal musim hujan dan musim kemarau pada tahun 2022 dan 2023. Hasil identifikasi disajikan dalam **Tabel 4.15** dan **Tabel 4.16** sebagai acuan awal musim pada tahun 2022 dan 2023 di Provinsi Kalimantan Barat.

Tabel 4.15 Identifikasi Awal Musim Tahun 2022

Lokasi Pos Hujan	JAN			FEB			MAR			APR			MEI			JUN			JUL			AGU			SEP			OKT			NOV			DES		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III			
Stamet Supadio	62	118	41	158	52	10	73	58	56	91	113	69	92	69	14	68	101	67	50	45	99	50	54	72	52	118	72	197	108	21	79	79	37	50	68	91
Stamar Pontianak	35	62	31	178	29	3	48	68	48	78	75	50	59	60	21	81	94	73	39	47	38	33	67	113	68	79	82	337	93	45	112	59	25	79	43	77
Stamet Ketapang	165	81	8	91	108	9	15	56	15	41	33	61	188	143	30	85	223	100	37	35	76	20	48	81	117	177	161	297	246	86	127	172	110	195	76	47
Pos Hujan Seponti Jaya	91	64	15	290	63	31	135	86	67	70	88	95	58	64	37	107	55	66	12	20	100	78	92	109	44	196	142	71	45	139	130	165	50	73	115	113

Sumber: pengolahan data, 2025

Berdasarkan hasil perhitungan untuk mengidentifikasi awal musim pada tahun 2022 yang disajikan pada **Tabel 4.15** terlihat bahwa wilayah disekitar stasiun BMKG, terjadi awal musim kemarau pada bulan Februari dasarian III, kecuali pos

hujan Seponti Jaya terjadi pada Juni dasarian III. Sementara itu awal musim hujan, sebagian besar terjadi pada bulan Maret dasarian II di Stamet Supadio dan Stamar Pontianak, namun untuk Stamet Ketapang terjadi pada bulan April dasarian III dan pos hujan Seponti Jaya terjadi pada bulan Juli dasarian III. Perubahan musim dari musim kemarau ke musim hujan cepat terjadi di 3 lokasi. Analisis menunjukkan bahwa peralihan dari musim kemarau ke musim hujan terjadi dengan cepat di tiga lokasi, yaitu Stamet Supadio, Stamar Potianak dan pos hujan Seponti Jaya, dengan curah hujan meningkat secara signifikan sebelum periode musim kemarau berakhir.

Hasil perhitungan untuk identifikasi awal musim pada tahun 2023 yang disajikan di **Tabel 4.16** menunjukkan bahwa wilayah yang sudah masuk awal musim kemarau yaitu wilayah di sekitar Stamet Ketapang terjadi pada bulan Februari dasarian II. Selanjutnya diikuti wilayah di sekitar Stamar Pontianak terjadi pada bulan April dasarian I, sedangkan Stamet Supadio dan pos hujan Seponti Jaya mengalami awal musim kemarau pada bulan Mei dasarian II. Berbeda dengan awal musim kemarau tahun 2022, dimana peralihan musim kemarau ke musim hujan berlangsung sangat cepat, sedangkan yang terjadi di tahun 2023 menunjukkan adanya jeda waktu yang lebih panjang sebelum terjadi perubahan musim. Hal ini disebabkan oleh perbedaan fenomena iklim yang terjadi setiap tahunnya, yang dipengaruhi oleh suhu permukaan laut.

Tabel 4.16 Identifikasi Awal Musim Tahun 2023

Lokasi Pos Hujan	JAN			FEB			MAR			APR			MEI			JUN			JUL			AGU			SEP			OKT			NOV			DES		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III			
Stamet Supadio	64	27	112	53	88	115	52	83	94	63	12	185	55	38	46	174	76	12	124	46	0	64	7	88	35	53	13	41	22	97	143	62	123	101	50	156
Stamar Pontianak	46	20	137	36	57	98	43	64	123	18	2	142	48	42	30	110	59	12	126	56	0	41	3	63	30	70	24	46	34	180	169	69	118	83	63	137
Stamet Ketapang	44	48	139	7	13	53	22	182	84	24	15	354	72	19	3	98	64	0	85	55	0	41	0	22	39	69	0	32	109	329	167	143	247	71	34	194
Pos Hujan Seponti Jaya	61	34	124	75	33	101	153	161	213	48	9	217	24	38	40	45	33	18	123	49	0	89	6	44	0	0	0	206	169	164	78	193	133	153	161	213

Sumber: pengolahan data, 2025

Awal musim hujan di sekitar wilayah stasiun BMKG terjadi terjadi pada waktu yang sama, yaitu bulan Oktober dasarian II, sedangkan pos hujan Seponti Jaya terjadi pada bulan Oktober dasarian I. Terdapat kesamaan awal musim pada tahun 2022 dan 2023, di mana stasiun-stasiun BMKG mencatat waktu awal musim

kemarau yang sama pada tahun 2022, sedangkan pada tahun 2023 tercatat waktu awal musim hujan yang seragam.

Hasil dari perhitungan anomali suhu permukaan laut di Samudra Pasifik dan perairan di sekitar wilayah Provinsi Kalimantan Barat berdasarkan kriteria ENSO dan anomali suhu perairan wilayah penelitian menunjukkan pada tahun 2022 terjadi fenomena La Nina dan tahun 2023 terjadi fenomena El Nino sedangkan anomali suhu di sekitar perairan pada periode tersebut dalam kondisi normal. Fenomena El Nino dan La Nina berdampak terhadap intensitas curah hujan di Indonesia pada tahun tersebut. Fenomena El Nino dan La Nina memengaruhi terhadap ketepatan representasi musim di Indonesia, salah satunya di wilayah Provinsi Kalimantan Barat. Analisis representasi musim dilakukan pada tahun 2022 bertepatan terjadinya La Nina dan 2023 terjadinya El Nino.

4.4.1 Pergeseran Musim Periode La Nina

Perhitungan kriteria musim pada periode La Nina kemudian dibandingkan dengan musim normal berdasarkan perhitungan BMKG Tahun 2022. Perhitungan musim periode La Nina disajikan pada Lampiran 5. Perhitungan curah hujan penentuan musim pada tahun 2022 berdasarkan data citra satelit yang digunakan yaitu GSMaP.

Perhitungan representasi musim kemarau terhadap normalnya pada periode La Nina disajikan pada **Tabel 4.17**.

Tabel 4.17 Pergeseran Musim Kemarau Terhadap Normalnya

	Lokasi Pos Hujan	Stamet Supadio	Stamar Pontianak	Pos Seponti Jaya	Stamet Ketapang
	Musim Kemarau	No Zom	363	363	363
Normal_AMK (das)		21	21	21	21
Awal (das)		6	6	18	6
Rasio		-15	-15	-3	-15
Keterangan		Lebih Cepat	Lebih Cepat	Lebih Cepat	Lebih Cepat
Normal Pa_MK (das)		3	3	3	6
Panjang (das)		3	3	3	6
Rasio		0	0	0	0
Keterangan		Sama	Sama	Sama	Sama

Sumber: pengolahan data, 2025

Keterangan:

AMK = Awal Musim Kemarau,

AMH = Awal Musim Hujan,

Pa_MK = Panjang Musim Kemarau,

Pa_MH = Panjang Musim Hujan,

Pu_MK = Puncak Musim Kemarau, dan

Pu_MH = Puncak Musim Hujan.

Pengolahan data curah hujan dasarian dari citra satelit menunjukkan bahwa semua lokasi mengalami awal musim kemarau lebih cepat dibandingkan dengan kondisi normal. Pada tahun 2022, terjadi pergeseran awal musim kemarau yang lebih cepat. Awal musim kemarau yang terjadi di wilayah Pos Seponti Jaya lebih lama dibandingkan di wilayah lainnya. Meskipun wilayah Pos Seponti Jaya memiliki awal musim yang berbeda, panjang musim kemarau selama periode La Nina di wilayah tersebut cenderung sama atau tidak menunjukkan perbedaan signifikan dibandingkan dengan wilayah lainnya.

Sementara Perbandingan musim hujan terhadap normalnya pada periode La Nina disajikan pada **Tabel 4.18**.

Tabel 4.18 Pergeseran Musim Hujan Terhadap Normalnya

	Lokasi Pos Hujan	Stamet Supadio	Stamar Pontianak	Pos Seponti Jaya	Stamet Ketapang
Musim Hujan	No Zom	363	363	363	355
	Normal_AMH (das)	24	24	24	27
	Awal (das)	8	8	21	12
	Rasio	-16	-16	-3	-15
	Keterangan	Lebih Cepat	Lebih Cepat	Lebih Cepat	Lebih Cepat
	Normal Pa_MH (das)	33	33	33	30
	Panjang (das)	33	33	33	30
	Rasio	0	0	0	0
	Keterangan	Sama	Sama	Sama	Sama

Sumber: pengolahan data, 2025

Pengolahan data curah hujan dasarian dari citra satelit pada tahun 2022 menunjukkan bahwa semua lokasi mengalami awal musim hujan lebih cepat

dibandingkan dengan kondisi normal. Pada tahun tersebut, terjadi pergeseran awal musim hujan yang lebih cepat (Safitri, 2015; Irawan, 2016; Hidayat *et al.*, 2018). Pergeseran musim dipengaruhi fenomena La Nina yang menyebabkan terjadinya peningkatan curah hujan yang terjadi di tahun tersebut (Safitri, 2015; Nabila *et al.*, 2017). Namun, awal musim hujan yang terjadi di semua wilayah penelitian berbeda. Meskipun memiliki awal musim yang berbeda, panjang musim hujan selama periode La Nina masing-masing wilayah tersebut cenderung sama atau tidak mengalami perubahan yang signifikan dibandingkan dengan normalnya.

Pada tahun 2022 awal musim kemarau dan musim hujan terjadi lebih cepat atau maju dari normalnya. Seiringi dengan fenomena La Nina pada tahun tersebut, suhu permukaan laut di sekitar Indonesia meningkat, sehingga uap air di atmosfer bertambah dan memperkuat aktivitas konvektif. Hal ini menyebabkan curah hujan lebih tinggi dan musim hujan datang lebih awal dari biasanya. Tekanan udara yang rendah dan angin monsun yang kuat ikut mendorong pergeseran musim dan meningkatkan intensitas hujan di berbagai wilayah (Hidayat *et al.*, 2018; Manullang dan Hidayat, 2021; Yuniasih *et al.*, 2022; Nuryadi, 2022) dan durasi musim tetap.

4.4.2 Pergeseran Musim Periode El Nino

Perhitungan kriteria musim pada periode El Nino kemudian dibandingkan dengan musim normal berdasarkan perhitungan BMKG Tahun 2022. Perhitungan musim periode La Nina disajikan pada Lampiran 6. Perhitungan curah hujan penentuan musim pada tahun 2023 berdasarkan data citra satelit yang digunakan yaitu GSMaP.

Perhitungan representasi musim kemarau terhadap normalnya pada periode El Nino disajikan pada **Tabel 4.19**.

Tabel 4.19 Pergeseran Musim Kemarau Terhadap Normalnya

	Lokasi Pos Hujan	Stamet	Stamar	Pos Seponti	Stamet
		Supadio	Pontianak	Jaya	Ketapang
Musim Kemarau	No Zom	363	363	363	355
	Normal_AMK (das)	21	21	21	21
	Awal (das)	14	10	14	5
	Rasio	-7	-11	-7	-16
	Keterangan	Lebih Cepat	Lebih Cepat	Lebih Cepat	Lebih Cepat
	Normal Pa_MK (das)	3	3	3	6
	Panjang (das)	15	18	14	24
	Rasio	+12	+15	+11	+18
	Keterangan	Lebih Panjang	Lebih Panjang	Lebih Panjang	Lebih Panjang

Sumber: pengolahan data, 2025

Pengolahan data curah hujan dasarian dari citra satelit pada periode terjadinya El Nino menunjukkan bahwa semua lokasi mengalami awal musim kemarau lebih cepat dibandingkan dengan kondisi normal. El Nino mengubah distribusi suhu permukaan laut yang hangat dan pola sirkulasi atmosfer yang memindahkan pusat pembentukan awan dan hujan berpindah dari Indonesia ke Samudra Pasifik tengah, sehingga terjadi penurunan curah hujan di wilayah Indonesia termasuk wilayah penelitian.

Pada periode El Nino, terjadi pergeseran awal musim kemarau yang lebih cepat terutama pada wilayah Stamet Ketapang dan durasi lebih panjang dibandingkan wilayah lainnya. Hal tersebut karena karakteristik pola curah hujan di wilayah Stamet Ketapang berbeda dengan wilayah lainnya). Stamet Ketapang memiliki pola musonal sedangkan wilayah lainnya pola equatorial (BMKG, 2022) sehingga penerimaan curah hujan diwilayah tersebut ada perbedaan diwilayah lainnya. Sementara Perbandingan musim hujan terhadap normalnya pada periode El Nino disajikan pada **Tabel 4.20**.

Tabel 4.20 Pergeseran Musim Hujan Terhadap Normalnya

	Lokasi Pos Hujan	Stamet Supadio	Stamar Pontianak	Pos Seponti Jaya	Stamet Ketapang
Musim Hujan	No Zom	363	363	363	355
	Normal_AMH (das)	24	24	24	27
	Awal (das)	29	29	28	29
	Rasio	5	5	4	2
	Keterangan	Lebih Lama	Lebih Lama	Lebih Lama	Lebih Lama
	Normal Pa_MH (das)	33	33	33	30
	Panjang (das)	21	17	22	12
	Rasio	-12	-16	-11	-18
	Keterangan	Lebih Pendek	Lebih Pendek	Lebih Pendek	Lebih Pendek

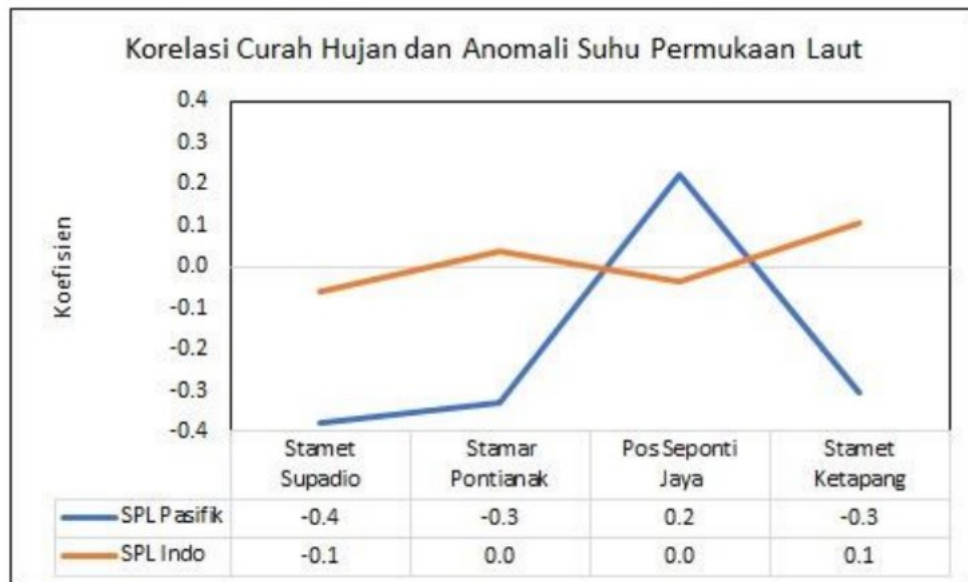
Sumber: pengolahan data, 2025

Pengolahan data curah hujan dasarian dari citra satelit menunjukkan bahwa semua lokasi mengalami awal musim hujan lebih lama dibandingkan dengan kondisi normal yang diakibatkan dari pengaruh periode El Nino. Awal musim hujan yang terjadi di setiap wilayah menunjukkan perbedaan waktu. Perbedaan tersebut turut memengaruhi panjang musim hujan pada periode tersebut, di mana musim hujan cenderung lebih pendek dibandingkan dengan kondisi normal. Periode El Nino berdampak terhadap mundurnya awal musim hujan dan mempersingkat durasi terjadi hujan di tahun 2023. Pada tahun 2023 terjadi fenomena El Nino, suhu permukaan laut di sekitar Indonesia menurun, kelembapan atmosfer berkurang, dan pusat pembentukan awan hujan bergeser ke timur Pasifik (Iskandar *et al.*, 2019; Gushchina *et al.*, 2020). Akibatnya, musim hujan datang lebih lambat dari biasanya dan berlangsung lebih singkat, karena proses pembentukan hujan tidak seaktif kondisi normal atau La Nina (Kain *et al.*, 2018; Manullang dan Hidayat, 2021).

4.4.3 Korelasi Curah Hujan dan Anomali Suhu Permukaan Laut

Sejauh mana pengaruh anomali suhu permukaan laut di Samudra Pasifik dan perairan sekitar Provinsi Kalimantan Barat terhadap curah hujan di wilayah Provinsi Kalimantan Barat, dilakukan perhitungan koefisien korelasi berdasarkan data curah hujan bulanan. Melalui analisis ini, dapat diketahui sejauh mana interaksi antara suhu permukaan laut dan curah hujan di wilayah Provinsi Kalimantan Barat,

serta bagaimana hubungan keduanya dalam menjelaskan variabilitas iklim regional. Koefisien korelasi antara curah hujan dan anomali suhu permukaan laut disajikan di **Gambar 4.15**



Gambar 4.15 Koefisien Korelasi antara Curah Hujan dan Anomali Suhu Permukaan laut

Sumber: pengolahan data, 2025

Berdasarkan Gambar 4.15 menunjukkan korelasi negatif terjadi pada anomali suhu permukaan laut Samudra Pasifik dengan curah hujan di Stamet Supadio, Stamar Pontianak dan Stamet Ketapang, sementara pos hujan Seponti Jaya berkorelasi positif. Sedangkan curah hujan di Stamar Pontianak, pos hujan Seponti Jaya dan Stamet Ketapang berkorelasi positif terhadap anomali suhu Indonesia, namun curah hujan di Stamet Supadio berkorelasi negatif.

Curah hujan di wilayah pos hujan Seponti Jaya menunjukkan bahwa baik suhu permukaan laut di Samudra Pasifik maupun di perairan Provinsi Kalimantan Barat mengalami penghangatan disertai peningkatan curah hujan. Sebaliknya, penurunan suhu permukaan laut biasanya menyebabkan penurunan curah hujan karena berkurangnya penguapan dan uap air di atmosfer. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kombinasi efek pemanasan global, dinamika transisi ENSO, serta pengaruh variabilitas iklim regional yang menyebabkan perairan tersebut tetap hangat secara temporer (Bai *et al.*, 2024).

Terjadinya peningkatan suhu permukaan laut di wilayah Samudra Pasifik dan perairan Provinsi Kalimantan Barat berkaitan dengan penurunan curah hujan di wilayah Stamet Supadio. Hal ini sejalan dengan karakteristik fenomena El Nino yang menyebabkan pergeseran pusat konveksi ke timur dan melemahnya pembentukan awan di wilayah Stamet Supadio

Sedangkan di wilayah sekitar Stamar Pontianak dan Stamet Ketapang mengalami penurunan curah hujan apabila terjadi peningkatan suhu permukaan laut di Samudra Pasifik, namun terjadi peningkatan curah hujan apabila suhu permukaan laut di perairan Provinsi Kalimantan Barat meningkat. Hal tersebut bisa terjadi karena pasokan uap air yang lebih besar dan penguatan konveksi lokal (Wu *et al.*, 2008; Xie *et al.*, 2009).

Variasi anomali suhu permukaan laut di Samudra Pasifik, dan di perairan Provinsi Kalimantan Barat berdampak terhadap variabilitas musim, terjadinya pergeseran dan panjang musim kemarau dan musim hujan yang dibuktikan pada **Tabel 4.17** hingga **Tabel 4.20**.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil kajian dinamika pola curah hujan dan suhu permukaan laut terhadap variabilitas musim berbasis citra penginderaan jauh skala regional di Provinsi Kalimantan Barat menghasilkan beberapa kesimpulan berdasarkan analisis dan pengolahan data pada penelitian ini. Berikut yang dapat disimpulkan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Analisis citra Aqua MODIS menunjukkan bahwa pada tahun 2022, fenomena La Nina teridentifikasi dengan akurasi 75% dan presisi sempurna sebesar 1 yang menunjukkan performa klasifikasi yang sangat baik. Sementara pada tahun 2023, teridentifikasi fenomena El Nino yang menunjukkan akurasi 66.7 %, dengan presisi 0.78 recall 0.88, dan F1-score 0,82, yang mengindikasikan sensitivitas dan ketepatan identifikasi La Nina dari citra Aqua MODIS tinggi.
2. Citra GSMaP merepresentasi pola curah hujan tahun 2022 dan 2023 dengan akurasi sebesar 71.4%. Pada tahun 2022 menunjukkan representasi citra GSMaP berhasil mengidentifikasi pola curah hujan Equatorial 2 (E 2) dan Monsunal 1 (M 1) dengan kejadian F1-score masing-masing sebesar 0.80 dan 0.83. Sedangkan pada tahun 2023 citra GSMaP tingkat klasifikasi pola curah hujan dengan kinerja terbaik pada pola curah hujan Equatorial 2 (E 2) yang berhasil mengidentifikasi kejadian dengan F1-score sebesar 1.
3. Pada tahun 2022 dan tahun 2023 menunjukkan hubungan data curah hujan citra GSMaP dan data observasi dalam kategori sedang hingga tinggi. Citra GSMaP memiliki sensitivitas tinggi dalam merepresentasikan pola curah hujan pada periode El Nino maupun La Nina. Citra GSMaP sulit merepresentasikan curah hujan secara konsisten akibat curah hujan yang tinggi pada periode La Nina di tahun 2022. Sebaliknya, pada tahun 2023 yang merupakan periode El Nino, kondisi curah hujan yang relatif stabil

memungkinkan citra GSMaP merepresentasikan curah hujan dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi.

4. Pada tahun 2022 representasi awal musim kemarau dan awal musim hujan cenderung lebih cepat dari normalnya dengan panjang durasi yang sama dengan normalnya. Sementara pada tahun 2023 awal musim kemarau terjadi dengan durasi lebih panjang dan musim hujan lebih pendek. Anomali suhu permukaan laut di Samudra Pasifik dan di perairan sekitar Provinsi Kalimantan Barat terbukti berpengaruh signifikan terhadap pola curah hujan, yang menyebabkan perbedaan awal musim kemarau dan musim hujan di setiap wilayah di Provinsi Kalimantan Barat. Hal ini mengindikasikan bahwa fluktuasi suhu di kedua perairan tersebut berperan penting dalam menentukan kapan musim kemarau atau musim hujan dimulai di area yang berbeda-beda di provinsi ini.

5.2 Saran

Pada penelitian ini kajian dinamika pola curah hujan dan suhu permukaan laut terhadap variabilitas musim berbasis citra penginderaan jauh masih menghasilkan interpretasi dan representasi nilai dibawah 85%. Beberapa saran yang dapat menjadi masukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini masih banyak yang belum diperhitungkan secara spesifik yaitu nilai koefisien dari algoritma suhu permukaan laut yang belum menyesuaikan pada lokasi penelitian dan durasi waktu yang kurang panjang. Sebaiknya dalam penelitian selanjutnya menggunakan koefisien sesuai lokasi penelitian, bukan secara umum dari koefisien citra tersebut dan menggunakan data minimal selama 5 tahun.
2. Melakukan analisis serupa dengan menggunakan citra satelit yang sesuai dengan pola curah hujan terbaru, serta membandingkannya dengan citra lain selain GSMaP. Tujuan dari langkah ini adalah untuk mengevaluasi apakah terdapat citra satelit alternatif yang lebih sesuai atau setara dalam menginterpretasikan pola curah hujan di wilayah penelitian.

3. Menambahkan menggunakan periode ENSO di tahun lain pada validasi curah hujan. Sehingga dapat dilihat keakuratan citra GSMaP merepresentasikan curah hujan pada periode ENSO.
4. Melakukan perhitungan rata-rata secara klimatologis (± 30 tahun) khusus periode ENSO untuk mengetahui representasi musim kemarau dan musim hujan pada periode ENSO. Sehingga representasi awal musim kemarau dan musim hujan tidak menyimpang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahrens, C. D. (2024). *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment (14th ed.)*. Cengage Learning.
- Aldrian, E., & Susanto, R. D. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23(12), 1435–1452. <https://doi.org/10.1002/joc.950>.
- Aldrian, E. (2014). *Pemahaman dinamika iklim di negara Kepulauan Indonesia sebagai modalitas ketahanan bangsa*. Jakarta: Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. hlm. III, 56–7. ISBN 978-979-3733-45-6.
- Alexander, I., Khairani, M., Dharmawati. (2024). Penerapan Metode Interpolasi Linear dan Geometric Mean Filter Pada Citra Resolusi Rendah Hasil Resampling. *Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi*, 3(1), 72–86. <https://doi.org/10.70340/jirsi.v3i1.111>.
- Anders, A. M., & Nesbitt, S. W. (2015). Altitudinal precipitation gradients in the tropics from Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Precipitation Radar. *Journal of Hydrometeorology*, 16(1), 441–448. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0178.1>.
- Anggreni, R., Muliadi, & Adriat, R. (2018). Analisis Pengaruh Tutupan Awan Terhadap Radiasi Matahari di Kota Pontianak. *Prisma Fisika*, 6(3), 214–219. <https://doi.org/10.26418/pf.v6i3.28896>.
- Arafah, F., Sukojo, B. M., & Jaelani, L. M. (2024). Modifikasi Algoritma AVHRR untuk Estimasi Suhu Permukaan Laut (SPL) Citra Satelit Terra MODIS. *GEOID*, 7(1), 58–64. <http://dx.doi.org/10.12962%2Fj24423998.v7i1.4221>.
- Ariska, M., Darmawan, A., Akhsan, H., Supari, Irfan, M., & Iskandar, I. (2023). Pemodelan Numerik Hubungan Pola Curah Hujan Wilayah Equatorial di Pulau Sumatera Terhadap Fenomena ENSO dan IOD. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 11(2). <https://doi.org/10.23960/jtaf.v11i2.319>.
- Arshad, M., Ma, X., Yin, J., Ullah, W., Ali, G., Ullah, S., Liu, M., Shahzaman, M., & Ullah, I. (2021). Evaluation of GPM-IMERG and TRMM-3B42 precipitation products over Pakistan. *Atmospheric Research*, 249, 105341. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105341>.
- Ashouri, H., Hsu, K.-L., Sorooshian, S., Braithwaite, D. K., Knutson, T. R., & Lakshmi, V. (2014). PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(1), 69–84. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00068.1>.

- Bai, L., Shi, C., Li, L., Yang, Y., & Wu, J. (2018). Accuracy of CHIRPS Satellite-Rainfall Products over Mainland China. *J. Remote Sens*, 10(3),362. <https://doi.org/10.3390/rs10030362>.
- Bai, W., Liu, H., Lin, P., & Shen, H. (2024). The simulation of the Indo-Pacific Warm Pool SST warming trend in CMIP5 and CMIP6. *Geoscience Letters*, 11(1), Article 6. <https://doi.org/10.1186/s40562-024-00346-6>.
- Bayable, G., Amare, G., Gashaw, T., & et al. (2021). Spatiotemporal variability and trends of rainfall and its association with Pacific Ocean sea surface temperature in West Harerge Zone, Eastern Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.1186/s40068-020-00216-y>.
- BMKG. (2018). *Buku Saku Masyarakat Indonesia Sadar Iklim dan Cuaca*. Jakarta: Pusat Meteorologi Publik.
- BMKG. (2022). *Pemutakhiran Zona Musim Indonesia Periode 1991-2020*. Jakarta: Pusat Informasi Perubahan Iklim.
- Bergemann, M., Jakob, C., & Lane, T. P. (2015). Global detection and analysis of coastline-associated rainfall using an objective pattern-recognition technique. *Journal of Climate*, 28(18), 7225–7236. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0098.1>.
- Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893–903. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>.
- Chen, M., Kumar, A., Xue, Y., & Jha, B. (2024). Evaluation of ENSO phase transition and its global climate impacts during 2022–2023. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 24(3), 1451–1470. <https://doi.org/10.5194/acp-24-1451-2024>.
- Chua, Zhi-W, Kuleshov, Y., Watkins, A.B., Choy, S., & Chayn, S. (2022). A Two-Step Approach to Blending GSMaP Satellite Rainfall Estimates with Gauge Observations over Australia. *Remote Sens*, 14, 1903. <https://doi.org/10.3390/rs14081903>.
- Congalton, R. G., & Green, K. (2008). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices (2nd ed)*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- De Oliveira Júnior, L., Relvas, P., & Garel, E. (2024). Upwelling processes variability and water circulation along the northern margin of the Gulf of Cadiz. *Continental Shelf Research*, 281, 105310. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2024.105310>.
- Derin, Y., Anagnostou, E., Berne, A., Borga, M., Boudevillain, B., Buytaert, W., Chang, C., Chen, H., Delrieu, G., Hsu, Y.C., Lavado-casimiro, W., Manz, B., Moges, S., Nikolopoulos, E.I., Sahlu, D., Salerno, F., Rodriguez-

- Sanchez, J., Vergara, H.J., & Yilmaz, K.K. (2019). Evaluation of GPM-era global satellite precipitation products over multiple complex terrain regions. *Remote Sensing*, 11(24). <https://doi.org/10.3390/rs11242936>.
- Dewi, B. P., & Amri, S. (2022). Pengaruh Cross-Equatorial Northerly Surge terhadap Kejadian Banjir di Jakarta (Studi Kasus 31 Desember 2019 - 1 Januari 2020). *Jiif (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika)*, 6(1), 41-52. <https://doi.org/10.24198/jiif.v6i1.37914>.
- Fang, J., W. T. Yang, Y. B. Luan, J. Du, A. W. Lin, and L. Zhao, 2019. Evaluation of the TRMM 3B42 and GPM IMERG products for extreme precipitation analysis over China. *Atmos. Res.*, 223, 24–38. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.03.001>.
- Fathony, A., Somantri, L; & Sugito, N.T. Analisis Potensi Kekeringan Pertanian di Kabupaten Kanalung. *Jurnal Geografi*, 19(1), 29-37. <https://doi.org/10.15294/jg.v19i1.33724>.
- Gawlikowski, J., Ebel, P., Schmitt, M., & Zhu, X. X. (2022). Explaining the effects of clouds on remote sensing scene classification. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, PP (99), 1–12. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2022.3221788>.
- Gushchina, D., Zolina, O., & Ermolova, A. (2020). ENSO Impact on Surface Humidity in East Asia and the Maritime Continent. *Atmosphere*, 11(12), 1354. <https://doi.org/10.3390/atmos11121354>.
- Hamuna, B., Paulangan, Y. P., & Dimara, L. (2015). Kajian suhu permukaan laut menggunakan data satelit Aqua-MODIS di perairan Jayapura, Papua. *Depik Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 4(3), 160-167. <https://doi.org/10.13170/depik.4.3.3055>.
- Hapsari, K. A., Biagioni, S., Jennerjahn, T. C., Saad, A., Sabiham, S., Corre, M. D., Veldkamp, E., & Behling, H. (2021). Late Holocene ENSO-related fire impact on vegetation, nutrient status and carbon accumulation of peatlands in Jambi, Sumatra, Indonesia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 295, 104482. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2021.104482>.
- Harliyanti, M. N., Rachman, A., & Fitriani, R. (2022). Pemetaan Suhu Permukaan Laut Menggunakan Data MODIS (Terra) di Selat Madura. *GEOID*, 19(1), 43–50. <https://doi.org/10.12962/j20882094.v19i1.11268>.
- He, J., & Zhu, Z. (2015). The relation of South China Sea monsoon onset with the subsequent rainfall over the subtropical East Asia. *International Journal of Climatology*, 35(15), 4547–4556. <https://doi.org/10.1002/joc.4305>.
- Hermawan, Y., Jaya, I. and Kosasih, B.A.E.P. (2021). *Flood Risk Assessment for Ambon City*. 7th International Seminar of HATHI, 1–12.
- Hidayat, R., Juniarti, M.D., & Ma'Rufah, U. (2018). Impact of la Nina and la Nina Modoki on Indonesia rainfall variability. *IOP Conference Series: Earth and*

- Environmental Science*, 149(1), 0–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/149/1/012046>.
- Hossin, M., & Sulaiman, M. N. (2015). A review on evaluation metrics for machine learning classification. *International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process (IJDKP)*, 5(4), 1-13. <https://doi.org/10.5121/ijdkp.2015.5201>.
- Hou, A. Y., Kakar, R. K., Neeck, S., Azarbarzin, A. A., Kummerow, C. D., Kojima, M., & Zhang, P. (2014). The Global Precipitation Measurement (GPM) Mission. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(5), 701-722. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00164.1>.
- Houze, R. A. Jr. (2012). Orographic effects on precipitating clouds. *Reviews of Geophysics*, 50(1), RG1001. <https://doi.org/10.1029/2011RG000365>.
- Hu, J., Wang, W., & Tan, Y. (2021). Contrasting Impacts of Three Types of ENSO Event on Boreal Autumn Rainfall over Southwest China. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 9(10). <https://doi.org/10.4236/gep.2021.910002>.
- Irawan, B. (2016). Fenomena Anomali Iklim El Nino dan La Nina: Kecenderungan Jangka Panjang dan Pengaruhnya terhadap Produksi Pangan. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 24(1), 28. <https://doi.org/10.21082/fae.v24n1.2006.28-45>.
- Iskandar, I., Lestrai, D. O., & Nur, M. (2019). Impact of El Nino and El Nino Modoki Events on Indonesian Rainfall. *Makara Journal of Science*, 23(4), 217–222. <https://doi.org/10.7454/mss.v23i4.11517>.
- Jamili, S., Sudiarta, I. W., & Angraini, L. M. (2018). Analisis Anomali Suhu Permukaan Laut dan Pengaruh Fenomena El Nino dan La Nina Terhadap Perubahan Nilai Anomali Suhu Permukaan Laut di Perairan Nusa Tenggara Barat Tahun 2008 - 2017. *Indonesian Physical Review*, 1(1), 17. <https://doi.org/10.29303/ipr.v1i1.14>.
- Justice, C. O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J. T., Roy, D., ... & Kaufman, Y. (2002). The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 244–262. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00076-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00076-7).
- Jensen, J. R. (2000). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective (3rd ed.)*. Pearson.
- Jensen, J. R. (2005). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective (3rd ed.)*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Jensen, J. R. (2015). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective (3rd ed.)*. Pearson.

- Jia, C., & Minnett, P. J. (2023). Ocean warm skin signals observed by Saildrone at high latitudes. *Geophysical Research Letters*, 50, e2022GL102384. <https://doi.org/10.1029/2022GL102384>.
- Kain, M. M., Wahid, A., & Geru, A. S. (2018). Analisis pengaruh El Nino terhadap hujan di NTT. *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, 3(2), 42–47. <https://doi.org/10.35508/fisa.v3i2.621>.
- Kapos, V., Rhind, J., Edwards, M., Price, M. F., & Ravilious, C. (2000). Developing a map of the world's mountain forests. In M. F. Price & N. Butt (Eds.), *Forests in sustainable mountain development: A state of knowledge report for 2000* (pp. 4–19). CAB International. <https://doi.org/10.1079/9780851994468.0004>.
- Kidd, C., & Levizzani, V. (2011). Status of satellite precipitation retrievals. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 1109–1116. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1109-2011>.
- Kim, J., & Han, H. (2021). Evaluation of the CMORPH high-resolution precipitation product for hydrological applications over South Korea. *Atmospheric Research*, Volume 258, 105650. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105650>
- Kok, P. H., Wijeratne, S., Akhir, M. F., Pattiaratchi, C., Roseli, N. H., & Ali, F. S. M. (2021). Interconnection between the Southern South China Sea and the Java Sea through the Karimata Strait. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(10), 1040. <https://doi.org/10.3390/jmse9101040>.
- Korner, C., Paulsen, J., & Spehn, E. M. (2011). A definition of mountains and their bioclimatic belts for global comparisons of biodiversity data. *Alpine Botany*, 121(2), 73–78. <https://doi.org/10.1007/s00035-011-0094-4>.
- Kubota, T., Ushio, T., Shige, S., Kida, S., Kachi, M., & Okamoto, K. (2007). Global precipitation map using satellite-borne microwave radiometers by the GSMaP project: Production and validation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(7), 2259–2275. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.895337>.
- Kubota, T., Aonashi, K., Ushio, T., Shige, S., Takayabu, Y. N., Kachi, M., Arai, Y., Tashima, T., Masaki, T., Kawamoto, N., & Okamoto, K. (2020). Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) products in the GPM era. In T. Yamagata & W. Behera (Eds.), *Advances in global change research* (Vol. 67). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24568-0_3.
- Kubota, T.; Aonashi, K.; Ushio, T.; Shige, S.; Yamaji, M.; Yamamoto, M.; Hirose, H.; Takayabu, Y. A new version of Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) product released in December 2021. (2022). *In Proceedings of the EGU General Assembly 2022*, Vienna, Austria, 23–27 May 2022. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-3328>.

- Kumaat, J. C., Rampengan, M. M. F., & Kandoli, S. T. B. (2018). Geographic Information System for Tuna Fishing Areas in Bitung waters. *Jurnal Ilmiah Platax*, 6(2), 147- 157. <https://doi.org/10.35800/jip.6.2.2018.21434>.
- L'Heureux, M. L., Takahashi, K., Watkins, A. B., Barnston, A. G., Becker, E. J., DiLiberto, T. E., ... & Tippet, M. K. (2017). Observing and predicting the 2015–16 El Nino. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(7), 1363–1382. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0009.1>.
- Laviola, P., L'Ecuyer, T., & Smith, E. A. (2019). Detecting cloud contamination in passive microwave satellite observations. *Atmospheric Measurement Techniques*, 12, 1531–1546. <https://doi.org/10.5194/amt-12-1531-2019>.
- Li, Y., Gupta, A. Sen, Taschetto, A. S., Jourdain, N. C., Di Luca, A., Done, J. M. & Luo, J. J. (2020). Assessing the Role of the Ocean–Atmosphere Coupling Frequency in the Western Maritime Continent Rainfall. *Climate Dynamics*, Vol. 54, no. 11–12, pp 4935–4952. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05266-7>.
- Liang, S. (2003). *Quantitative remote sensing of land surfaces*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation (7th ed.)*. John Wiley & Sons.
- Lin, J.-Y., Tang, M.-C., & Wijaya, F. (2022). Satellite oceanographic data processing and analysis: Correlation between Nino 3.4 sea surface temperature & sea surface high and wind. *Indonesian Journal of Environmental Science*, 2(2). <https://doi.org/10.52562/injoes.v2i2.428>.
- Lutgens, F. K., & Tarbuck, E. J. (2016). *The Atmosphere: An Introduction to Meteorology (13th ed.)*. Pearson Education.
- Luo, J., Sasaki, W., Behera, S. K., Masumoto, Y., Yamagata, T., & Nakamura, H. (2016). Current status of intraseasonal–seasonal-to-interannual prediction of the Indo-Pacific climate. In S. K. Behera & T. Tamagata (Eds.), *Indo-Pacific climate variability and predictability* (pp. 63–107). *World Scientific*. https://doi.org/10.1142/9789814696623_0003.
- Lv, X., Guo, H., Tian, Y., Meng, X., Bao, A., & De Maeyer, P. (2024). Evaluation of GSMaP Version 8 Precipitation Products on an Hourly Timescale over Mainland China. *Remote Sensing*, 16(1), 210. <https://doi.org/10.3390/rs16010210>.
- Manullang, J. J., & Hidayat, R. (2021). Pengaruh ENSO terhadap variabilitas onset musim hujan di Indonesia. Skripsi sarjana, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Diakses dari IPB Repository, <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/107445>.
- McKnight, T. L., & Hess, D. (2010). *Physical Geography: A Landscape Appreciation (10th ed.)*. Prentice Hall.

- Melly, A., Suhadi, D. K. H. (2019) Empirical Orthogonal Function (EOF) Analysis Based on Google Colab on Sea Surface Temperature (SST) Dataset in Indonesian Waters. *Indonesian Physical Review*, 2(3): 1–8. <https://doi.org/10.29303/ipr.v6i1.187>.
- Mehnert, P., Malchaire, J., Kampmann, B., Piette, A., Griefahn, B., & Gebhardt, H. (2000). Prediction of the average skin temperature in warm and hot environments. *European Journal of Applied Physiology*, 82, 52–60. <https://doi.org/10.1007/s004210050651>.
- Meybeck, M., Green, P., & Vörösmarty, C. (2001). A new typology for mountains and other relief classes: An application to global continental water resources and population distribution. *Mountain Research and Development*, 21(1), 34–45. [https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2001\)021\[0034:ANTFMA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2001)021[0034:ANTFMA]2.0.CO;2).
- Milewski, A., Elkadiri, R., & Durham, M. (2015). Assessment and Comparison of TMPA Satellite Precipitation Products in Varying Climatic and Topographic Regimes in Morocco. *J Remote Sens*, 7(5), 5697–5717. <https://doi.org/10.3390/rs70505697>.
- MODIS Atmosphere Science Team. (n.d.). MODIS Atmosphere Level 3 Gridded Product Algorithm Theoretical Basis Document (MOD30 ATBD). *NASA Goddard Space Flight Center*. Retrieved from <https://modis-atmos.gsfc.nasa.gov>.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 887-900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>.
- Nabilah, F., Prasetyo, Y., & Sukmono, A. (2017). Analisis Pengaruh Fenomena El Nino dan La Nina Terhadap Curah Hujan Tahun 1998 - 2016 Menggunakan Indikator ONI (Oceanic Nino Index) (Studi Kasus: Provinsi Jawa Barat). *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4), 402-412. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2017.18170>.
- NASA. (2024). *MODIS Specifications*. *MODIS Website – NASA Goddard Space Flight Center*. <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>.
- Nguyen, H.T.T., Nguyen, M.Q., & La, H.P. (2019). Comparison of the resampling methods for gridded dem downscaling. *Journal of Mining and Earth Sciences*, 60 (3), 64 -82. <https://doi:10.29227/IM-2019-02-78>.
- Nicolas, Q. and Boos, W. R. (2025). Sensitivity of tropical orographic precipitation to wind speed with implications for future projections. *Weather Clim. Dynam*, 6, 231–244. <https://doi.org/10.5194/wcd-6-231-2025>.

- Nicholson, S. E., & Klotter, D. (2021). Assessing the reliability of satellite and reanalysis estimates of rainfall in Equatorial Africa. *Remote Sensing*, 13(18), 3609. <https://doi.org/10.3390/rs13183609>.
- Ningsih, N. S., Rachman, A., Hadi, S., & Hanifah, F. (2019). Dinamika seas dan swell dari Laut China Selatan ke Teluk Jakarta: Studi kasus kejadian Badai Hagibis, November 2007. *Jurnal Teknik Sipil*, 26(1), 59–66. <https://doi.org/10.5614/jts.2019.26.1.8>.
- NOAA National Centers for Environmental Information. (n.d.). *El Nino and La Nina - Sea Surface Temperature. National Oceanic and Atmospheric Administration*. Retrieved July 2025, from <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/ENSO/sst>.
- Nugraha Isnoor, K. F., Firdianto, P. P., & Susilawati, A. (2019). Studi tentang Fenomena Borneo Vortex terhadap Variabilitas Awan di Kalimantan Barat (Studi Kasus Tanggal 11-13 Januari 2018). *Jurnal Fisika Atmosfer*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.24198/jiif.v2i2.19727>.
- Nurdiati, S., Sopaheluwakan, A., & Septiawan, P. (2021). Spatial and temporal analysis of El Nino impact on land and forest fire in Kalimantan and Sumatra. *Agromet*, 35(1), 1–10. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.35.1.1-10>.
- Nuryadi. (2022). Variabilitas musim hujan terkait suhu muka laut Samudera Pasifik (wilayah Nino 3.4) di zona musim Nusa Tenggara Barat. *The Climate of Tropical Indonesia Maritime Continent Journal*, 1(1), 19–28.
- Palharini, R., Vila, D., Rodrigues, D., Palharini, R., Mattos, E., & Undurraga, E. (2022). Analysis of Extreme Rainfall and Natural Disasters Events Using Satellite Precipitation Products in Different Regions of Brazil. *Atmosphere*, 13(10), 1680. <https://doi.org/10.3390/atmos13101680>.
- Pemerintah Provinsi Kalimantan Barat. (n.d.). *Profil daerah. PPID Provinsi Kalimantan Barat*. <https://ppid.kalbarprov.go.id/profil/profildaerah/#:~:text=Wilayah%20dara tan%20diapit%20oleh%20Pegunungan,persen%20atau%20cenderung%20sangat%20curam>.
- Pisano, A., Nardelli, B.B., Tronconi, C., Santoleri, R. (2016). The new Mediterranean optimally interpolated pathfinder AVHRR SST Dataset (1982–2012). *Remote Sensing of Environment*, 176, 107–116. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2016.01.019>.
- Powers, D. M. W. (2011). Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation. *Journal of Machine Learning Technologies*, 2(1), 37–63. <https://doi.org/10.9735/2229-3981>.

- Prasetyo, B., Pusparini, N. (2019). Respon Curah Hujan Sulawesi Terhadap El Nino Modoki. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 20(1), 21-29. <https://doi.org/10.31172/jmg.v20i1.517>.
- Pribadi, Y.H. (2012). *Variabilitas Curah Hujan dan Pergeseran Musim di Wilayah Banten Sehubungan Dengan Variasi Suhu Muka Laut Perairan Indonesia, Samudra Pasifik dan Samudra Hindia*. Tesis: Universitas Indonesia.
- Putra, M., Rosid, M. S., & Handoko, D. (2024). A review of rainfall estimation in Indonesia: Data sources, techniques, and methods. *Signals*, 5(3), 542–561. <https://doi.org/10.3390/signals5030030>.
- Quispe, J.M.S. (2018). *Interannual variability of the rainfall regime and strong ENSO events along the Peruvian Pacific Basin: large-scale control mechanisms*. Universite de Toulouse 3 Paul Sabatier, Perancis.
- Rahbek, C., Borregaard, M. K., Antonelli, A., Colwell, R. K., Holt, B. G., Nogues-Bravo, D., ... & Fjelds , J. (2019). Building mountain biodiversity: Geological and evolutionary processes. *Science*, 365(6458), 1114–1119. <https://doi.org/10.1126/science.aax0151>.
- Rakuasa, H., & Latue, P. C. (2023). Analisis spasial daerah rawan banjir di DAS Wae Heru, Kota Ambon. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 10(1), 75–82. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.1.8>.
- Ramadhan, R., Marzuki, M., Yusnaini, H., Muharsyah, R., Tangang, F., Vonnisa, M., & Harmadi, H. (2023). Sebuah pendahuluan Penilaian Produk GSMaP Versi 08 di Benua Maritim Indonesia Terhadap Data Gauge. *Penginderaan jauh*, 15(1115). <https://doi.org/10.3390/rs15041115>.
- Richards, J. A., & Jia, X. (2006). *Remote sensing digital image analysis: An introduction (4th ed.)*. Berlin: Springer.
- Rochmady, R. 2015. Analisis parameter oseanografi melalui pendekatan sistem informasi manajemen berbasis web (Sebaran suhu permukaan laut, klorofil-a dan tinggi permukaan laut). *Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan*, 8(1): 1-7. <https://doi.org/10.29239/j.agrikan.8.1.1-7>.
- Roy, D., & Banu, S. (2021). Comparison of Satellite Derived Rainfall Estimations: CMORPH, IMERG and GSMaP with Observed Precipitation. *American Journal of Climate Change*, 10(04), 407–421. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2021.10402>.
- Ruslana, Z. N., Sulistyowati, S., Umaroh, U., Prihatin, R. S., & Ana, S. E. (2022). Pengaruh CENS-CT terhadap curah hujan ekstrem dan banjir di Kota Semarang (Studi kasus tanggal 5 dan 6 Februari 2021). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 23(2), 63–74. <https://doi.org/10.31172/jmg.v23i2.761>.
- Sadeghi, M., Asanjan, A.A., Faridzad, M., Nguyen, Phu., Hsu, K., Sorooshian, S., & Braithwaite, D. (2019). PERSIANN-CNN: Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks–

- Convolutional Neural Networks. *Journal of Hydrometeorology*, 20(12), 2273-2289. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0110.1>.
- Safitri, S. (2015). El Nino, La Nina dan dampaknya terhadap kehidupan di Indonesia. *Criksetra: Jurnal Pendidikan Sejarah*, 4(2). <https://doi.org/10.36706/jc.v4i2.4786>.
- Saragih, R. W. S. (2020). Analisis Kondisi Atmosfir, Indeks Labilitas, dan Citra Satelit Saat Kejadian Puting Beliung di Pontianak Kalimantan Barat (Studi Kasus 17 Juli 2020). *Jurnal Fisika Unnes*, 10(2), 99–105. <https://doi.org/10.15294/jf.v10i2.26927>.
- Sari, J., Pancariniwati, S. & Pratiwi, A. (2017). Analisis Sebaran Curah Hujan Wilayah Menggunakan Metode SPI dan Hubungannya dengan Indikator Iklim di Provinsi Sumatera Barat. *Seminar Nasional Geomatika*. <https://doi.org/10.24895/SNG.2017.2-0.416>.
- Sathyanarayanan, S., & Tantri, B. R. (2024). Confusion matrix-based performance evaluation metrics. *African Journal of Biomedical Research*, 27(4S), 4023–4031. <https://doi.org/10.53555/AJBR.v27i4S.4345>.
- Sato, T., Miura, H., Satoh, M., Takayabu, Y. N., & Wang, Y. (2009). Diurnal cycle of precipitation in the tropics simulated in a global cloud-resolving model. *Journal of Climate*, 22(18), 4809–4826. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2890.1>.
- Shi, L., Hendon, H.H., Alves, O., Luo, J.J., Balmaseda, M., & Anderson, D. (2012). How Predictable is the Indian Ocean Dipole?. *Monthly Weather Review*, 140, 3867–3884. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-12-00001.1>.
- Short, E., Vincent, C. L., & Lane, T. P. (2019). Diurnal cycle of surface winds in the Maritime Continent observed through satellite scatterometry. *Monthly Weather Review*, 147(6), 2023–2044. <https://doi.org/10.1175/mwr-d-18-0433.1>.
- Sugiyono. (2016). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, R&D. Kanalong: IKAPI.
- Sunarernanda, D. A., Harto, A. B., & Muslim, M. A. (2017). Analisis perbandingan data citra satelit EOS Aqua/Terra MODIS dan NOAA AVHRR menggunakan parameter suhu permukaan laut. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(1). <https://doi.org/10.14710/jgundip.2017.15385>.
- Syaifullah, M.D. (2015). Analisis Suhu Permukaan Laut Perairan Indonesia dan Hubungan Dengan Pemanasan Global. *Jurnal Segara*, 11(1), 37–47. <https://doi.org/10.15578/segara.v11i2.7356>.
- Takahashi, H.G., J.M.B. Dado. 2018. Relationship Between Sea Surface Temperature and Rainfall in the Philippines During the Asian Summer Monsoon. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 96: 283-290. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2018-031>.

- Tampubolon, A. B., Gustin, O., & Chayati, S. N. (2016). Pemetaan suhu permukaan laut menggunakan citra satelit Aqua MODIS di perairan Provinsi Kepulauan Riau. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11693.08161>.
- Tan, J., Petersen, W. A., Kirchengast, G., Goodrich, D. C., & Wolff, D. B. (2018). Evaluation of Global Precipitation Measurement rainfall estimates against three dense gauge networks. *Journal of Hydrometeorology*, 19, 517–532. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-17-0174.1>.
- Tang, Y., Zhang, R.H., Liu, T., Duan, W., Yang, D., Zheng, F., Ren, H., Lian, T., Gao, C., Chen, D., & Mumu. (2018). Progress in ENSO prediction and predictability study. *National Science Review*, Volume 5, Issue 6, Pages 826–839, <https://doi.org/10.1093/nsr/nwy105>.
- Tang, G., Clark, M.P., Papalexiou, S.M., Ma, Z., & Hong, Y. (2020). Have Satellite Precipitation Products Improved over Last Two Decades? A Comprehensive Comparison of GPM IMERG with Nine Satellite and Reanalysis Datasets. *Remote Sens. Environ.*, 240, 111697. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111697>.
- Tangke, U. (2015). Sebaran Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-A Pengaruhnya Terhadap Hasil Tangkapan Yellowfin Tuna (*Thunnus Albacares*) Di Perairan Laut Halmahera Bagian Selatan. *Jurnal IPTEKS PSP*, Vol.2 (3) April 2015: 248-260. <https://doi.org/10.20956/jipsp.v2i3.78>.
- Tavakol, A., Rahmani, V. and Harrington, J. (2020) Evaluation of hot temperature extremes and heat waves in the Mississippi River Basin. *Atmospheric Research*, Volume 239, 104907. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104907>.
- Tian, Y., Peters-Lidard, C. D., Adler, R. F., Huffman, G. J., & Ushio, T. (2010). Evaluation of GSMaP precipitation estimates over the contiguous United States. *Journal of Hydrometeorology*, 11(2), 566–574. <https://doi.org/10.1175/2009JHM1190.1>.
- Tjasjono, B.H.K. (2019). *555 Tanya Jawab tentang Cuaca, Iklim Lingkungan, dan Bioklimatologi*. Kanalong: PT Remaja Rosdakarya.
- Trismidianto, S., Satiadi, D., Harjupa, W., Fathrio, I., et al. (2024). Southerly Surge Impact on Rainfall Patterns in Southern Indonesia during Winter Monsoon and Madden–Julian Oscillation (MJO). *Atmosphere*, 15(7), 840. <https://doi.org/10.3390/atmos15070840>.
- Wang, B. (2006). *The Asian Monsoon*. Springer Praxis Books.
- Wang, S., dan Sobel, A.H. (2017). Factors Controlling Rain on Small Tropical Islands: Diurnal Cycle, Large-Scale Wind Speed, and Topography. *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol 74 issues 11 pages 3515-3532. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-16-0344.1>.

- Wang, S., Liu, J., Cai, W., Li, C., & Zhang, X. (2025). Strong impact of the rare three-year La Nina event on Antarctic surface climate changes in 2021–2023. *npj Climate and Atmospheric Science*, 8(1), 173. <https://doi.org/10.1038/s41612-025-01066-0>.
- Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric Science: An Introductory Survey* (2nd ed.). Academic Press.
- Wickham, H., & Grolemund, G. (2017). *R for Data Science: Import, Tidy, Transform, Visualize, and Model Data*. O'Reilly Media.
- Wijaya, A. (2015). Dinamika Suhu Permukaan Laut di Perairan Indonesia dari Data Satelit. Ilmu Kelautan Remote Sensing. *Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan V*, Universitas Brawijaya Malang.
- Wu, R., Kirtman, B. P., & Pegion, K. (2008). Local rainfall–SST relationship on subseasonal time scales in satellite observations and CFS. *Geophysical Research Letters*, 35(22), L22706. <https://doi.org/10.1029/2008GL035883>.
- Xie, S.-P., Hu, K.-M., Hafner, J., et al. (2009). Indian Ocean capacitor effect on Indo–western Pacific climate during the summer following El Nino. *Journal of Climate*, 22(4), 730–747. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2544.1>.
- Xia, X., Fu, D., Fei, Y., Shao, W., & Xia, X. (2021). An Improved Assessment Method and Its Application to the Latest IMERG Rainfall Product in Mainland China. *Remote Sensing*, 13(24), 5107. <https://doi.org/10.3390/rs13245107>.
- Yamaji, M., Kubota, T., & Yamamoto, M. K. (2021). An Approach to Reliability Characterization of GSMaP Near-Real-Time Precipitation Product. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 99(3), 675–693. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2021-033>.
- Yokoi, S., Mori, S., Syamsudin, F., Haryoko, U., & Geng, B. (2019). Environmental conditions for nighttime offshore migration of precipitation area as revealed by in situ observation off Sumatra Island. *Monthly Weather Review*, 147(9), 3391–3407. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-18-0412.1>.
- You, Y., Wang, N.-Y., Kubota, T., Aonashi, K., Shige, S., Kachi, M., Kummerow, C., Randel, D., Ferraro, R., Braun, S., & Takayabu, Y. (2020). Comparison of TRMM Microwave Imager rainfall datasets from NASA and JAXA. *Journal of Hydrometeorology*, 21(3), 377–397. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0022.1>.
- Yuniasih, B., Harahap, W. N., & Wardana, D. A. S. (2022). Anomali Iklim El Nino dan La Nina di Indonesia pada 2013–2022. *AGROISTA: Jurnal Agroteknologi*, 6(2). <https://doi.org/10.55180/agi.v6i2.332>.
- Zambrano-Bigiarini, M., Nauditt, A., Birkel, C., Ribbe, L., & Verbist, K. (2017). Temporal and spatial evaluation of satellite rainfall estimates over complex

terrain in Central–South Chile. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(3), 1295–1320. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1295-2017>.

Zeng, Y., Li, M., Li, Y., & Wei, J. (2021). Evaluation of satellite-based rainfall products (GPM, GSMaP, and PERSIANN) over the Tibetan Plateau. *Remote Sensing*, 13(5), 896. <https://doi.org/10.3390/rs13050896>.

Zhu, W. (2022). Statistical parameters for assessing environmental model performance related to sample size: Case study in ocean color remote sensing. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.05743>.

Zuidam, R. A. van. (1985). *Guide to Geomorphologic Survey: For the interpretation of aerial photographs and satellite images*. ITC Publication No. 3. Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).

LAMPIRAN

Lampiran 1. Koordinat Lokasi Sampel Curah Hujan di Provinsi Kalimantan Barat

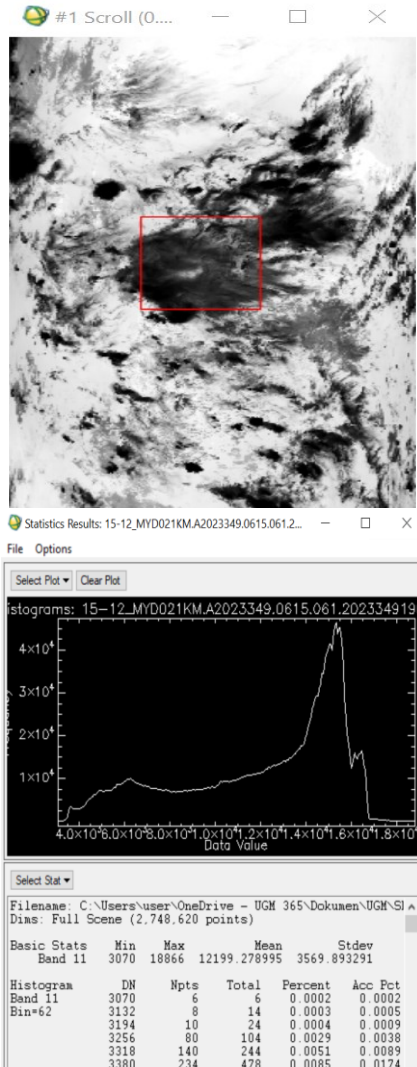
Lokasi Pos Hujan	Koordinat	
	Lintang	Bujur
Stamet Supadio	00° 09' 00.0" LS	109° 24' 00.0" BT
Stamar Pontianak	00° 01' 12.0" LS	109° 20' 24.0" BT
Staklim Kalbar	00° 04' 30.2" LU	109° 11' 24.0" BT
Stamet Sambas	01° 44' 24.0" LU	109° 19' 12.0" BT
Stamet Sintang	00° 02' 33.7" LS	111° 27' 34.8" BT
Stamet Melawi	00° 21' 00.0" LS	111° 45' 00.0" BT
Stamet Putusibau	00° 50' 21.0" LU	112° 56' 03.0" BT
Stamet Ketapang	01° 49' 12.0" LS	109° 57' 36.0" BT
Pos Nanga Mahap	00° 25' 38.5" LU	110° 45' 48.9" BT
Pos Balai Karangan	00° 48' 25.0" LU	110° 24' 51.8" BT
Pos Karangan	00° 34' 37.3" LU	109° 23' 02.1" BT
Pos Singkawang Selatan	00° 52' 43.8" LU	108° 57' 24.7" BT
Pos Seponti Jaya	00° 53' 04.9" LS	109° 53' 36.5" BT
Pos Bengkayang	00° 48' 47.9" LU	109° 28' 51.1" BT

Lampiran 2. Perbandingan nilai suhu permukaan laut level 1B dan level 3 di Samudra Pasifik

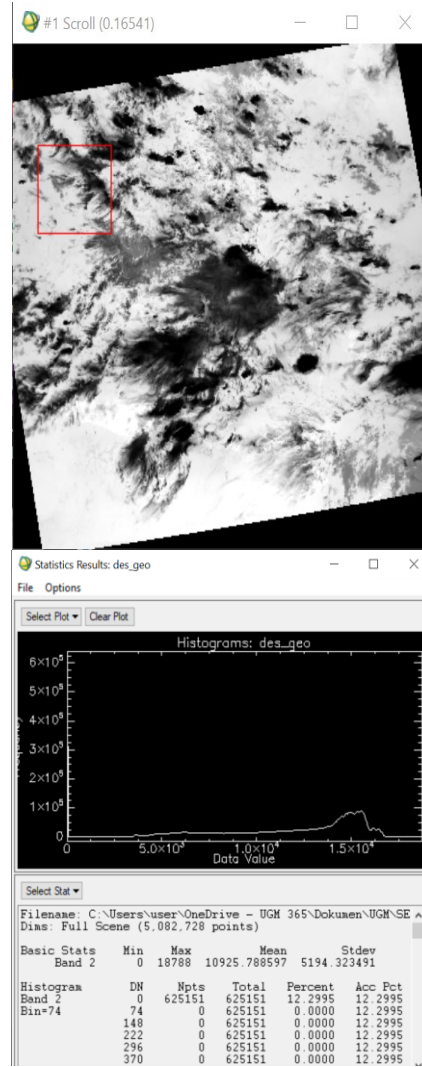
Waktu	Level 1	Level 3
Jan-22	26.5	25.4
Feb-22	26.1	26
Mar-22	27.3	26.1
Apr-22	26.9	26.6
May-22	27.2	26.7
Jun-22	27.3	27
Jul-22	26.9	26.5
Aug-22	26.6	25.9
Sep-22	27.3	25.7
Oct-22	25.7	25.7
Nov-22	27.2	25.7
Dec-22	26.6	25.7
Jan-23	27.4	25.8
Feb-23	27.3	26.3
Mar-23	28.1	27.3
Apr-23	29.4	28.1
May-23	29.0	28.4
Jun-23	28.8	28.6
Jul-23	28.1	28.3
Aug-23	28.0	28.3
Sep-23	29.4	28.3
Oct-23	29.3	28.5
Nov-23	27.3	28.7
Dec-23	28.4	28.6

Sumber: pengolahan data, 2025

Lampiran 3. Citra Aqua MODIS Level 1B di Perairan Provinsi Kalimantan Barat

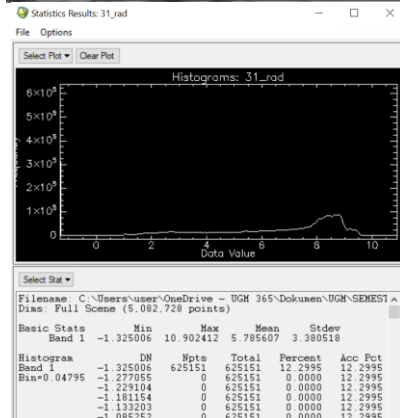
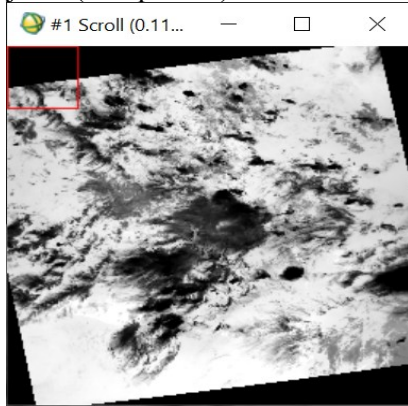


Citra asli

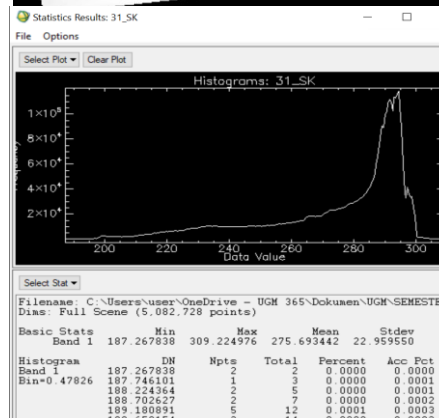
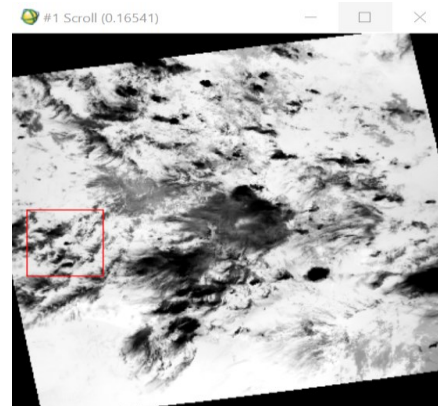


Koreksi Geometrik

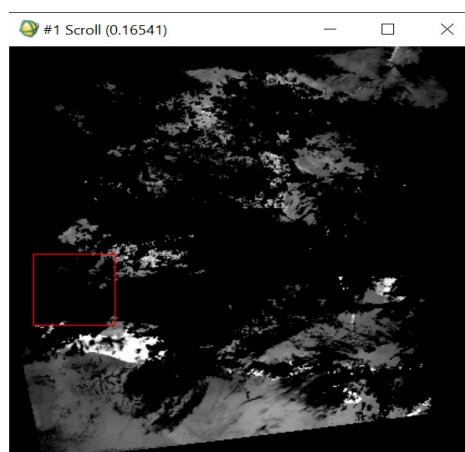
Lanjutan (Lampiran 3)



Koreksi Radiometrik

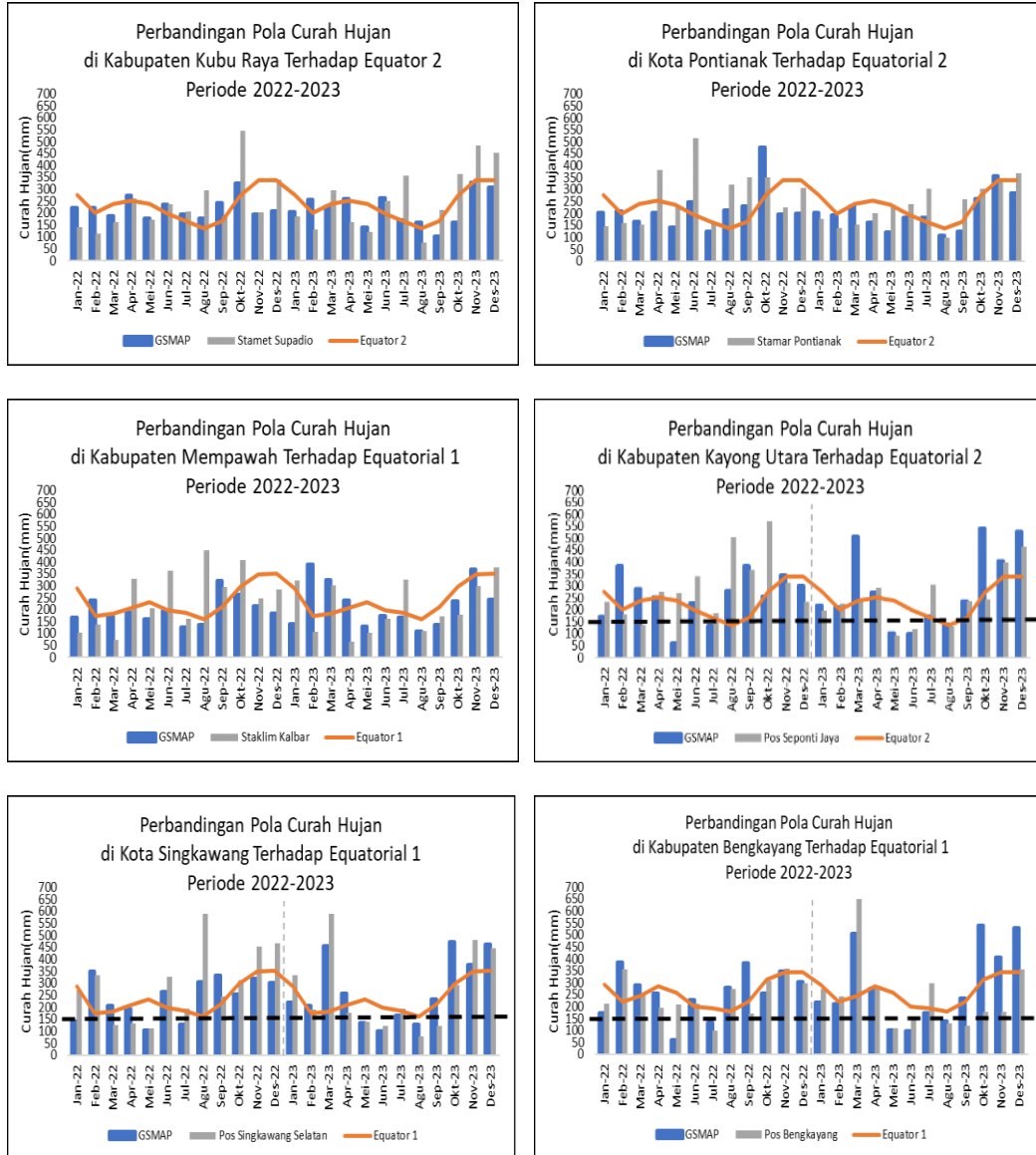


Suhu Kecegaran

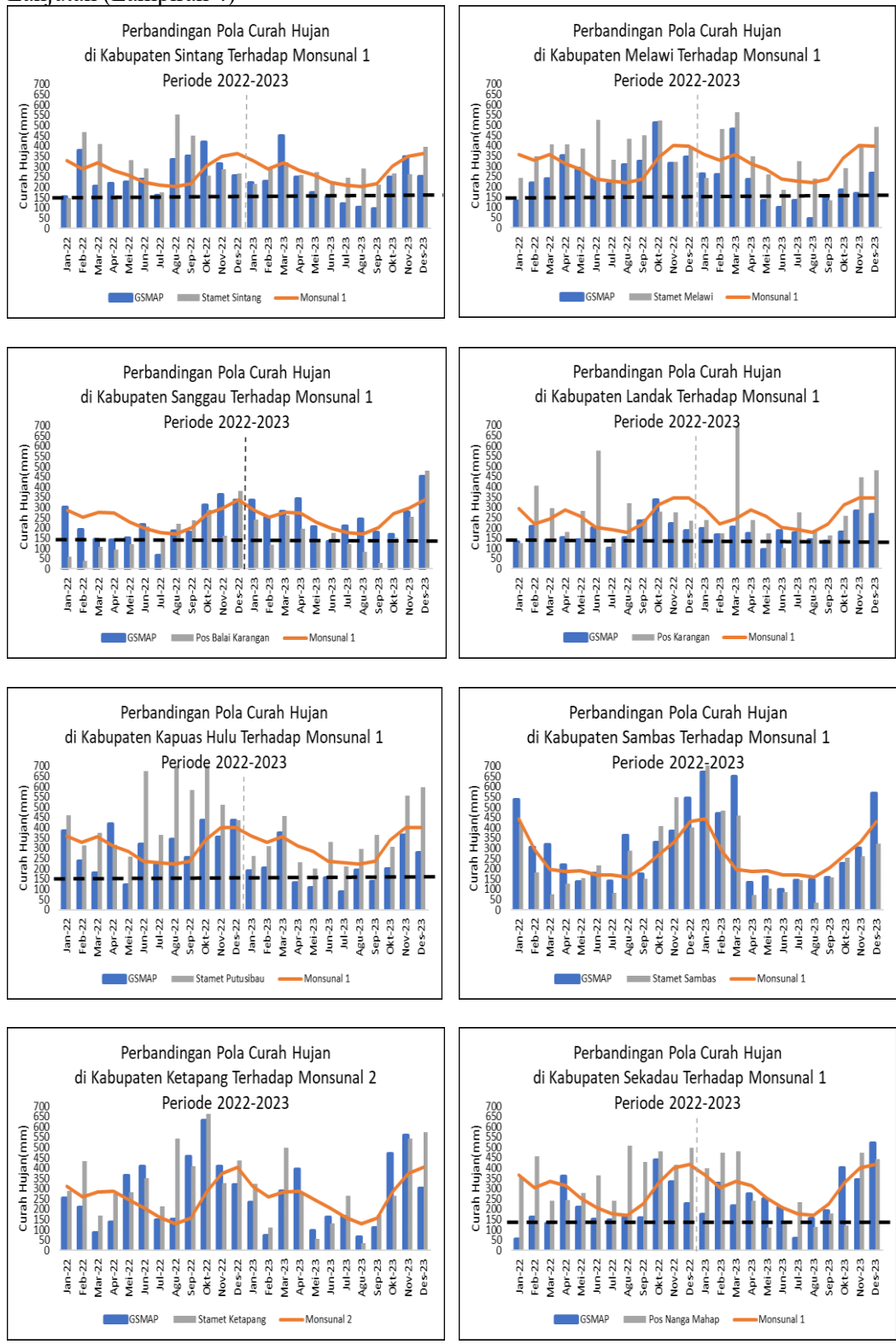


Suhu Permukaan Laut

Lampiran 4. Perbandingan Pola Curah Hujan Terhadap Normalnya



Lanjutan (Lampiran 4)



Lampiran 5. Representasi Musim Kemarau dan Musim Kemarau Tahun 2022 di Provinsi Kalimantan Barat.

		2022			
Pola		Stamet	Stamar	Pos	Stamet
Musim		Supadio	Pontianak	kayong utara	Ketapang
		363	363	363	355
Monsunal_2	AMK	21			6
	AMH	27			12
	Pa_MK	6			6
	Pa_MH	30			30
	Pu_MK	AGS			MAR
	Pu_MH	DES			OKT
Equatorial_2	AMK	21	6	6	18
	AMH	24	8	8	21
	Pa_MK	3	3	3	3
	Pa_MH	33	33	33	33
	Pu_MK	AGS	FEB	FEB	JUL
	Pu_MH	DES	OKT	OKT	SEP

Sumber: pengolahan data, 2025

Lampiran 6. Representasi Musim Kemarau dan Musim Kemarau Tahun 2023 di Provinsi Kalimantan Barat.

		2023			
Pola		Stamet	Stamar	Pos	Stamet
Musim		Supadio	Pontianak	kayong utara	Ketapang
		363	363	363	355
Monsunal_2	AMK 21				5
	AMH 27				29
	Pa_MK 6				24
	Pa_MH 30				12
	Pu_MK AGS				AGS
	Pu_MH DES				NOV
Equatorial_2	AMK 21	14	10	14	
	AMH 24	29	29	28	
	Pa_MK 3	15	19	14	
	Pa_MH 33	21	17	22	
	Pu_MK AGS	JUL	AGS	JUN	
	Pu_MH DES	NOV	NOV	OKT	

Sumber: pengolahan data, 2025