

**ANALISIS PENGARUH INDIAN OCEAN DIPOLE MODE (IODM)
TERHADAP PERUBAHAN IKLIM INDONESIA KHUSUSNYA
WILAYAH BAGIAN BARAT, TENGAH DAN TIMUR INDONESIA**

Tesis

Oleh

**MUHAMAD JUANNA FITRA
NPM 2325011009**



**MAGISTER TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**ANALISIS PENGARUH INDIAN OCEAN DIPOLE MODE (IODM)
TERHADAP PERUBAHAN IKLIM INDONESIA KHUSUSNYA
WILAYAH BAGIAN BARAT, TENGAH DAN TIMUR INDONESIA**

Oleh

MUHAMAD JUANNA FITRA

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
MAGISTER TEKNIK**

Pada

**Program Studi Magister Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**MAGISTER TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH INDIA OCEAN DIPOLE MODE (IODM) TERHADAP PERUBAHAN IKLIM INDONESIA KHUSUSNYA BAGIAN BARAT, TENGAH DAN TIMUR

Oleh

MUHAMAD JUANNA FITRA

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap variabilitas dan perubahan iklim. Salah satu fenomena iklim yang berperan penting dalam memicu penyimpangan curah hujan di Indonesia adalah Indian Ocean Dipole Mode (IODM), yang memengaruhi distribusi curah hujan secara spasial dan temporal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besarnya pengaruh IODM terhadap curah hujan di wilayah Indonesia bagian barat, tengah, dan timur, serta menentukan wilayah yang paling dominan dipengaruhi dan periode perulangan curah hujan akibat fenomena tersebut. Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa curah hujan dari NASA POWER dengan rentang waktu selama 43 tahun (1981–2024). Analisis dilakukan menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) dan Lomb-Scargle Periodogram untuk mengidentifikasi spektrum frekuensi dan periode dominan curah hujan. Pendekatan ini digunakan untuk mendeteksi pola periode yang berkaitan dengan pengaruh IODM pada masing-masing wilayah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh IODM terhadap curah hujan di Indonesia bervariasi secara spasial. Wilayah barat, khususnya Aceh, menunjukkan pengaruh paling kuat dengan dominasi siklus 2,2–3,8 tahun yang terdeteksi di seluruh stasiun pengamatan, serta amplitudo maksimum mencapai 0,70. Wilayah tengah, seperti Kalimantan Tengah, menunjukkan pengaruh yang cukup signifikan namun lebih lemah, sedangkan wilayah timur seperti Maluku menunjukkan pengaruh yang relatif rendah. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pengaruh IODM terhadap curah hujan di Indonesia cenderung melemah dari barat ke timur, dengan dominasi fenomena lain seperti ENSO di wilayah tengah dan timur.

Kata kunci: *Indian Ocean Dipole Mode (IODM), Fast Fourier Transform, Lomb Periodogram, PSD*

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE INDIAN OCEAN DIPOLE MODE (IODM) ON CLIMATE CHANGE IN INDONESIA, ESPECIALLY IN THE WESTERN, CENTRAL AND EASTERN PARTS

By

MUHAMAD JUANNA FITRA

Indonesia is the largest archipelagic country in the world and is highly vulnerable to climate variability and change. One of the key climate phenomena influencing rainfall anomalies in Indonesia is the Indian Ocean Dipole Mode (IODM), which significantly affects the spatial and temporal distribution of precipitation. This study aims to analyze the magnitude of the IODM influence on rainfall across western, central, and eastern Indonesia, as well as to identify the most affected regions and the dominant rainfall periodicity associated with this phenomenon. The data used in this study consist of secondary rainfall data obtained from NASA POWER, covering a 43-year period (1981–2024). The analysis was conducted using the Fast Fourier Transform (FFT) and Lomb-Scargle Periodogram methods to derive the frequency spectrum and identify dominant rainfall periods. These approaches enable the detection of periodic patterns associated with the influence of IODM in each study region.

The results indicate that the influence of IODM on rainfall in Indonesia exhibits clear spatial variability. The western region, particularly Aceh, shows the strongest influence, characterized by dominant rainfall cycles ranging from 2.2 to 3.8 years detected across all observation stations. The maximum amplitude reaches 0.70 at the Cut Nyak Dien station, accompanied by strong spatial coherence. In contrast, the central region, such as Central Kalimantan, shows a moderate but weaker influence, while the eastern region, including Maluku, exhibits a relatively weak IODM impact. In conclusion, the influence of IODM on rainfall in Indonesia tends to decrease from west to east, with other climate phenomena such as ENSO becoming more dominant in the central and eastern regions.

Keywords: *Indian Ocean Dipole Mode (IODM), Fast Fourier Transform, Lomb Periodogram, PSD,*

Judul Tesis

**: ANALISIS PENGARUH INDIAN OCEAN
DIPOLE MODE (IODM) TERHADAP
PERUBAHAN IKLIM INDONESIA
KHUSUSNYA WILAYAH BAGIAN
BARAT, TENGAH DAN TIMUR
INDONESIA**

Nama Mahasiswa

: Muhamad Juanna Fitra

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2325011009

Program Studi

: Magister Teknik Sipil

Fakultas

: Teknik



Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.

Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.

NIP 19670514 199303 1 002

Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.

Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP 19691030 2000031 001

2. Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil

Dr. Ir. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T.

Dr. Ir. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T.

NIP 19741004 200003 2 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.**

Sekretaris

: **Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.**

Penguji

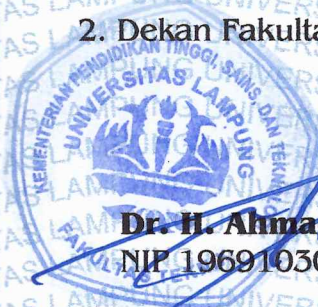
Bukan Pembimbing : **Dr. Yuda Romdania, S.T., M.T.**

Prof. Dr. Ir. Dyah Indriana K., S.T., M.Sc.

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.

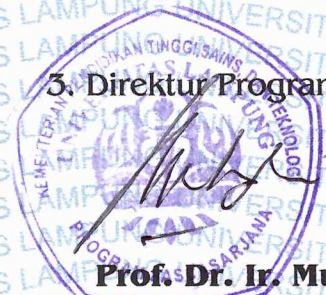
NIP 19691030 200003 1 001



3. Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.

NIP 19640326 198902 1 001



4. Tanggal Lulus Ujian Tesis : 17 April 2026

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul “Analisis pengaruh indian ocean dipole mode (IODM) terhadap perubahan iklim indonesia khususnya wilayah bagian Barat, Tengah dan Timur” adalah karya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, April 2026
Pembuat Pernyataan



Muhamad Juanna Fitra, S.T.
NPM. 2325011009

RIWAYAT HIDUP



Muhamad Juanna Fitra lahir di Bandar Lampung pada tanggal 2 Mei 1990. Ia merupakan anak kedua dari lima bersaudara, buah kasih dari pasangan Bapak Yunior Djaei S.E dan Ibu Ratnawati, S.E. Lingkungan keluarga yang menjunjung tinggi nilai kedisiplinan, tanggung jawab, serta

kerja keras memberikan pengaruh besar dalam membentuk karakter penulis sejak usia dini. Nilai-nilai tersebut menjadi landasan utama dalam perjalanan pendidikan, kehidupan pribadi, serta karier profesional yang dijalani hingga saat ini.

Dalam kehidupan berkeluarga, penulis telah menikah dengan Citra Yunia Utami, A.Md Kep, yang senantiasa menjadi pendamping dan pendukung dalam setiap fase kehidupan. Dari pernikahan tersebut, penulis dikaruniai tiga orang anak, yaitu dua anak laki-laki bernama M. Alvaro Adhinata Diatra dan Walken Adipati Diatra, serta satu anak perempuan bernama Jasmine Aura Diatra. Kehidupan keluarga menjadi motivasi utama penulis dalam mengembangkan diri, baik secara akademik maupun profesional, serta mendorong komitmen untuk terus meningkatkan kompetensi dan integritas dalam bekerja.

Pendidikan formal penulis dimulai dari Sekolah Dasar Negeri 01 Beringin Raya, Bandar Lampung, yang diselesaikan pada tahun 2002. Pada jenjang pendidikan dasar ini, penulis mulai menunjukkan minat terhadap mata pelajaran eksakta dan

ketertarikan pada bidang teknik. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMP Negeri 13 Bandar Lampung, dan berhasil diselesaikan pada tahun 2005. Selama masa pendidikan menengah pertama, penulis aktif mengikuti kegiatan akademik maupun non-akademik yang turut membentuk kemampuan berpikir logis, kerja sama tim, dan tanggung jawab pribadi.

Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 7 Bandar Lampung, Program Studi Ilmu Pengetahuan Alam (IPA), dan lulus pada tahun 2008. Pada jenjang ini, ketertarikan penulis terhadap dunia teknik, khususnya yang berkaitan dengan pembangunan infrastruktur dan konstruksi, semakin berkembang. Mata pelajaran fisika dan matematika menjadi fondasi awal yang memperkuat minat penulis untuk melanjutkan pendidikan ke bidang teknik sipil.

Pada tahun 2008, penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, melalui jalur Penerimaan Mahasiswa Baru. Selama menempuh pendidikan sarjana, penulis memperoleh pemahaman teoritis dan praktis mengenai perencanaan, pelaksanaan, serta pengendalian proyek konstruksi. Berbagai mata kuliah seperti struktur bangunan, manajemen konstruksi, mekanika tanah, dan teknik transportasi memberikan bekal keilmuan yang komprehensif. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada tahun 2014, dengan fokus pembelajaran yang berkaitan dengan penerapan ilmu teknik sipil dalam pembangunan yang aman, efisien, dan berkelanjutan.

Seiring dengan perkembangan karier dan tuntutan profesional di bidang konstruksi, penulis memandang penting untuk meningkatkan kualifikasi

akademik. Oleh karena itu, pada tahun 2023, penulis melanjutkan studi pada Program Magister Teknik Sipil Universitas Lampung melalui jalur penerimaan mahasiswa baru. Pendidikan magister ini menjadi sarana bagi penulis untuk memperdalam kajian ilmiah, meningkatkan kemampuan analisis teknis, serta mengembangkan pemikiran kritis terhadap permasalahan konstruksi dan infrastruktur, khususnya yang berkaitan dengan kualitas bangunan, keselamatan penghuni, dan keberlanjutan pembangunan.

Dalam dunia kerja, penulis saat ini berprofesi sebagai Site Manager pada perusahaan swasta nasional yang bergerak di bidang pengembangan perumahan dan jasa konstruksi, yaitu PT Royalindo Cipta Griya, yang beroperasi di Provinsi Lampung. Penulis telah mengemban posisi tersebut sejak tahun 2022 hingga sekarang. Dalam perannya sebagai Site Manager, penulis bertanggung jawab atas pengelolaan kegiatan proyek di lapangan, mulai dari perencanaan pelaksanaan, pengendalian mutu pekerjaan, pengawasan waktu dan biaya, hingga koordinasi dengan berbagai pihak terkait, seperti konsultan, kontraktor, dan pemangku kepentingan lainnya.

Pengalaman profesional yang dimiliki memberikan pemahaman nyata mengenai tantangan pelaksanaan konstruksi, khususnya pada sektor perumahan. Hal ini turut memperkaya wawasan penulis dalam mengintegrasikan teori akademik dengan praktik di lapangan. Kombinasi antara latar belakang akademik dan pengalaman profesional tersebut menjadi dasar kuat dalam mendukung kegiatan penelitian dan pengembangan keilmuan di bidang teknik sipil.

Dengan latar belakang pendidikan, pengalaman kerja, serta dukungan keluarga, penulis berkomitmen untuk terus mengembangkan diri dan berkontribusi secara aktif dalam dunia akademik maupun profesional, khususnya dalam upaya peningkatan kualitas konstruksi dan pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan.

SANWACANA

Alhamdulillah rabbil alamin, segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga tesis ini dapat diselesaikan. Tesis dengan judul “**Analisis pengaruh Indian Ocean Dipole Mode (IODM) Terhadap perubahan Iklim Indonesia khususnya Wilayah bagian Barat, Tengah dan Timur**” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Pasca Sarjana Universitas Lampung;
3. Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;
4. Dr. Ir. Rahayu Sulistiyorini, S.T., M.T. selaku atas nama Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Lampung;
5. Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, ide-ide dan saran serta kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;
6. Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan dan saran-saran untuk kesempurnaan tesis ini;

7. Dr. Yuda Romdania., S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan kritik dan saran pemikiran dalam penyempurnaan tesis ini;
8. Prof. Dr. Ir. Dyah Indriana K., S.T., M.Sc., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan dan saran-saran untuk kesempurnaan tesis ini;
9. Bapak dan Ibu Dosen Magister Teknik Sipil Universitas Lampung, atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama perkuliahan;
10. Keluargaku tercinta terutama orang tuaku terkasih, Mama Ratnawati, S.E dan Papa Yunior Djaei, S.E adikku Yudha Wiradinata, S.H, M.H, Goestadona Susanty, S.E, M.M, Muhamad Rabbin Arrapat, S.T.P, Yuliani Dwi Savitri, S.K.M dan Ir. Muhamad Dhuha Syahbana, S.T, yang sangat sabar dalam doanya dan pengertian dalam memberikan dukungan, nasehat dan motivasi dalam menyelesaikan perkuliahan;
11. Istriku tercinta Citra Yunia Utami, A.Md. Kep, dan anak- anaku yang tercinta M. Alvaro Adinata Diatra, Walken Adipati Diatra dan Jasmine Aura Diatra yang selalu memberikan semangat, nasehat dan dukungannya baik moril maupun tenaganya dalam menyelesaikan perkuliahan ini;
12. Teman-teman Magister Teknik Sipil Angkatan 2023 & Magister Teknik Sipil Angkatan 2024 atas bantuan, dukungan dan motivasinya selama ini;
13. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Iqbal alan Abdullah, SH., MSc., CMMC dan Pak Athar Tri Dermawan seluruh jajaran manajemen dan tim PT Royalindo Cipta Griya atas dukungan, pengertian, serta kesempatan yang diberikan kepada penulis selama proses penyusunan dan penyelesaian tesis ini. Dukungan moral, profesional, serta fleksibilitas waktu yang diberikan sangat membantu penulis dalam menyeimbangkan tanggung jawab akademik dan profesional, sehingga

tesis ini dapat diselesaikan dengan baik.

14. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Roky Madona atas bantuan, dukungan, serta kontribusi pemikiran yang diberikan kepada penulis selama proses penulisan dan penyelesaian tesis ini, sehingga tesis dapat diselesaikan dengan baik.
15. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Bandar Lampung, April 2026

Muhamad Juanna Fitra, S.T.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	1
DAFTAR GAMBAR.....	1
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Hujan.....	9
A. Curah Hujan	10
B. Proses terjadinya hujan	12
C. Perubahan Curah Hujan.....	13
D. Stasiun Pengamatan Hujan.....	14
2.3 Indian Ocean Dipole Mode.....	15
A. Dipole Mode Positif	17
B. Dipole Mode Negatif	18
C. Dipole Mode Netral	19
2.4 Satelit Nasa Power (Prediction Of Worldwide Energy Resources).....	19
2.5 Pengenalan Software Ftrans dalam Analisis.....	24
2.6 Metode Fast Fourier Transform (FFT).....	24
2.7 Metode Lomb Periodogram.....	25
2.8 Dampak Anomali Iklim di Indonesia	26
III. METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Umum	27
3.2 Prosedur Penelitian.....	27
A. Studi Literatur	27
B. Pengumpulan Data	28
C. Pengolahan Data.....	28
3.3 Lokasi Penelitian	29
3.4 Analisis Hasil Penelitian	35
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	36

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1. Umum	37
4.2 Analisis Spektrum Curah Hujan Daerah Barat Indonesia dengan Menggunakan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT).....	39
4.3 Analisis Spektrum Curah Hujan Daerah Tengah Indonesia dengan Menggunakan <i>Fast Fourier Transform</i>	44
4.4 Analisis Spektrum Curah Hujan Daerah Timur Indonesia dengan Menggunakan <i>Fast Fourier Transform</i>	49
4.5 Analisis Spektrum Curah Hujan Daerah Barat Indonesia dengan Menggunakan <i>Lomb Periodogram</i>	55
4.6 Analisis Spektrum Curah Hujan Daerah Tengah Indonesia dengan Menggunakan <i>Lomb Periodogram</i>	60
4.7 Analisis Spektrum Curah Hujan Daerah Timur Indonesia dengan Menggunakan <i>Lomb Periodogram</i>	64
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	72
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	72

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Tingkatan hujan berdasarkan intensitasnya	11
2. Kondisi fase IODM.....	16
3. Letak Koordinat dan Luas Area Provinsi Aceh, Provinsi Kalimantan Tengah dan Provinsi Maluku.	29
4. Hasil Fast Fourier pada stasiun hujan Cut Bau Maimun	40
5. Hasil Analisis FFT NASA POWER di Wilayah Aceh, Kalimantan Tengah dan Maluku.....	54
6. Hasil Analisis Lomb Periodogram NASA POWER di Wilayah Aceh, Kalimantan Tengah dan Maluku	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Buku siklus hidrologi. (Sumber : (Sukman et al., 2021))	12
2. Peta Pola Curah Hujan Indonesia.....	13
3. Dipole Mode Index di Samudera Hindia	16
4. Kondisi permukaan laut Indian Ocean Dipole Positive.....	16 17
5. Kondisi permukaan laut Indian Ocean Dipole Negative.....	18
6. Kondisi permukaan laut Indian Ocean Dipole Neutral	19
7. Satelit GPM (Global Precipitation Measurement)	23
8. Peta Wilayah Titik Satelit Nasa Power di Indonesia	31
9. Peta Wilayah Titik Satelit Nasa Power Wilayah Aceh	32
10. Peta Wilayah Titik Satelit Nasa PoweWilayah Kalimantan Tengah	33
11. Peta Wilayah Titik Satelit Nasa Power Wilayah Maluku	34
12. Diagram alir	36
13. Tampilan Program FTRANS	38
14. Tampilan Program priodo	38
15. Grafik Spektrum Cut Bau Maimun menggunakan FFT.....	41
16. Grafik Spektrum Stasiun Cut nyak Dienn menggunakan FFT	41
17. Grafik Spektrum Stasiun Indrapuri menggunakan FFT.....	42
18. Grafik Spektrum Malikulsaleh menggunakan FFT.....	43

19. Grafik Spektrum Iskandar Muda menggunakan FFT	43
20. Grafik Spektrum Iskandar Kalimantan Tengah menggunakan FFT	45
21. Grafik Spektrum Cilik Riwut menggunakan FFT.....	46
22. Grafik Spektrum H Asan menggunakan FFT	46
23. Grafik Spektrum Sangu menggunakan FFT	47
24. Grafik Spektrum Beringin menggunakan FFT	48
25. Grafik Spektrum Amahai menggunakan FFT	50
26. Grafik Spektrum Bandaneira menggunakan FFT	50
27. Grafik Spektrum Karel Satsuitubun menggunakan FFT.....	51
28. Grafik Spektrum Klimatologi Maluku menggunakan FFT.....	52
29. Grafik Spektrum Kuffar menggunakan FFT	52
30. Grafik Spektrum Namlea menggunakan FFT	53
31. Grafik Spektrum Cut Bau Maimun	56
32. Grafik Spektrum Cut Nyak Dienn	57
33. Grafik Spektrum Indrapuri	57
34. Grafik Spektrum Mlikulsaleh	58
35. Grafik Spektrum Sultan Iskandar Muda	59
36. Grafik Spektrum Iskandar	60
37. Grafik Spektrum Cilik Riwut	61
38. Grafik Spektrum H Asan.....	62
39. Grafik Spektrum Sangu	62
40. Grafik Spektrum Beringin.....	63
41. Grafik Spektrum Amahai	65
42. Grafik Spektrum Bandaneira	66

43. Grafik Spektrum Karel Satsuitubun	66
44. Grafik Spektrum Klimatologi Maluku	67
45. Grafik Spektrum Kuffar	67
46. Grafik Spektrum Namlea	68

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim global dalam beberapa dekade terakhir telah meningkatkan frekuensi dan intensitas kejadian iklim ekstrem di kawasan tropis, termasuk Indonesia. menegaskan bahwa pemanasan global memperkuat variabilitas laut-atmosfer di Samudera Hindia. Anomali iklim ialah terjadinya pergeseran musim dari kondisi rata-ratanya yang normal. Ketika terjadi anomali iklim, waktu datangnya musim hujan maupun musim kemarau dapat lebih cepat atau lebih lambat dari jadwal biasanya. Secara umum, anomali iklim sering menimbulkan kerugian di sektor pertanian, terutama pada tanaman pangan. Oleh karena itu, kejadian ini perlu diketahui atau diprediksi lebih awal agar dampak kerugian dapat diminimalkan. Karena berkaitan erat dengan ketersediaan air, anomali iklim yang menyebabkan kekeringan di Indonesia sangat memengaruhi tanaman yang memerlukan banyak air selama siklus hidupnya (Irianto & Suciandini, 2006).

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap perubahan dan variabilitas iklim. Letak geografis Indonesia yang berada di antara Samudera Hindia dan Samudera Pasifik menyebabkan wilayah ini dipengaruhi oleh berbagai sistem atmosfer dan oseanografi global yang berdampak langsung terhadap pola curah hujan. Kondisi tersebut menjadikan distribusi curah hujan di wilayah Indonesia bagian barat, tengah, dan timur sering mengalami fluktuasi bahkan penyimpangan ekstrem dari kondisi normalnya. Salah satu contoh nyata terjadi pada tahun 2006, ketika wilayah Kalimantan Barat mengalami periode kekeringan berkepanjangan yang berdampak pada terjadinya krisis pangan di dua desa di Kecamatan Tanjung Lokang. Peristiwa tersebut diduga kuat disebabkan oleh penurunan produksi pertanian akibat

kekurangan air yang mengakibatkan banyak lahan pertanian mengalami gagal panen. Kejadian ini menunjukkan bahwa ketidakpastian dan variabilitas curah hujan tidak hanya memengaruhi kondisi hidrologis suatu wilayah, tetapi juga berpotensi mengancam ketahanan pangan, ketersediaan sumber daya air, serta stabilitas perekonomian masyarakat dan nasional secara lebih luas (Hairiah et al., 2016; Naylor et al., 2007).

Salah satu fenomena yang paling berperan dalam memicu penyimpangan curah hujan tersebut adalah *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM). Fenomena ini ditandai dengan perbedaan anomali suhu permukaan laut antara bagian Barat serta Timur Samudera Hindia (N. H. Saji et al., 1999). Pada fase IODM positif, perairan di sebelah Selatan Indonesia menjadi lebih dingin dari normal sehingga curah hujan di wilayah Barat dan Tengah Indonesia menurun drastis, bahkan mencapai 40–60 % di bawah rata-rata. Sebaliknya, fase IODM negatif memicu peningkatan curah hujan ekstrem di wilayah yang sama (Rahayu et al., 2018; N. Saji & Yamagata, 2003). Dalam dua dekade terakhir, intensitas dan frekuensi kejadian IODM ekstrem terus meningkat akibat pemanasan global menjadikannya faktor dominan dalam memengaruhi iklim Indonesia (IPCC, 2001; Loo et al., 2015).

Pola curah hujan Indonesia secara umum dapat dibagi menjadi tiga tipe utama, yaitu monsun, ekuatorial, dan lokal (Aldrian & Dwi Susanto, 2003). Wilayah Barat didominasi pola monsun, wilayah tengah menunjukkan karakter ekuatorial hingga lokal, sedangkan wilayah Timur dipengaruhi kombinasi monsun dan ENSO (Simanjuntak & Nopiyanti, 2023). Perbedaan pola ini menyebabkan respons curah hujan terhadap fase IODM juga berbeda secara spasial, namun masih belum banyak penelitian yang mengkaji secara khusus ketiga zona tersebut secara terpadu.

Keterbatasan data pengamatan di lapangan, terutama di wilayah tengah dan timur, menjadi kendala utama dalam memahami pengaruh IODM secara akurat. Data curah hujan satelit NASA *Prediction of Worldwide Energy Resources* (POWER) kini menjadi alternatif terbaik karena memiliki cakupan spasial luas dan akurasi yang telah divalidasi dengan baik. NASA POWER merupakan lembaga antariksa yang menyediakan berbagai data penting untuk kajian iklim serta proses iklim

jangka panjang. Data yang dihasilkan berbasis satelit dan pemodelan ini telah terbukti memiliki tingkat akurasi yang baik dalam menyajikan informasi sumber daya surya dan parameter meteorologi yang andal, khususnya di wilayah dengan keterbatasan atau ketiadaan pengukuran langsung di permukaan (Purnomo et al., 2023). NASA POWER menyediakan data klimatologi dan energi surya berbasis satelit data ini mencakup curah hujan, suhu, dan radiasi (1981- sekarang) dengan resolusi yang sering digunakan untuk mengatasi keterbatasan data stasiun darat. Kombinasi data satelit tersebut dengan analisis spektral seperti *Fast Fourier Transform* (FFT) telah terbukti mampu mendeteksi siklus musiman dan interannual dengan baik (Albeta et al., 2024). Dengan memanfaatkan data NASA POWER yang dianalisis menggunakan metode FFT dan *Lomb Periodogram*, dampak anomali iklim di Indonesia dapat diprediksi secara lebih akurat.

Sejumlah penelitian terkini menunjukkan bahwa penggunaan metode FFT dapat secara khusus digunakan untuk mengidentifikasi adanya kenaikan maupun penurunan curah hujan. Hasil analisis tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk Spektrum Hujan yang disusun berdasarkan data curah hujan yang telah diperoleh. Selain menggunakan metode FFT, metode *Lomb Periodogram* juga dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh IODM. Metode-metode tersebut memiliki tingkat ketelitian yang berbeda, dan masing-masing mempunyai keunggulan tersendiri. Metode FFT (*Fast Fourier Transform*) merupakan teknik analisis spektrum yang sederhana dan memiliki proses komputasi yang cepat. Sementara itu, metode *Lomb Periodogram* lebih kompleks dalam penerapannya, tetapi umumnya menawarkan tingkat akurasi yang lebih tinggi (Noya et al., 2014). Penelitian yang dilakukan Nugraheni et al.,(2024) tentang pengaruh fenomena iklim El Nino dan La Nina di suatu wilayah dapat diprediksi melalui penerapan metode FFT (*Fast Fourier Transform*) dan *Lomb Periodogram*. Pada penelitian Ismail et al., (2020) menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *Lomb Periodogram* menunjukkan adanya pengaruh Indian Ocean Dipole Mode (IODM) terhadap pola curah hujan di wilayah Bengkulu daerah Indonesia Bagian Barat. Penelitian ini secara khusus menganalisis pengaruh *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) terhadap pola curah hujan di wilayah Indonesia bagian Barat, Tengah, dan Timur menggunakan data satelit NASA POWER/GPM serta metode FFT dan *Lomb*

Periodogram. Hasil penelitian ini akan memberikan kontribusi ilmiah yang signifikan bagi penyusunan sistem peringatan dini, strategi adaptasi perubahan iklim, serta pengelolaan sumber daya air dan pertanian yang lebih tepat sasaran di seluruh wilayah Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Berapakah periode perulangan curah hujan yang paling dominan di masing-masing wilayah Barat, Tengah, dan Timur Indonesia ketika dipengaruhi IODM, berdasarkan hasil analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *Lomb Periodogram*.
2. Melihat wilayah mana (Barat, Tengah, atau Timur Indonesia) yang lebih terpengaruh Anomali Iklim *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) berdasarkan data tinggi curah hujan.
3. Bagaimanakah hubungan antara periode dominan yang diperoleh dengan kekuatan spektrum (*Power Spectral Density/PSD*) dalam mengidentifikasi intensitas pengaruh IODM terhadap variabilitas curah hujan di masing-masing wilayah Indonesia.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dilaksanakan secara terarah, sistematis, dan menghasilkan temuan yang sesuai dengan tujuan penelitian, maka perlu ditetapkan batasan masalah serta ruang lingkup penelitian yang jelas. Penetapan batasan dan ruang lingkup tersebut bertujuan untuk membatasi fokus kajian sehingga analisis yang dilakukan dapat lebih terarah, mendalam, dan relevan dengan permasalahan yang diteliti. Adapun batasan masalah dan ruang lingkup penelitian dalam studi ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Tiga lokasi representatif yang dikaji, yaitu Provinsi Aceh mewakili Indonesia bagian Barat, Provinsi Kalimantan Tengah mewakili Indonesia bagian Tengah serta Provinsi Maluku mewakili Indonesia bagian Timur.

2. Data curah hujan yang dipakai ialah data bulanan dari NASA POWER periode Januari 1981–Desember 2024 dengan resolusi spasial $0,04^\circ \times 0,04^\circ$ pada titik koordinat stasiun representatif masing-masing provinsi.
3. Penelitian hanya menganalisis pengaruh *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) melalui pendekatan tidak langsung, yaitu dengan mengidentifikasi keberadaan dan kekuatan sinyal periodik IODM (umumnya 18–36 bulan) pada data curah hujan menggunakan analisis spektral, tanpa menggunakan indeks IOD (DMI) secara eksplisit.
4. Metode analisis yang digunakan terbatas hanya pada analisis FFT serta *Lomb Periodogram* Tidak dilakukan analisis korelasi, regresi, komposit, atau metode statistik parametrik lainnya.
5. Penelitian hanya mengidentifikasi: Periode perulangan (siklus) curah hujan yang paling dominan di masing-masing lokasi dan amplitude dari *power spectrum* dari siklus-siklus tersebut

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa seberapa besar pengaruh IODM pada curah hujan di wilayah Indonesia bagian Barat, Tengah, dan Timur.
2. Menganalisis dimana wilayah khususnya bagian (Barat, Tengah, Timur) yang paling berpengaruh terhadap *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) ditinjau dari nilai dan besarnya anomali curah hujan.
3. Menganalisis berapa periode perulangan curah hujan yang paling dominan di masing-masing wilayah Barat, Tengah, dan Timur Indonesia ketika dipengaruhi IODM berdasarkan hasil analisis FFT dan *Lomb Periodogram*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan serta bagi pihak-pihak yang berkepentingan. Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.:

1. Menyediakan informasi bagi BMKG, Kementerian Pertanian, serta pemerintah daerah terkait wilayah yang memiliki tingkat sensitivitas tinggi terhadap fenomena IODM, sehingga wilayah tersebut dapat dijadikan prioritas dalam perencanaan kalender tanam serta pengembangan sistem peringatan dini terhadap potensi kekeringan dan banjir.
2. Menyediakan informasi data dasar periode perulangan curah hujan yang terkait IODM di masing-masing wilayah, yang dapat dimanfaatkan untuk perencanaan irigasi, pengelolaan waduk, dan mitigasi bencana hidrometeorologi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian terdahulu yang berjudul “Analisis pengaruh anomali iklim terhadap curah hujan di Propinsi Bengkulu” menggunakan perbandingan dua metode penelitian yaitu Metode FFT serta Metode *Lomb Periodogram*. Berdasarkan hasil penelitian *Fast Fourier Transform* (FFT), diperoleh frekuensi dominan yang berkaitan dengan variasi curah hujan akibat pengaruh *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM). Literatur menyebutkan bahwa periode perulangan IODM umumnya berada pada kisaran 3–5 tahun, yang merepresentasikan beberapa siklus musim tahunan. Hasil FFT menunjukkan periode dominan sebesar 2,8 tahun, yang secara numerik berada di luar rentang periode perulangan IODM sebagaimana dilaporkan pada studi terdahulu. Namun, analisis FFT juga mengindikasikan siklus musim tahunan di Provinsi Bengkulu berlangsung sekitar 0,9 tahun, alhasil tiga kali siklus musim tahunan ekuivalen dengan periode 2,8 tahun. Oleh karena itu, temuan penelitian ini menunjukkan variasi curah hujan yang dipengaruhi oleh IODM di wilayah Bengkulu tercermin pada periode ulang sekitar 2,8 tahun (Ismail et al., 2020).

Pada penelitian terdahulu berjudul “*Rainfall Patterns in Indonesian Provinces During El-Nino and La-Nina: FFT and Lomb Periodogram Analysis*” menggunakan perbandingan dua metode penelitian yaitu Metode analisis yang diterapkan dalam pemodelan ini meliputi FFT dan *Lomb Periodogram* untuk mengidentifikasi spektrum frekuensi curah hujan. Selanjutnya dilakukan estimasi nilai amplitudo serta analisis komparatif antara kedua metode tersebut guna menentukan periode dominan (periode ulang) dan wilayah dengan tingkat kerentanan tertinggi terhadap anomali iklim. Hasil pengolahan data berdasarkan

FFT dan *Lomb Periodogram* mengindikasikan bahwa wilayah dengan dampak paling signifikan berada di Indonesia bagian timur, khususnya Provinsi Maluku. Berdasarkan metode FFT, frekuensi dominan teridentifikasi pada periode 5,61 tahun dengan nilai *Power Spectral Density* (PSD) sebesar 7,67 mm², sedangkan metode *Lomb-Scargle* menunjukkan periode dominan 6,06 tahun dengan nilai PSD sebesar 18,64 mm². Analisis nilai rerata PSD dari kedua pendekatan tersebut secara konsisten memperlihatkan bahwa pengaruh fenomena *El Niño–Southern Oscillation* (ENSO) paling kuat terjadi di kawasan Indonesia bagian timur dan cenderung menurun ke arah barat. Dampak terendah teridentifikasi di wilayah Indonesia bagian barat. Temuan ini mengindikasikan bahwa variabilitas iklim di Indonesia lebih didominasi oleh pengaruh ENSO dibandingkan dengan *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) (Nugraheni et al., 2024).

Pada penelitian terdahulu berjudul “Pengaruh *El Nino* dan *La Nina* Terhadap Data-Data Hujan Kabupaten Lampung Barat Provinsi Lampung” menggunakan perbandingan dua metode penelitian yaitu FFT serta Metode *Lomb Periodogram*. Penelitian ini menerapkan pendekatan komparatif dengan memakai dua metode analisis spektral, yakni FFT serta *Lomb Periodogram*, untuk mengevaluasi karakteristik spektrum data curah hujan. Kajian ini bertujuan untuk mengidentifikasi metode yang paling representatif dan andal dalam menganalisis variabilitas periodik pada data curah hujan. Melalui pendekatan tersebut, pengaruh fenomena *El Niño* dan *La Niña* pada fluktuasi curah hujan dapat diidentifikasi serta dibandingkan secara kuantitatif. Hasil analisis menunjukkan metode *Lomb Periodogram* memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode FFT. Hal ini disebabkan oleh kemampuan *Lomb Periodogram* dalam mengakomodasi panjang dan karakteristik data secara lebih presisi, khususnya pada data deret waktu yang tidak seragam, sehingga menghasilkan estimasi spektral yang lebih akurat dibandingkan pendekatan FFT (Hartantio et al., 2021).

Pada penelitian terdahulu yang berjudul “Pengaruh Fenomena *El Niño Southern Oscillation* dan *Indian Ocean Dipole Mode* Terhadap Curah Hujan di Kabupaten Ketapang” menggunakan metode penelitian yaitu Metode FFT. Penelitian ini

temuan analisa terhadap indeks IODM, memakai metode FFT menunjukkan bahwa periode dominan (periode ulang utama) fenomena IODM teridentifikasi pada siklus sekitar 36 bulan. Sementara itu, berdasarkan spektrum frekuensi yang diperoleh, rentang periode kejadian *Dipole Mode* (DM) berada pada kisaran satu hingga sekitar empat setengah tahun (Yuggotomo & Ihwan, 2014).

Penelitian terdahulu yang berjudul “Studi Komparatif Spektrum Curah Hujan Harian Menggunakan Metode *Lomb Priodogram* dan *Fast Fourier Transform* (FFT)” bertujuan untuk membandingkan kinerja kedua metode dalam menganalisis karakteristik spektral data curah hujan harian. Kajian ini memberikan evaluasi mengenai metode yang paling efektif dan reliabel dalam mengidentifikasi pola periodisitas pada data curah hujan. Melalui analisis tersebut, pengaruh fenomena *El Niño* dan *La Niña* terhadap variabilitas curah hujan dapat diidentifikasi serta dibandingkan secara sistematis (Zakaria, 2011a).

2.2 Hujan

Hujan merupakan peristiwa jatuhnya hidrometeor berupa butiran air dengan diameter 0,5 mm atau lebih. Keberadaan hujan memiliki peranan yang sangat penting dalam siklus hidrologi karena berkontribusi terhadap keseimbangan sumber daya air di bumi. Namun demikian, hujan juga dapat menimbulkan bencana apabila terjadi penyimpangan yang ekstrem. Penurunan curah hujan dapat memicu terjadinya kekeringan, sementara peningkatan curah hujan yang berlebihan berpotensi menyebabkan banjir (Widyatmanti W, 2021).

Hujan umumnya terjadi karena pendinginan suhu udara atau penambahan uap air ke udara, atau bahkan memungkinkan terjadi secara bersamaan. Turunnya hujan tidak lepas dari pengaruh kelembaban udara yang memacu jumlah titik-titik air yang ada di udara. Indonesia mempunyai wilayah yang dilalui garis khatulistiwa dan sebagian besar wilayahnya ialah wilayah tropis, walaupun beberapa wilayah di Indonesia mempunyai intensitas hujan yang cukup besar selaian banjir curah hujan menjadi salah satu unsur iklim yang paling berpengaruh terhadap kondisi hidrologi suatu wilayah (Perdana et al., 2015).

A. Curah Hujan

Curah hujan ialah kuantitas air yang terpresipitasi serta menggapai permukaan bumi dalam kurun waktu tertentu, dinyatakan dalam satuan tinggi milimeter (mm) di atas bidang datar horizontal. Berlandaskan pola distribusi curah hujan, Indonesia diklasifikasikan pada tiga tipe iklim utama yakni monsunial, ekuatorial, serta lokal. Pada wilayah berkarakter iklim monsunial, periode kemarau umumnya berlangsung antara bulan Juli sampai September, sementara puncak curah hujan tercatat timbul pada bulan September. Dalam fase-fase tertentu yang bersifat kritis, curah hujan berpotensi mengalami reduksi, alhasil menimbulkan risiko kekeringan, penyusutan ketersediaan sumber daya air, serta implikasi paling signifikan berwujud ketidakstabilan kapasitas produksi sektor pertanian (Aldrian & Dwi Susanto, 2003). Curah hujan ialah satu di antara elemen klimatologis yang punya signifikansi vital untuk keberlangsungan kehidupan di bumi. Besaran curah hujan dinyatakan pada satuan inci ataupun milimeter. Nilai curah hujan 1 mm merepresentasikan tinggi kolom air hujan yang menutupi permukaan seluas satu meter persegi sampai menggapai ketinggian 1 mm, dengan asumsi air tersebut tidak mengalami infiltrasi ke dalam tanah, tidak menguap, serta tidak mengalir kembali ke atmosfer sebagaimana dikemukakan (Syaifullah, 2014).

Secara konseptual, curah hujan juga dipahami selaku tinggi air hujan yang terakumulasi pada wadah ataupun bidang datar. Dalam konteks pengolahan data, kehilangan data curah hujan bisa dianalisa memakai metode normal ratio, dengan asumsi air yang tertampung tidak mengalami penguapan, peresapan, ataupun aliran keluar. Walaupun satuan curah hujan bisa dinyatakan dalam inci ataupun milimeter, di Indonesia pemakaian yang lazim ialah milimeter (mm). Curah hujan sebesar 1 milimeter mengandung makna pada luasan satu meter persegi bidang datar tertampung air setinggi satu milimeter, yang secara volumetrik setara satu liter air (Prawaka et al., 2016).

Hujan umumnya terjadi karena pendinginan suhu udara atau penambahan uap air ke udara, atau bahkan memungkinkan terjadi secara bersamaan. Peristiwa presipitasi tidak terlepas dari dinamika kelembapan udara yang memberi pengaruh

tahapan kondensasi di atmosfer. Berlandaskan intensitas ataupun besaran curah hujan, klasifikasi jenis hujan berlandaskan BMKG dibedakan ke dalam tiga klasifikasi (Perdana et al., 2015), yakni:

- a. 20 - 50 mm per hari, hujan sedang.
- b. 50-100 mm per hari, hujan lebat.
- c. >100 mm per hari, hujan sangat lebat

Intensitas curah hujan ialah parameter yang memperlihatkan besaran presipitasi yang timbul pada satuan waktu tertentu selama peristiwa hujan berlangsung. Secara umum, hujan diklasifikasikan pada lima jenjang berlandaskan tingkat intensitasnya, sebagaimana dipaparkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Tingkatan hujan berdasarkan intensitasnya

Tingkatan	Intensitas (mm/menit)
Sangat lemah	< 0.02
Lemah	0.02 – 0.05
Sedang	0.05 – 0.25
Deras	0.25 – 1
Sangat deras	>1

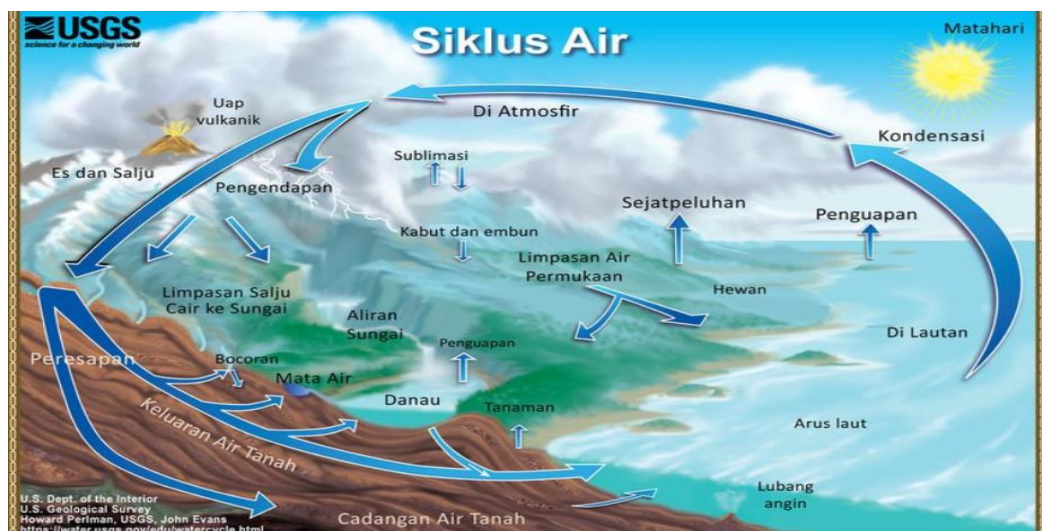
(Sumber: Mori et al., (1997))

Berlandaskan tabel, gradasi tingkat hujan merefleksikan kuantitas butiran air yang tersuspensi di atmosfer. Indonesia ialah bangsa yang dilintasi garis khatulistiwa serta secara dominan berkarakter tropis. Meskipun demikian, sejumlah wilayahnya memperlihatkan intensitas hujan relatif tinggi. Pulau-pulau di Indonesia yang terletak pada zona tropis cenderung punya akumulasi curah hujan tahunan yang lebih besar, dengan nilai yang kian naik pada kawasan pegunungan. Persentase curah hujan di Indonesia berkisar 8% sampai 37%, dengan rerata sekitar 22%. Sebagai perbandingan, curah hujan tertinggi di wilayah Bayern, Jerman, tercatat 3,7% perbedaan presentase yang signifikan tersebut menunjukkan bahwa Indonesia memiliki kerentanan yang lebih tinggi terhadap bencana hidrometeorologi seperti banjir dan tanah longsor terutama pada musim hujan (Mulyono, 2014).

B. Proses terjadinya hujan

Terbentuknya hujan merupakan bagian dari suatu sistem peredaran air di bumi yang berlangsung secara kontinu dan berulang, yang dikenal sebagai siklus hidrologi. Siklus ini mencakup beberapa tahapan utama sebelum terjadinya presipitasi, antara lain evaporasi, kondensasi, adveksi, dan presipitasi. Proses terjadinya hujan erat kaitannya dengan siklus air, yaitu rangkaian peristiwa yang menyebabkan air bergerak dari atmosfer kembali ke permukaan bumi. Kehadiran hujan kemudian menimbulkan berbagai dampak yang memengaruhi kehidupan makhluk hidup serta kondisi lingkungan di bumi. Siklus hidrologi diawali proses evaporasi, yaitu penguapan air yang terjadi pada permukaan laut maupun pada berbagai bentuk penyimpanan air di daratan, baik dalam skala besar maupun kecil. Proses ini merupakan transformasi fase air dari wujud cair menjadi uap akibat energi panas, terutama yang bersumber dari radiasi matahari. Uap air yang tercipta berikutnya naik ke atmosfer serta mengalami proses kondensasi sehingga membentuk awan. Selain evaporasi, terdapat pula proses transpirasi, yaitu pelepasan uap air dari tumbuhan dan makhluk hidup lainnya ke atmosfer (Windari & Sudarti, 2024).

Keseluruhan proses tersebut pada akhirnya menghasilkan presipitasi, yakni fenomena jatuhnya air dari atmosfer ke permukaan bumi dalam berbagai wujud termasuk hujan. Ilustrasi mengenai tahapan siklus hidrologi tersebut dapat dilihat Gambar tahapan siklus hidrologi bisa ditinjau dalam gambar 1:

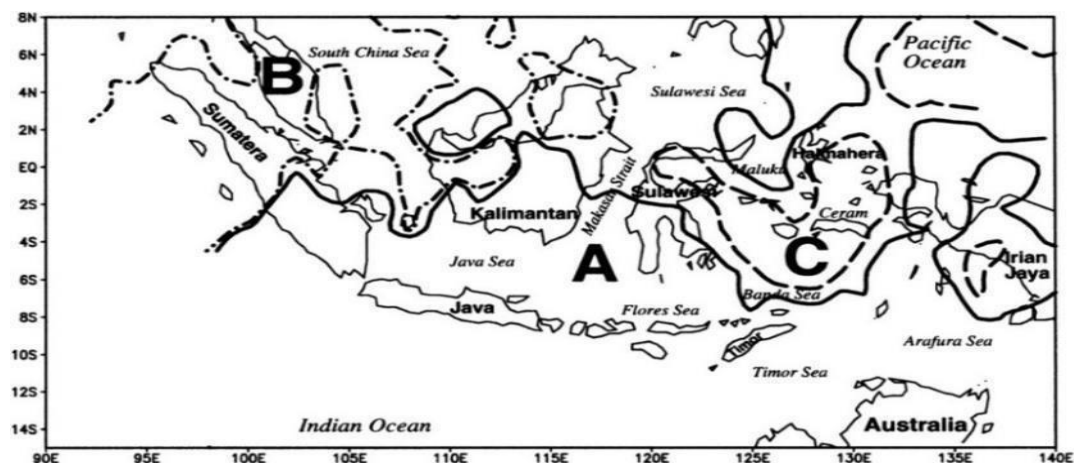


Gambar 1. Buku siklus hidrologi. (Sumber : (Sukman et al., 2021))

Berdasarkan gambar 1. Berdasarkan konsep siklus hidrologi, kejadian hujan merupakan hasil dari rangkaian proses fisik yang terjadi secara berkesinambungan dan saling berinteraksi dalam sistem atmosfer. Proses-proses tersebut, seperti evaporasi, kondensasi, pembentukan awan, dan presipitasi, memiliki peranan penting dalam memengaruhi distribusi spasial curah hujan serta menentukan besaran intensitas presipitasi yang terjadi di suatu wilayah. (Sukman et al., 2021)

C. Perubahan Curah Hujan

Indonesia diklasifikasikan pada tiga tipologi iklim berlandaskan pola distribusi curah hujan, yakni monsunal, ekuatorial, serta lokal, dengan pembagian spasial wilayah sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar. Tipologi monsunal ditandai satu puncak musim hujan pada satu siklus tahunan yang lazimnya timbul pada akhir ataupun awal tahun. Tipologi ekuatorial memperlihatkan dua puncak musim hujan dalam setahun, sementara tipologi lokal punya satu puncak musim hujan yang umumnya berlangsung pada pertengahan tahun. Di antara ketiganya, tipologi monsunal melingkupi wilayah terluas. Karakteristik utamanya ialah terdapatnya diferensiasi tegas antara periode musim hujan serta musim kemarau dalam satu tahun. Pada kawasan beriklim monsunal, musim kemarau umumnya berlangsung Juli sampai September, sementara intensitas curah hujan tertinggi tercatat pada bulan September (Aldrian & Dwi Susanto, 2003).



Gambar 2. Peta Pola Curah Hujan Indonesia, A (Monsunal), B (Ekuatorial) dan C (Lokal). (Sumber: Aldrian & Dwi Susanto (2003)

Curah hujan menjadi salah satu unsur yang mengalami dampak dari perubahan iklim. Curah hujan berpotensi mengalami penurunan di beberapa waktu kritis yang beresiko terjadi kekeringan, berkurangnya ketersediaan air, dan konsekuensi terbesarnya adalah kemampuan produksi pertanian yang tidak menentu. Arah transformasi pola presipitasi pada kawasan barat Indonesia serta wilayah yang terletak di selatan garis khatulistiwa. Pada sektor utara Sumatera serta Kalimantan, intensitas curah hujan diperkirakan mengalami kenaikan dengan durasi kejadian relatif lebih singkat. Sebaliknya, pada kawasan selatan Jawa serta Bali, curah hujan diproyeksikan mengalami penurunan, namun dengan rentang periode yang lebih panjang (Naylor et al., 2007).

D. Stasiun Pengamatan Hujan

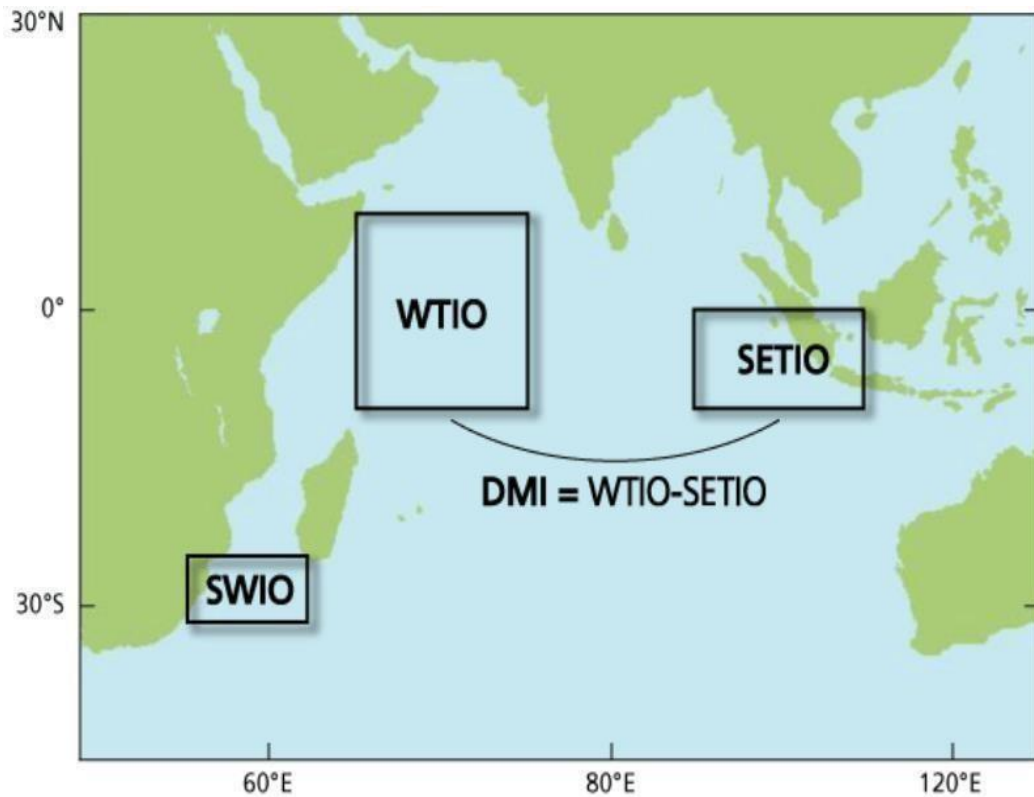
Pengukuran curah hujan pada penelitian ini memanfaatkan sistem pengamatan berbasis satelit orbit otomatis luar angkasa yang berfungsi sebagai stasiun pemantauan presipitasi secara global. Sistem ini bekerja menggunakan sensor aktif dan pasif untuk mendeteksi struktur awan serta kandungan hidrometeor di atmosfer, yang kemudian diolah melalui algoritma multisatelit untuk menghasilkan estimasi curah hujan dalam satuan milimeter per periode waktu tertentu (Huffman et al., 2007); Kidd & Huffman, 2011). Data yang dihasilkan memiliki resolusi temporal harian hingga jam-an dan cakupan spasial yang luas, sehingga mampu mengatasi keterbatasan distribusi stasiun pengamatan darat (Huffman et al., 2019) .

Dalam penelitian ini digunakan produk data dari misi satelit presipitasi seperti GPM (Global Precipitation Measurement) yang dikembangkan oleh NASA dan JAXA. Produk tersebut mengintegrasikan berbagai sensor multisatelit melalui pendekatan Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) untuk meningkatkan akurasi estimasi curah hujan dan representativitas analisis variabilitas iklim regional. Data GPM IMERG yang digunakan pada peneliti ini Adalah versi final run V06 dengan resolusi spasial 01 x 01 dan resolusi temporal 30 menit pemilihan produk final run didasarkan pada kualitasnya yang telah terkoreksi menggunakan data stasiun penakaran hujan (Huffman et al., 2019).

2.3 Indian Ocean Dipole Mode

Fenomena *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) merupakan satu antara bentuk variabilitas iklim yang timbul pada wilayah Samudera Hindia. Peristiwa ini memberikan dampak signifikan terhadap sistem atmosfer, kondisi oseanografi, serta pola curah hujan. IODM merupakan interaksi antara dinamika atmosfer dan suhu permukaan laut. Oleh karena itu, parameter utama yang digunakan untuk mengidentifikasi fenomena ini adalah anomali SST di wilayah barat Samudera Hindia dan perairan timur Afrika. Perbedaan atau fluktuasi suhu permukaan laut di kedua wilayah tersebut menjadi indikator terjadinya fase IODM. IODM memiliki pengaruh yang cukup dominan terhadap kondisi iklim di Indonesia, terutama di wilayah bagian barat diakibatkan keterkaitan dengan dinamika laut suhu permukaan laut di samudera hindia yang secara geografis berdekatan dengan Indonesia .

Keterkaitan dengan dinamika suhu permukaan laut di Samudera Hindia yang secara geografis berdekatan dengan Indonesia. Secara umum, IODM terbagi menjadi tiga fase, yaitu fase positif (*Dipole Mode +*), fase negatif (*Dipole Mode -*) dan fase Netral. Ketiga fase tersebut sama-sama memengaruhi distribusi dan intensitas curah hujan di Indonesia, khususnya di wilayah barat, meskipun dengan karakteristik dampak yang berbeda. Untuk mengidentifikasi kejadian IODM digunakan suatu parameter yang disebut *Dipole Mode Index* (DMI). Indeks ini dihitung berdasarkan selisih anomali SPL antara wilayah barat Samudera Hindia (50° – 70° BT dan 10° LU– 10° LS) dan wilayah timur Samudera Hindia (90° – 110° BT dan 0° – 10° LS). Nilai gradien tersebut merepresentasikan intensitas serta fase dari fenomena IODM, Fenomena IODM seringkali berinteraksi dengan El Nino (ENSO) dalam memodulasicurah hujan di indonesia. Kejadian bersamaan antara IODM positif dan El Nino dapat memperkuat dampak kekeringan wilayah indonesia sedangkan IODM negatif yang bersamaan dengan La Nina dapat mempengaruhi kejadian hujan ekstrem(N. H. Saji et al., 1999).



Gambar 3. Dipole Mode Index di Samudera Hindia (Sumber : Wilayah Indian Ocean Dipole Mode SST (N. H. Saji et al., 1999))

Kondisi IODM positif atau negatif ditentukan dengan melihat nilai DMI. Kriteria fase positif, netral, dan negatif dapat dilihat pada table 2 berikut :

Tabel 2. Kondisi fase IODM

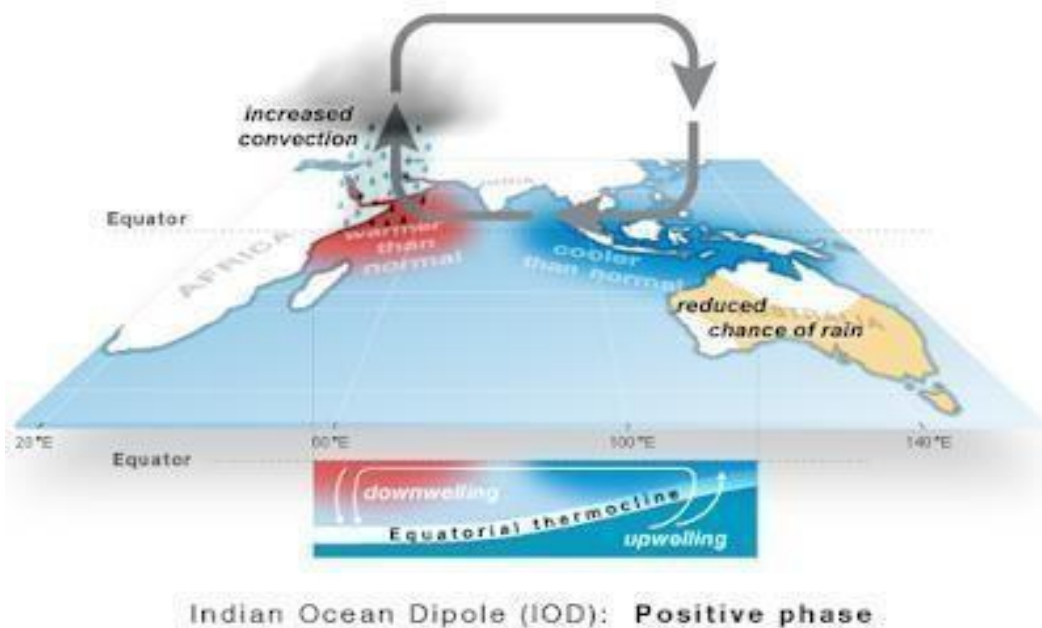
Nilai DMI	
$DMI > 0,48^{\circ}\text{C}$	IODM positif
$-0,48^{\circ}\text{C} \leq DMI \leq 0,48^{\circ}\text{C}$	Netral
$DMI < -0,48^{\circ}\text{C}$	IODM negatif

Sumber : Mashita & Lumban-Gaol (2019)

Pada Tabel 2. Perbedaan suhu muka laut antara wilayah pesisir timur Afrika dan perairan barat Indonesia menjadi dasar dalam penentuan nilai Dipole Mode Index (DMI). Nilai DMI tersebut digunakan untuk mengidentifikasi kondisi atau fase yang terjadi pada fenomena Indian Ocean Dipole (IOD). Berdasarkan nilai DMI, fenomena IOD dapat diklasifikasikan ke dalam tiga fase utama, yaitu fase IODM positif, fase netral, dan fase IODM negatif Mashita & Lumban-Gaol (2019)

A. Dipole Mode Positif

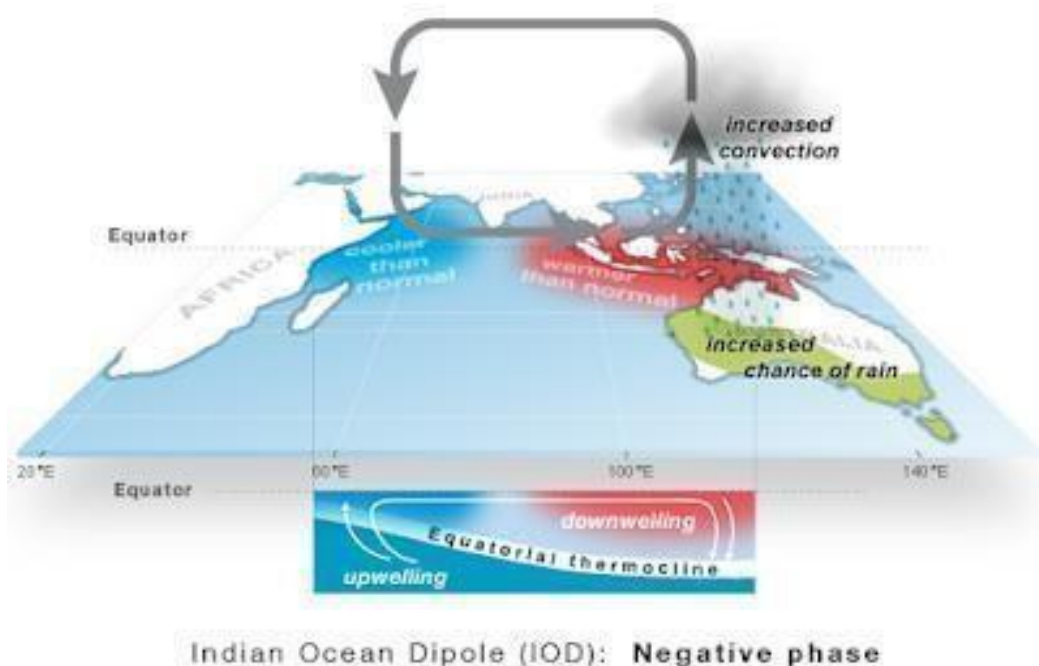
Dalam tahapan IOD positif, suhu permukaan laut (SPL) di wilayah Benua Maritim Indonesia lebih hangat dari kondisi normal, dengan nilai Dipole Mode Index (DMI) kurang dari $-0,5$ °C. Kondisi ini memperkuat sirkulasi Walker baratan dan meningkatkan aktivitas konveksi di atas Indonesia, sehingga curah hujan cenderung meningkat dibandingkan fase netral. Sebaliknya, wilayah Afrika Timur mengalami penurunan curah hujan akibat pergeseran massa air hangat ke arah timur Samudera Hindia. Selain berdampak pada variabilitas presipitasi, fase ini juga memengaruhi sektor pertanian, perikanan, dan menaikkan peluang bencana hidrometeorologi misalnya longsor serta banjir (N. H. Saji et al., 1999). Proses ini menyebabkan lapisan termoklin di wilayah Indonesia semakin dalam, yang menghambat proses *upwelling* (naiknya massa air dingin ke permukaan) dan menjaga suhu permukaan tetap tinggi. Memperlihatkan skema sirkulasi atmosfer-laut saat IOD positif langsung. Angin pasat timur menguat mendorong masa air hangat ke barat samudera hindia sementara di perairan selat jawa hingga sumatra terjadi penurunan Akibatnya:Ilustrasi mekanismenya ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4. Kondisi permukaan laut Indian Ocean Dipole Positive (Sumber : Wilayah Indian Ocean Dipole Mode Positif (N. H. Saji et al., 1999))

B. Dipole Mode Negatif

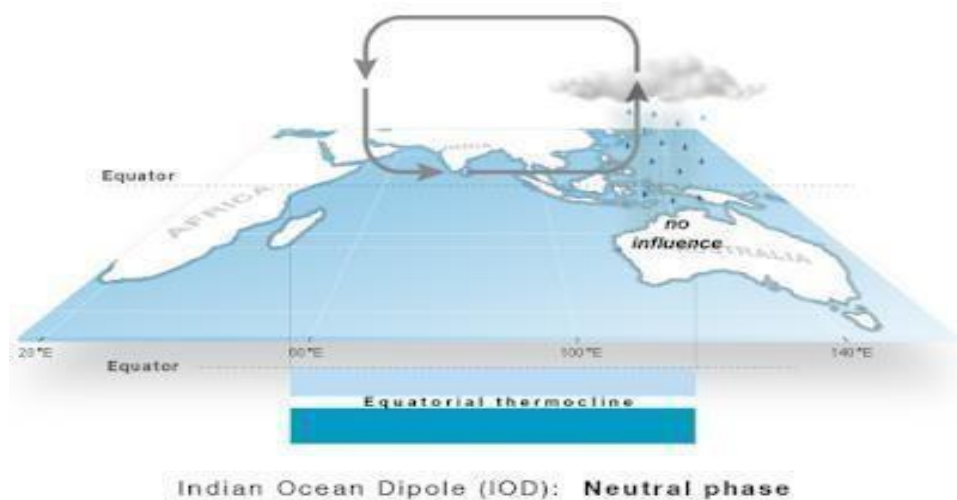
Dalam tahapan IOD negatif, suhu permukaan laut (SPL) di wilayah Benua Maritim Indonesia lebih hangat dari kondisi normal, dengan nilai Dipole Mode Index (DMI) kurang dari $-0,5$ °C. Kondisi ini memperkuat sirkulasi Walker baratan dan meningkatkan aktivitas konveksi di atas Indonesia, sehingga curah hujan cenderung meningkat dibandingkan fase netral. Sebaliknya, wilayah Afrika Timur mengalami penurunan curah hujan akibat pergeseran massa air hangat ke arah timur Samudera Hindia. Selain berdampak pada variabilitas presipitasi, fase ini juga memengaruhi sektor pertanian, perikanan, dan menaikkan peluang bencana hidrometeorologi misalnya longsor serta banjir (N. H. Saji et al., 1999). Fenomena ini dipicu oleh penguatan angin baratan (anomali *westerly winds*) di sepanjang ekuator yang mendorong akumulasi massa air hangat ke arah timur Samudra Hindia. Proses ini menyebabkan lapisan termoklin di wilayah Indonesia menjadi lebih dalam, yang secara efektif menghambat proses *upwelling* (naiknya massa air dingin ke permukaan) di sepanjang pantai barat Sumatra dan selatan Jawa. Kondisi tersebut kemudian: Ilustrasi mekanismenya ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 5. Kondisi permukaan laut *Indian Ocean Dipole Negative* (Sumber : Wilayah Indian Ocean Dipole Mode Negatif (N. H. Saji et al., 1999)

C. Dipole Mode Netral

Dalam tahapan netral, sirkulasi Walker pada lapisan dekat permukaan bergerak dari wilayah Samudera Hindia menuju perairan Indonesia, dengan suhu muka laut relatif lebih hangat. Kondisi netral ditandai oleh distribusi massa air hangat yang relatif merata di sekitar Indonesia dengan suhu permukaan laut mendekati nilai klimatologis normal (N. Saji & Yamagata, 2003). Representasi dinamika tersebut diperlihatkan dalam gambar :



Gambar 6. Kondisi permukaan laut Indian Ocean Dipole Neutral (Sumber : Wilayah Indian Ocean Dipole Normal (N. H. Saji et al., 1999)

2.4 Satelit Nasa Power (Prediction Of Worldwide Energy Resources)

NASA POWER merupakan salah satu badan antariksa yang menyediakan data penting untuk studi iklim dan proses iklim jangka panjang. Data berbasis satelit dan model ini telah terbukti cukup akurat dalam menyediakan data sumber daya surya dan meteorologi yang andal di wilayah yang pengukuran permukaannya jarang atau tidak ada sama sekali. Data dari NASA POWER terbukti dapat digunakan dengan baik untuk analisis perubahan iklim, analisis hidrologi, temperature dan indeks kelembaban, serta memprediksi temperature dan hujan di berbagai belahan bumi. NASA melewati platform NASA POWER menyajikan sumber data agroklimatologi prospektif serta komprehensif. Dengan memakai informasi berbasis satelit serta pemodelan iklim, NASA POWER menyajikan data mengenai

suhu udara, curah hujan, kelembapan atmosfer, serta beragam parameter agroklimatologis lainnya yang bisa dipakai selaku landasan penyokong pada analisa dan perencanaan (Bandira et al., 2023; Carrara et al., 2023; I Gusti Ngurah Putu Dharmayasa et al., 2022; Kadhim Tayyeh & Mohammed, 2023).

Data hujan NASA POWER merupakan salah satu produk data iklim berbasis satelit dan reanalisis yang banyak dimanfaatkan dalam penelitian hidrologi dan klimatologi. Produk ini dikembangkan oleh National Aeronautics and Space Administration (NASA) untuk menyediakan informasi meteorologi dan energi secara global yang mudah diakses oleh peneliti maupun praktisi di berbagai bidang. Data yang tersedia dalam sistem ini mencakup berbagai parameter iklim seperti curah hujan, suhu udara, radiasi matahari, kelembapan, serta kecepatan angin yang disajikan dalam resolusi temporal harian hingga bulanan dengan cakupan spasial global (Stackhouse et al., 2018).

Produk NASA POWER memanfaatkan berbagai sumber data termasuk reanalisis atmosfer seperti MERRA-2 yang menggabungkan observasi satelit dengan model atmosfer numerik untuk menghasilkan estimasi parameter iklim yang lebih konsisten dan berkelanjutan. Melalui pendekatan ini, data curah hujan dihasilkan dari proses integrasi berbagai sensor satelit, pengamatan atmosfer, serta simulasi hujan secara spasial dan temporal di seluruh dunia (Gelaro et al., 2017).

Dataset satelit global seperti ini banyak digunakan dalam analisis variabilitas iklim, kekeringan, serta pemodelan hidrologi karena memiliki cakupan spasial yang luas dan konsisten. Selain itu, data NASA POWER juga sering dimanfaatkan dalam berbagai penelitian terkait analisis indeks iklim, seperti *Standardized Precipitation Index* (SPI), studi perubahan iklim, serta kajian pengaruh fenomena iklim global seperti El Niño–Southern Oscillation (ENSO) dan Indian Ocean Dipole (IOD) terhadap pola curah hujan regional. Ketersediaan data yang kontinu dalam jangka waktu panjang, kemudahan akses, serta minimnya nilai data hilang (*missing values*) menjadikan dataset NASA POWER sebagai salah satu sumber data yang penting dalam mendukung analisis klimatologi dan hidrologi terutama di wilayah yang

memiliki keterbatasan stasiun pengamatan hujan (Beck et al., 2017; Huffman et al., 2019).

Beberapa penelitian telah melakukan evaluasi dan validasi terhadap data curah hujan berbasis satelit termasuk data yang digunakan dalam sistem NASA POWER Data Access Viewer dengan membandingkannya terhadap data observasi dari stasiun hujan di berbagai wilayah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dataset berbasis satelit umumnya mampu merepresentasikan pola curah hujan secara spasial dan temporal dengan cukup baik, terutama pada skala bulanan hingga musiman. Namun demikian, pada skala harian sering ditemukan perbedaan nilai yang cukup signifikan akibat keterbatasan resolusi spasial serta karakteristik hujan konvektif yang dominan di wilayah tropis (Beck et al., 2017).

Beberapa studi juga menunjukkan bahwa performa data hujan satelit sangat dipengaruhi oleh kondisi topografi dan karakteristik iklim lokal. Wilayah dengan topografi kompleks seperti daerah pegunungan dan wilayah pesisir sering menunjukkan deviasi yang lebih besar antara data satelit dan data observasi lapangan (Sun et al., 2018). Oleh karena itu, proses evaluasi akurasi data menjadi langkah penting sebelum data digunakan dalam analisis hidrologi atau klimatologi. Evaluasi tersebut biasanya dilakukan dengan menggunakan berbagai indikator statistik seperti koefisien korelasi (*correlation coefficient*), *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Error* (MAE), dan *Mean Bias Error* (MBE) untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara data satelit dan data pengamatan langsung (Gebremichael & Hossain, 2010). mengetahui tingkat kesesuaian antara data satelit dan data pengamatan langsung (Gebremichael & Hossain, 2010).

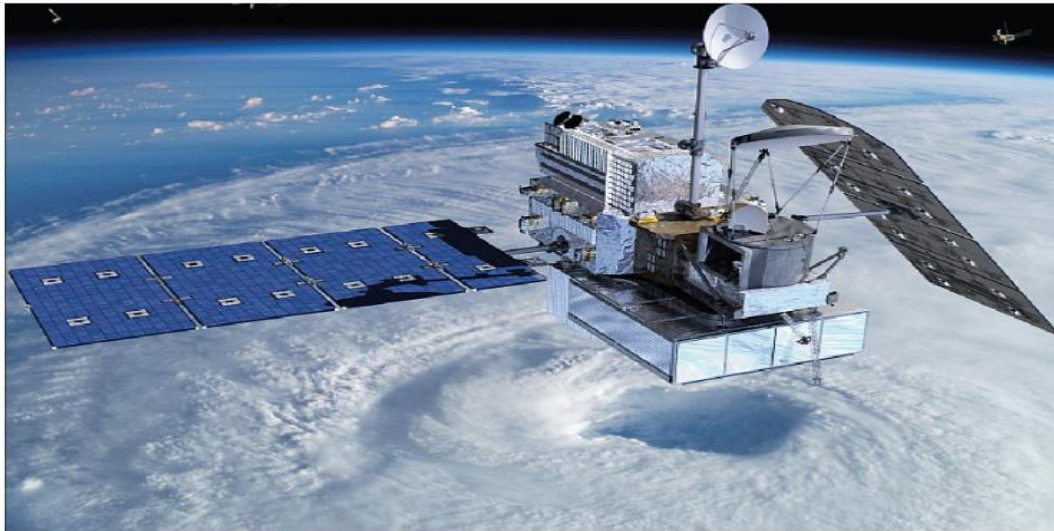
Secara keseluruhan, data yang tersedia dalam sistem NASA POWER Data Access Viewer tetap menjadi sumber informasi yang sangat bermanfaat dalam berbagai penelitian iklim dan lingkungan karena ketersediaannya yang bebas biaya, memiliki seri data jangka panjang, serta kemudahan akses melalui antarmuka web maupun API (Stackhouse et al., 2018). Produk ini menjadi alternatif penting untuk melengkapi data stasiun hujan, mengisi kekosongan data pengamatan, serta mendukung analisis spasial dan temporal curah hujan dalam konteks variabilitas

iklim, kekeringan, dan perubahan iklim. Dengan proses validasi dan pengolahan data yang tepat, dataset berbasis satelit ini dapat memberikan gambaran yang cukup representatif untuk berbagai kebutuhan analisis ilmiah maupun perencanaan sumber daya air (Beck et al., 2017).

Secara keseluruhan, perbandingan antara data suhu dan hasil simulasi tanggal anthesis menunjukkan bahwa data suhu dari sistem NASA POWER Data Access Viewer memiliki tingkat kegunaan yang cukup baik pada wilayah dengan kesesuaian data yang memadai. Namun demikian, pemilihan skala geografis analisis perlu diperhatikan secara cermat. Meskipun memiliki keunggulan aksesibilitas, perlu diperhatikan bahwa data berbasis satelit ini memiliki resolusi spasial tertentu yang mungkin memerlukan penyesuaian untuk analisis pada skala lokal yang sangat detail. Oleh karena itu, dengan proses validasi dan penerapan teknik pengolahan data yang tepat seperti koreksi bias (*bias correction*) terhadap data observasi lapangan dataset ini dapat memberikan gambaran yang sangat representatif untuk berbagai kebutuhan analisis ilmiah, pemodelan hidrologi, maupun perencanaan strategis sumber daya air (Beck et al., 2017).

Mengingat adanya variabilitas cuaca lokal yang tinggi, dataset NASA/POWER lebih sesuai digunakan untuk analisis pada skala regional dengan jarak minimum antar wilayah sekitar 100 km serta tidak mencakup daerah pesisir yang memiliki dinamika iklim lokal yang kompleks (White et al., 2011). Oleh karena itu, penggunaan data ini dalam penelitian lebih difokuskan untuk mengidentifikasi pola umum dan kecenderungan variabilitas iklim pada skala luas, bukan untuk merepresentasikan kondisi mikroklimat secara spesifik di suatu lokasi tertentu. Pemodelan berbasis citra satelit dalam dataset ini juga memungkinkan visualisasi distribusi spasial parameter iklim secara lebih komprehensif. Pemodelan gambar satelit dapat dilihat pada gambar berikut.

Gambar 7. Satelit inti GPM dilengkapi dengan instrumen GMI (Global Microwave Imager) yang memungkinkan pengamatan presipitasi secara lebih akurat dibandingkan misi sebelumnya (Hou et al., 2014).



Gambar 7. Satelit GPM (Global Precipitation Measurement) (Sumber :
Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) Huffman, G.
J., et al. (2019))

Badan satelit (*spacecraft bus*) memiliki struktur yang terbuat dari aluminium dan material komposit. Desainnya bersifat modular serta dilengkapi dengan sistem avionik yang sepenuhnya redundan sesuai dengan standar keandalan Class B. Antena *high-gain* yang dapat diarahkan dan dipasang pada boom berengsel ganda memungkinkan transmisi data ilmiah secara hampir kontinu dari instrumen GMI dan DPR melalui sistem Tracking and Data Relay Satellite System (TDRSS). Sistem ini bekerja pada mode Multiple Access (MA) dengan laju data sekitar 230 kbit/s dan mode Single Access (SA) dengan laju data sekitar 2300 kbit/s. Satelit GPM memiliki massa sekitar 3850 kg dengan daya listrik sekitar 1,95 kW. Masa operasional yang dirancang adalah 3 tahun, dengan target minimal 5 tahun operasi. Sistem propulsi satelit menggunakan 12 pendorong hidrazin (4 di bagian depan dan 8 di bagian belakang) untuk pemeliharaan orbit secara rutin pada ketinggian sekitar 407 km dengan kemiringan orbit 65° . Tangki bahan bakar memiliki kapasitas yang memberikan cadangan bahan bakar melebihi kebutuhan operasional selama 5 tahun. Selain itu, kapasitas baterai yang ditingkatkan hingga 200 Ah juga dirancang untuk memastikan umur misi dapat melampaui kebutuhan konsumsi selama 5 tahun (Huffman et al., 2019).

2.5 Pengenalan Software Ftrans dalam Analisis

FTRANS merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk mentransformasikan data deret waktu (*time domain*) ke dalam domain frekuensi (*frequency domain*) melalui pendekatan transformasi Fourier. Program ini bisa dioperasikan dalam sistem operasi Windows maupun Linux karena berbasis lingkungan DOS. FTRANS mengimplementasikan algoritma FFT, dikembangkan Cooley dan Tukey (1965), dengan ketentuan jumlah data (N) harus berbentuk pangkat dua (2^n). Oleh karena itu, jumlah data yang dapat diproses mengikuti aturan tersebut. Sebagai contoh, untuk data harian selama satu tahun (365 hari), program hanya akan memproses 256 data yang memenuhi format pangkat dua terdekat. Secara teknis, FTRANS hanya mengenali berkas input dengan nama *signals.inp*. Berkas dengan nama lain, meskipun memiliki ekstensi dan format yang sama (*.inp*), tidak dapat diproses oleh sistem. Hasil pengolahan data menghasilkan tiga jenis keluaran, yaitu *FOURIER.INP* yang berisi parameter untuk analisis model periodik, *SPECTRUM.OUT* yang memuat nilai frekuensi dari data curah hujan, serta *spectrum.eps* yang menyajikan visualisasi grafik spektrum frekuensi (Angin et al., 2024).

2.6 Metode Fast Fourier Transform (FFT)

Metode spektral ialah pengembangan dari transformasi *Fourier* yang dirangkai guna meningkatkan efisiensi komputasi dalam analisis data deret waktu (*time series*). Pendekatan ini banyak digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik periodisitas dan siklus yang terkandung dalam data, termasuk pada variabel curah hujan. Secara matematis, metode spektral mentransformasikan sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi, sehingga komponen frekuensi dominan dalam data dapat dianalisis secara kuantitatif. Melalui proses ini, pola perulangan dan periode tertentu dapat diidentifikasi, yang selanjutnya memungkinkan interpretasi terhadap dinamika iklim maupun jenis variabilitas. Metode ini dapat dipresentasikan kedalam Persamaan (2):

$$P(fm) = \frac{\Delta t}{2\sqrt{\pi}} \sum_{n=N/2}^{n=N/2} p(t_n) : e^{-\frac{2\pi i}{M} \cdot m \cdot n} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana

$P(t_n)$ = data seri curah hujan dalam domain waktu

$P(fm)$ = data dalam domain frekuensi.

t_n = variabel seri dari waktu yang mempresentasikan panjang data ke N.

f_m = hujan dalam seri frekuensi (frequency domain).

Sehingga kejadian perulangan hujan dapat diamati dan dianalisis dalam metode ini juga kita dapat melihat perulangan fenomena alam yang terjadi IOD Dan dampak terhadap curah hujan dari data yang digunakan (Zakaria, 2011a) (Zakaria, 2011b).

2.7 Metode Lomb Periodogram

Melewati implementasi metode ini, dampak serta pola keberulangan *IODM* bisa ditelaah dengan kian komprehensif. Pendekatan tersebut memakai rentang waktu analisa yang relatif panjang. Kendati demikian, keunggulannya terletak pada fleksibilitas data yang tidak mensyaratkan ketersediaan berkala pada interval waktu tertentu. Selain itu, metode ini memungkinkan identifikasi periode-periode ekstrem yang terekam pada rangkaian analisa data.

$$P(f) = \frac{1}{4\pi \cdot s^2} \left\{ \frac{[\sum_{i=1}^n (x - \bar{x}) \cos \omega(t_i - \tau)]^2}{\sum_{i=1}^n \cos^2 \omega(t_i - \tau)} + \frac{[\sum_{i=1}^n (x - \bar{x}) \sin \omega(t_i - \tau)]^2}{\sum_{i=1}^n \sin^2 \omega(t_i - \tau)} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

τ didefinisikan:

$$\tan(2\omega\tau) = \frac{\sum_{i=1}^n \sin(2\omega t_i)}{\sum_{i=1}^n \cos(2\omega t_i)} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana,

$P(f)$ = Periodogram

\bar{x} = Rata Rata tinggi curah hujan

x = Tinggi Curah Hujan

t = Waktu

ω = Frekuensi

Dengan mengaplikasikan dua pendekatan analitis, yakni metode FFT serta metode *Lomb Periodogram*, studi ini memungkinkan dilaksanakannya komparasi kinerja di antara keduanya, serta menyajikan deskripsi kuantitatif pada karakteristik data curah hujan yang akan dianalisa (Lomb, 1976).

2.8 Dampak Anomali Iklim di Indonesia

Pengaruh IODM pada kondisi iklim Indonesia sangat signifikan, khususnya dalam memodulasi variabilitas curah hujan. Pada fase IOD positif, timbul penurunan suhu permukaan laut di wilayah timur Samudera Hindia (sekitar Barat Indonesia), yang menyebabkan berkurangnya aktivitas konveksi dan pembentukan awan. Kondisi ini berdampak pada penurunan curah hujan di berbagai wilayah Indonesia dan berpotensi memicu kejadian kekeringan, terutama pada sektor pertanian, perkebunan, serta ketersediaan sumber daya air. Sebaliknya, dalam tahapan IOD negatif, suhu permukaan laut di sekitar perairan Indonesia cenderung lebih hangat dari kondisi normal. Anomali ini meningkatkan proses konveksi atmosfer dan pembentukan awan hujan, sehingga curah hujan di Indonesia cenderung meningkat. Dalam kondisi tersebut, beberapa wilayah dapat mengalami musim kemarau yang lebih basah atau bahkan peningkatan kejadian hujan ekstrem yang berpotensi menimbulkan bencana hidrometeorologi, seperti banjir dan tanah longsor. Dampak IODM tidak hanya terbatas pada aspek klimatologis, tetapi juga berimplikasi pada sektor sosial dan ekonomi. Fase IOD positif dapat menghambat produktivitas pertanian akibat defisit air, sedangkan fase IOD negatif meningkatkan risiko gangguan infrastruktur dan aksesibilitas wilayah akibat kejadian banjir dan longsor. Oleh karena itu, pemahaman terhadap dinamika IODM menjadi penting dalam mendukung sistem mitigasi dan perencanaan adaptasi berbasis iklim di Indonesia (Ismail et al., 2020).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Metode studi ialah rangkaian prosedur sistematis, digunakan guna memperoleh data, mengolah data, hingga menghasilkan temuan penelitian. Metode ini mencakup teknik pengumpulan data, tahapan pengolahan data, serta pendekatan analisis yang diterapkan untuk menjawab tujuan studi. Pada studi ini, jenis data yang dipakai ialah data sekunder, yakni tidak didapati langsung oleh peneliti, melainkan bersumber dari instansi atau lembaga terkait yang menyediakan data resmi. Penggunaan data sekunder ini memungkinkan analisis dilakukan secara komprehensif dan berkelanjutan sesuai dengan kebutuhan penelitian.

3.2 Prosedur Penelitian

Studi ini dibagi menjadi sejumlah tahap, ialah:

A. Studi Literatur

Studi literatur dalam penelitian ini dilakukan melalui penelusuran berbagai sumber tertulis, seperti buku serta temuan studi sebelumnya yang relevan fenomena *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM). Selain itu, dilakukan pula kajian pada metode analisis yang dipakai metode, yaitu FFT serta *Lomb Periodogram*. Seluruh sumber tersebut kemudian dihimpun dan dimanfaatkan sebagai referensi penelitian guna merumuskan hipotesa dasar, menyusun kerangka penelitian, serta memperkuat argumentasi yang dikembangkan dalam penelitian

B. Pengumpulan Data

Studi ini memanfaatkan data sekunder berupa data curah hujan yang diperoleh dari Satelit NASA POWER. Data curah hujan yang dipakai mencakup periode pengamatan 43 tahun, yakni dari tahun 1981 hingga 2024. Proses pengumpulan data dilakukan dengan mengunduh data secara daring melalui laman resmi NASA POWER dari *website* pada <https://power.larc.nasa.gov/>. Dan sudah di sajikan dalam bentuk lampiran barcode jumlah data hasil unduhan dari stiap 5 (lima) Stasiun Wilayah Aceh, (5), Lima Stasiun Wilayah Tengah dan (6) Stasiun Wilayah Timur Jumlah (16) Enam Belas stasiun hujan yang dianalisa pada penelitian ini ditentukan berlandaskan ketersediaan dan kelengkapan data.

C. Pengolahan Data

Setelah seluruh data berhasil dikumpulkan, tahapan selanjutnya adalah tahapan pengolahan data yang dilaksanakan melewati sejumlah tahapan, yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Mengumpulkan dan menyusun data curah hujan bulanan pada NASA POWER 1981–2024 untuk tiga lokasi Provinsi Aceh, Provinsi Kalimantan Tengah dan Provinsi Maluku.
2. Melakukan pemeriksaan dan penanganan data dalam bentuk deret waktu *time series*
3. Melakukan analisis spektral memakai dua metode yaitu FFT serta *Lomb Periodogram* untuk mengidentifikasi periode perulangan siklus yang dominan pada masing-masing lokasi.
4. Mengidentifikasi puncak frekuensi dominan yang konsisten dengan rentang periode *Indian Ocean Dipole Mode (IODM)* dengan meninjau nilai amplitudo yang paling tinggi diantara stasiun hujan yang dianalisis.
5. Membandingkan power spectrum dan periode dominan hasil *Fast Fourier Transform* FFT serta *Lomb Periodogram* antar ketiga lokasi untuk menentukan lokasi yang menunjukkan sinyal *Indian Ocean Dipole Mod(IODM)* paling kuat amplitudo tertinggi pada rentang periode tersebut.

6. Mengambil kesimpulan dari beberapa hasil analisis yang dilakukan

3.3 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian meliputi beberapa provinsi di Indonesia yang dipilih untuk merepresentasikan wilayah Indonesia bagian barat, tengah, dan timur. Provinsi Aceh ditetapkan sebagai representasi wilayah Indonesia bagian barat, Provinsi Kalimantan Tengah mewakili wilayah Indonesia bagian tengah, sedangkan Provinsi Maluku dipilih sebagai representasi wilayah Indonesia bagian timur. Pemilihan ketiga provinsi tersebut didasarkan pada pertimbangan ketersediaan, kontinuitas, serta kelengkapan data curah hujan tahunan yang diperoleh dari stasiun hujan maupun data estimasi berbasis satelit pada masing-masing wilayah penelitian. Selain itu, ketiga wilayah tersebut memiliki karakteristik geografis yang berbeda, baik dari segi topografi, bentang alam, maupun pengaruh sistem iklim regional, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih representatif mengenai variasi pola curah hujan di Indonesia. Dengan adanya perbedaan kondisi geografis tersebut, diharapkan analisis yang dilakukan mampu menggambarkan variasi parameter statistik curah hujan secara lebih komprehensif pada masing-masing wilayah penelitian. Informasi terkait koordinat geografis, luas wilayah, serta karakteristik umum setiap provinsi yang menjadi lokasi penelitian disajikan secara rinci pada Tabel 3.

Tabel 3. Letak Koordinat dan Luas Area Provinsi Aceh, Provinsi Kalimantan Tengah dan Provinsi Maluku.

Provinsi	Latak Koordinat	Luas Area
Aceh (Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Aceh)	2° - 6° LU dan 95° - 98° BT	57.956 km ²
Kalimantan Tengah (Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Kalimantan_Tengah)	0°46' LU - 3°33' LS dan 110°51' - 115°50' BT	153.564,5 km ²

Maluku (Sumber: https://perkim.id/profil-pkp/profil-perumahan-dan-kawasan-permukiman-provinsi-maluku)	3°0' LU - 3°40' LS dan 123°50' - 129°50' BT	712.479 km ²
--	---	----------------------------

Provinsi Aceh terletak di ujung paling barat Pulau Sumatera dan merupakan wilayah paling barat Negara Kesatuan Republik Indonesia. Provinsi ini memiliki topografi yang bervariasi mulai dari dataran rendah pesisir hingga daerah pegunungan di bagian tengah yang merupakan bagian dari Pegunungan Bukit Barisan, dengan ketinggian wilayah berkisar dari permukaan laut hingga lebih dari 3.000 meter di atas permukaan laut. Secara administratif, wilayah ini berbatasan dengan Selat Malaka di bagian utara dan timur, Provinsi Sumatera Utara di bagian selatan, serta Samudra Hindia di bagian barat. Kondisi geografis tersebut menyebabkan Provinsi Aceh memiliki karakteristik iklim yang dipengaruhi oleh interaksi antara daratan dan perairan laut lepas (Aldrian et al., 2011; BMKG, 2020; BPS, 2023).

Provinsi Kalimantan Tengah merupakan provinsi dengan luas wilayah terbesar kedua di Indonesia setelah Provinsi Papua. Secara administratif, wilayah ini berbatasan dengan Provinsi Kalimantan Barat dan Kalimantan Timur di bagian utara, Provinsi Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan di bagian timur, Laut Jawa di bagian selatan, serta Provinsi Kalimantan Barat di bagian barat. Secara fisiografis, wilayah Kalimantan Tengah didominasi oleh dataran rendah dan rawa di bagian selatan, sedangkan wilayah utara berupa perbukitan hingga pegunungan yang termasuk dalam rangkaian Pegunungan Schwaner dengan ketinggian wilayah dari permukaan laut hingga lebih dari 1.500 meter. Letak geografisnya yang berada di bagian tengah Pulau Kalimantan menyebabkan wilayah ini memiliki karakter iklim tropis dengan pengaruh daratan yang relatif kuat (BPS, 2023; Aldrian et al., 2011; Yuliani & Winarso, 2017).

Provinsi Maluku merupakan wilayah kepulauan yang didominasi oleh perairan laut dan terdiri atas sejumlah pulau besar maupun kecil. Secara fisiografis, wilayah ini memiliki topografi berbukit hingga bergunung dengan ketinggian wilayah berkisar

dari permukaan laut hingga lebih dari 3.000 meter di atas permukaan laut. Secara administratif, Provinsi Maluku berbatasan dengan Laut Seram di bagian utara, Samudra Hindia dan Laut Arafura di bagian selatan, Provinsi Papua Barat di bagian timur, serta Laut Banda di bagian barat. Dominasi wilayah perairan menyebabkan Maluku memiliki karakter iklim maritim yang kuat dan sangat dipengaruhi oleh interaksi dinamika atmosfer dan laut (Aldrian et al., 2011; BMKG, 2020; BPS, 2023).

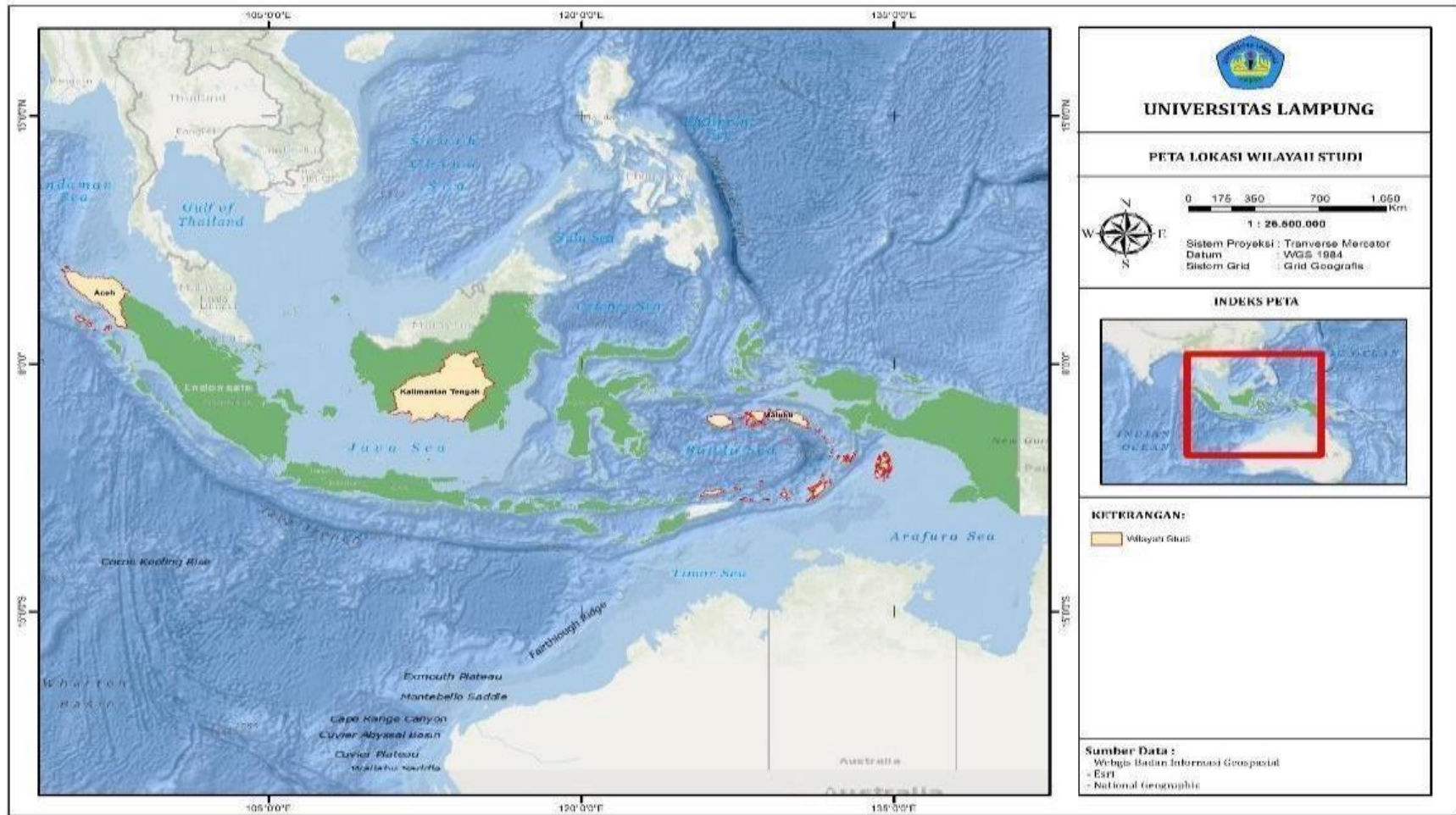
Ketiga lokasi penelitian tersebut secara administratif merepresentasikan wilayah Indonesia bagian barat, tengah, dan timur serta memiliki karakteristik kondisi alam yang bervariasi. Perbedaan bentang alam dan ketinggian wilayah dari permukaan laut pada masing-masing lokasi mencerminkan variasi kondisi geografis yang signifikan. Keberagaman tersebut menjadikan ketiga wilayah ini relevan untuk digunakan dalam analisis perbedaan pola curah hujan serta parameter statistik yang dihasilkan dari setiap karakteristik stasiun hujan. Oleh karena itu, titik-titik stasiun satelit NASA POWER yang berlokasi di Provinsi Aceh, Provinsi Kalimantan Tengah, dan Provinsi Maluku digunakan sebagai representasi wilayah penelitian (Aldrian & Susanto, 2003; Aldrian et al., 2011; NASA, 2018).

Gambar 8 menampilkan peta distribusi titik pengamatan data satelit NASA POWER di wilayah Indonesia yang digunakan sebagai sumber data curah hujan dalam penelitian ini, sehingga dapat memberikan gambaran spasial mengenai lokasi pengambilan data berbasis penginderaan jauh.

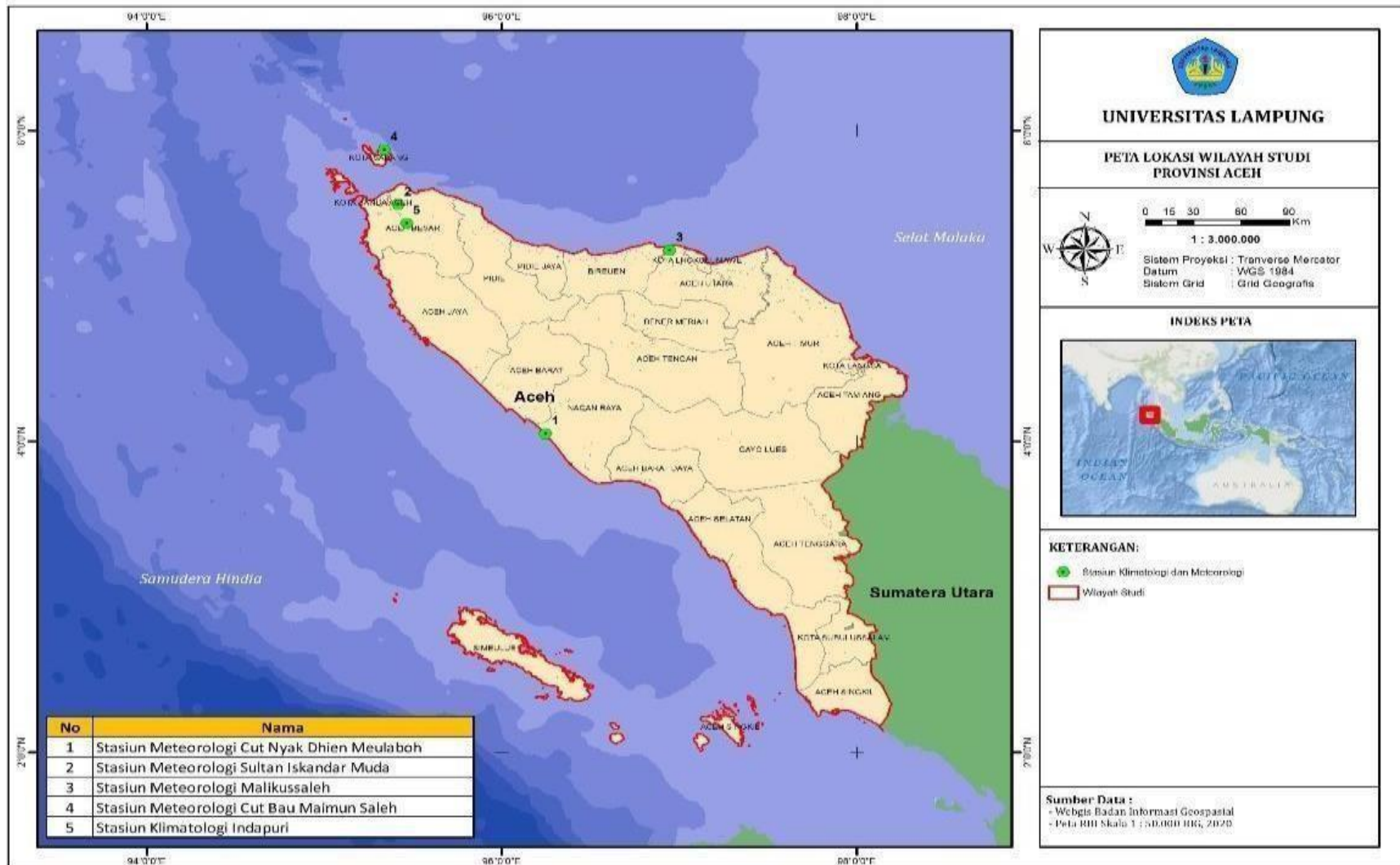
Gambar 9. Di wilayah Provinsi Aceh memperlihatkan sebaran stasiun hujan yang digunakan sebagai objek pengamatan dalam penelitian ini. Pada wilayah Provinsi Aceh, stasiun yang dianalisis meliputi Stasiun Meteorologi Tjut Nyak Dien Meulaboh, Stasiun Meteorologi Sultan Iskandar Muda, Stasiun Meteorologi Malikussaleh, Stasiun Meteorologi Cut Bau Maimun Saleh, serta Stasiun Klimatologi Indrapuri.

Gambar 10. Di wilayah Provinsi Kalimantan Tengah, stasiun hujan yang dijadikan objek penelitian terdiri atas Stasiun Meteorologi Tjilik Riwut, Stasiun Meteorologi Iskandar, Stasiun Meteorologi H. Asan, Stasiun Meteorologi Beringin, dan Stasiun

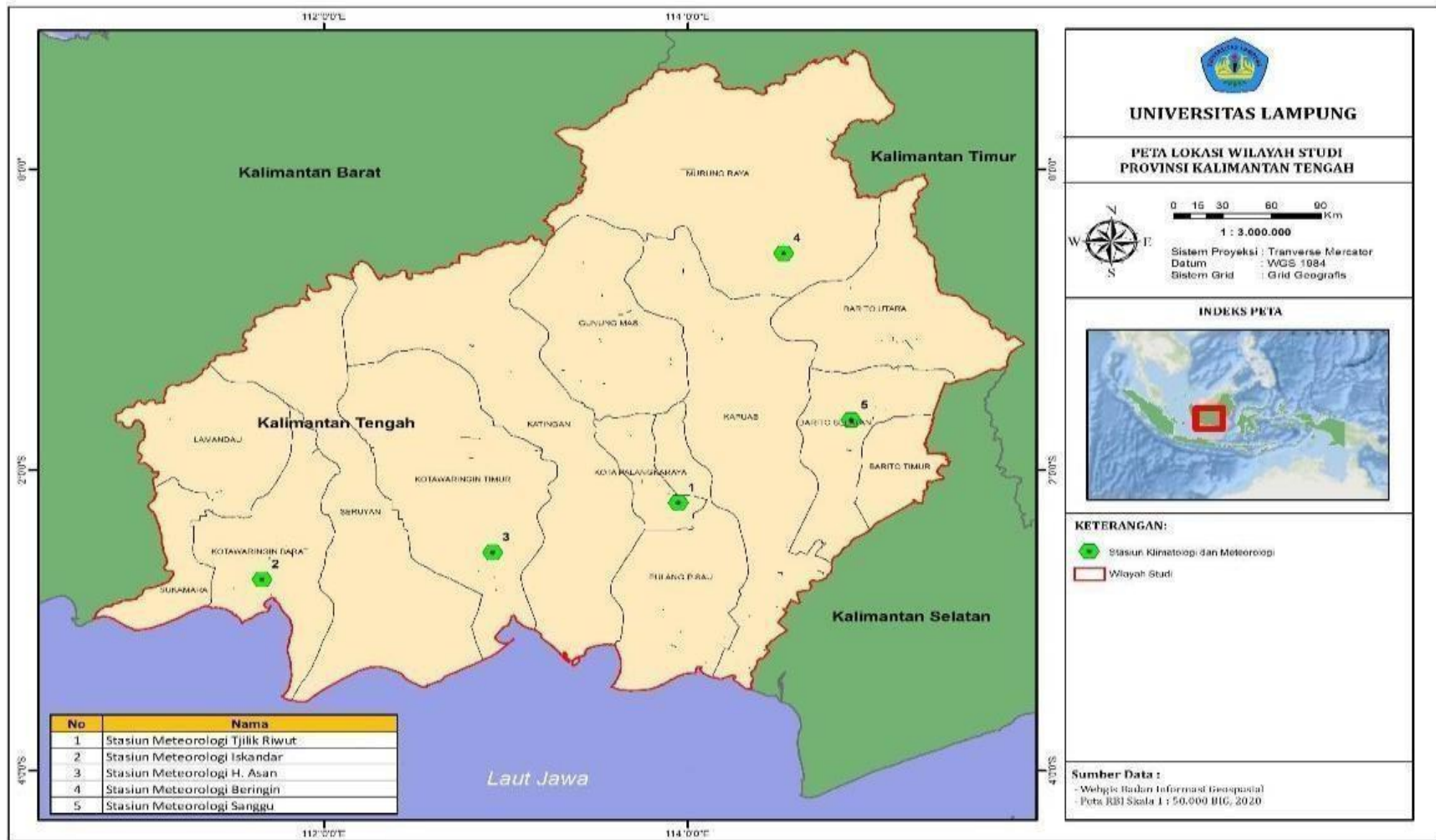
Gambar 11. Di wilayah Provinsi Maluku diwakili oleh Stasiun Meteorologi Namlea, Stasiun Meteorologi Kuffar, Stasiun Meteorologi Karel Sadsuitubun, Stasiun Meteorologi Bandaneira, Stasiun Meteorologi Amahai, serta Stasiun Klimatologi Provinsi Maluku. Gambar 8, 9 ,10, 11 dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



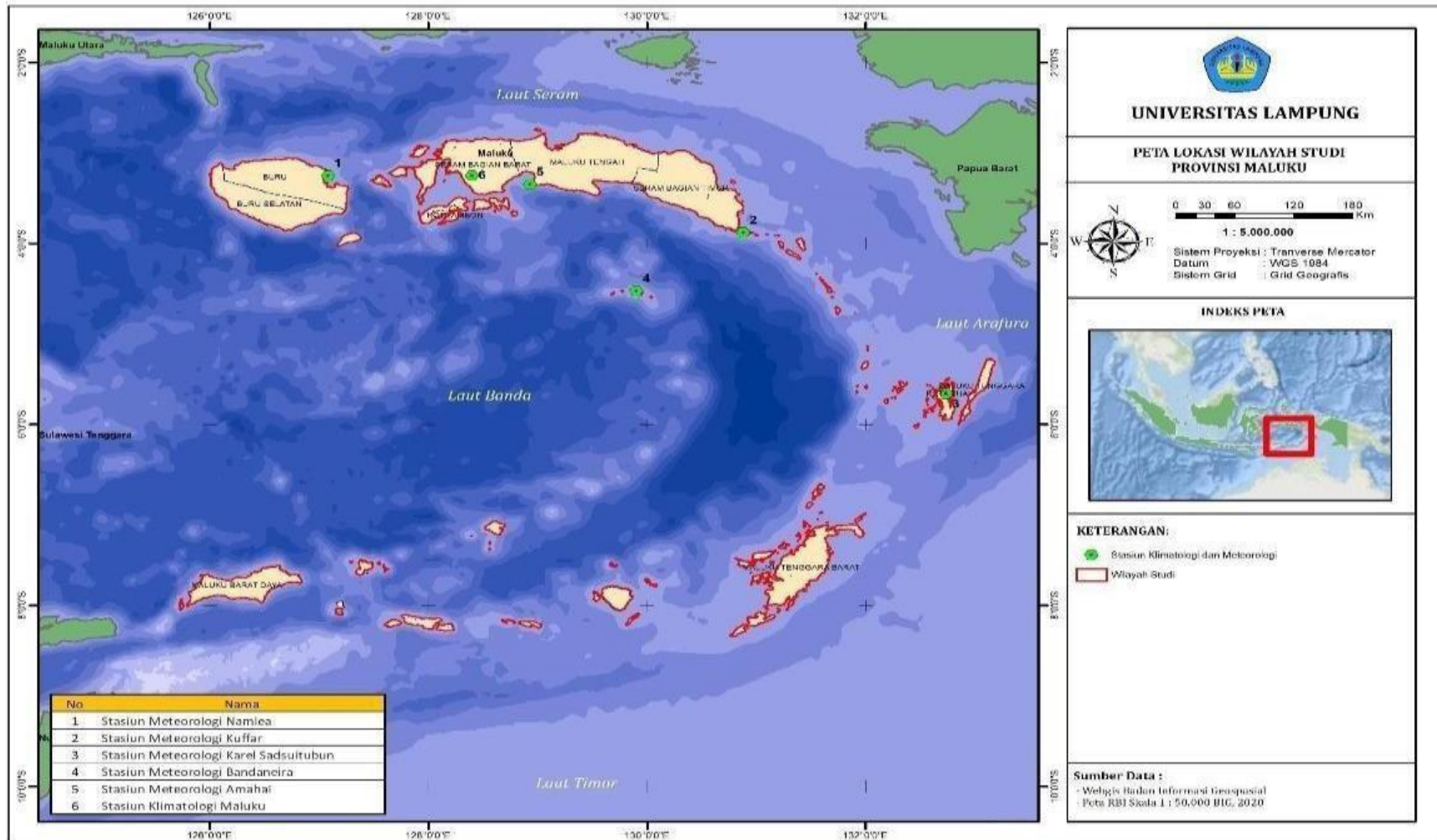
Gambar 8. Peta Wilayah Titik Satelit Nasa Power di Indonesia



Gambar 9. Peta Wilayah Titik Satelit Nasa Power Wilayah Aceh



Gambar 10. Peta Wilayah Titik Satelit Nasa Power Wilayah Kalimantan Tengah



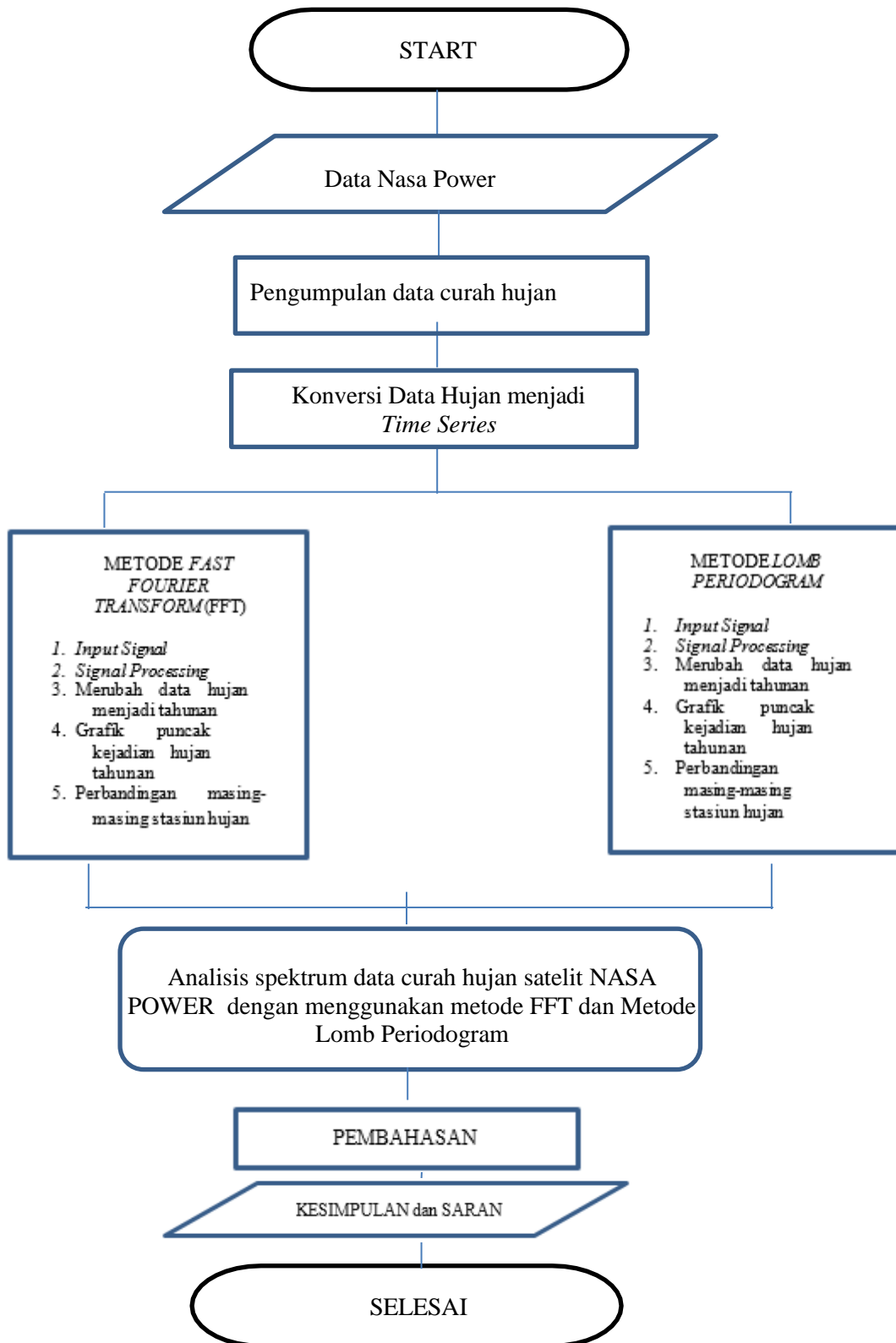
Gambar 11. Peta Wilayah Titik Satelit Nasa Power Wilayah Maluku

Pemilihan stasiun-stasiun pengamatan tersebut didasarkan pada pertimbangan ketersediaan data curah hujan yang relatif lengkap, kontinu, dan memiliki rentang waktu pengamatan yang memadai. Ketersediaan data yang berkesinambungan tersebut sangat penting untuk mendukung pelaksanaan analisis spasial dan temporal curah hujan secara lebih akurat dan komprehensif. Dengan demikian, data dari stasiun-stasiun tersebut diharapkan mampu memberikan gambaran yang representatif mengenai variabilitas curah hujan serta memungkinkan dilakukan pengkajian terhadap keterkaitannya dengan fenomena iklim yang menjadi fokus dalam penelitian ini.

3.4. Analisis Hasil Penelitian

Analisis Temuan studi dilakukan melalui perhitungan serta analisis deskriptif terhadap data yang digunakan. Hasil analisis disajikan dalam bentuk visualisasi berupa gambar dan grafik untuk setiap stasiun hujan, serta hasil pengolahan data memakai metode FFT serta *Lomb Periodogram* pada wilayah Indonesia bagian barat, tengah, serta timur. Visualisasi digunakan untuk menggambarkan pola, karakteristik, dan variasi curah hujan pada masing-masing wilayah penelitian. Selanjutnya, hasil yang diperoleh dianalisis lebih lanjut pada tahap pembahasan guna menginterpretasikan temuan penelitian, sehingga dapat dirumuskan kesimpulan yang disusun berdasarkan kaidah dan prinsip ilmiah penelitian.

3.5. Diagram Alir Penelitian



Gambar 12. Diagram alir

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Simpulan studi ini ialah:

1. Analisis spektrum curah hujan menggunakan Lomb Periodogram dan FFT menunjukkan bahwa pengaruh IODM pada curah hujan Indonesia sangat besar di wilayah Barat (Aceh), sedang di wilayah Tengah (Kalimantan Tengah), dan melemah di wilayah Timur (Maluku).
2. Aceh (Indonesia Bagian Barat) adalah wilayah dengan pengaruh IODM paling tinggi, dibuktikan dengan dominasi siklus 2,2–3,8 tahun di 100% stasiun, amplitudo maksimum mencapai 0,70 (Cut Nyak Dienn), dan koherensi spasial sempurna yang tidak terlihat di wilayah lain. Stasiun H Asan (0,673 pada 3,20 tahun) dan Malikulsaleh (0,478 pada 3,20 tahun) menjadi yang paling sensitif terhadap fluktuasi IODM.
3. Di wilayah Barat (Aceh), periode yang paling dominan konsisten berada pada rentang 2,2–3,8 tahun, ditunjukkan oleh hasil *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *Lomb Priodogram* yang selaras serta amplitudo yang relatif tinggi. Di wilayah Tengah (Kalimantan Tengah), periode dominan yang terkait IODM berada di sekitar 2,8–3,2 tahun, namun amplitudonya lebih kecil. Sementara itu, di wilayah Timur (Maluku), periode curah hujan yang berhubungan dengan IODM muncul pada kisaran 5,0–5,4 tahun.

5.2 Saran

Guna mengembangkan studi berikutnya, penulis menganjurkan guna menambahkan hal-hal berikut:

1. Untuk memperoleh hasil yang lebih representatif, disarankan menambah jumlah stasiun pengamatan pada setiap wilayah kajian. Hal ini bertujuan agar distribusi spasial pengaruh *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) terhadap curah hujan dapat dianalisis dengan lebih akurat dan komprehensif.
2. Penelitian ini masih berfokus pada analisis periode siklus IODM. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji lebih lanjut fase IODM, baik positif maupun negatif, sehingga dapat diketahui dampaknya secara lebih spesifik terhadap kondisi curah hujan. Hasil tersebut diharapkan dapat memberikan manfaat yang lebih luas bagi masyarakat maupun pemerintah dalam upaya mitigasi bencana hidrometeorologi.
3. Disarankan agar penelitian selanjutnya mengombinasikan analisis IODM dengan fenomena iklim global lainnya, seperti El Niño Southern Oscillation (ENSO), sehingga dapat diketahui pengaruh gabungan antar fenomena terhadap variabilitas curah hujan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Albeta, R., Ishkaq Iskandar, Hamdi Akhsan, & Suhadi. (2024). Analisis pola curah hujan di wilayah Sumatera bagian Utara menggunakan Fast Fourier Transform (FFT). *Jurnal Ilmu Fisika dan Pembelajarannya (JIFP)*, 8(1), 9–13. <https://doi.org/10.19109/46k8ez53>
- Aldrian, E., & Dwi Susanto, R. (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>
- Angin, I. K. P., Zakaria, A., & Kusumastuti, D. I. (2024). *REKAYASA Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*. 29(2), 44–48.
- Bandira, P. N. A., Tan, M. L., Teh, S. Y., Shaharudin, S. M., Samat, N., & Mahamud, M. A. (2023). Assessment of NASA POWER for Climate Change Analysis using the de Martonne Climate Index in Northern Peninsular Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1238(1), 1–11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1238/1/012029>
- Beck, H. E., Dijk, A. I. J. M. Van, Roo, A. De, Dutra, E., Fink, G., & Orth, R. (2017). Global evaluation of precipitation datasets. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2881–2903. <https://doi.org/doi.org/10.5194/hess-21-2881-2017>
- Carrara, E. R., Lopes, P. S., Reis, A. C. Z., Silva, J. X., Dias, L. C. de C. M., Schultz, É. B., Marques, D. B. D., da Silva, D. A., Veroneze, R., Andrade, R. G., & Peixoto, M. G. C. D. (2023). NASA POWER satellite meteorological system is a good tool for obtaining estimates of the temperature-humidity index under Brazilian conditions compared to INMET weather stations data. *International Journal of Biometeorology*, 67(7), 1273–1277. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02493-5>
- Fadholi, A. (2013). Studi dampak El Nino dan Indian Ocean Dipole (IOD) terhadap curah hujan di Pangkalpinang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 11(2), 43–50. <https://doi.org/10.14710/jil.11.1.43-50>
- Gelaro, R., McCarty, W., Suárez, M. J., Todling, R., Molod, A., Takacs, L., Randles, C. A., Darmenov, A., Bosilovich, M. G., Reichle, R., Wargan, K., Coy, L., Cullather, R., Draper, C., Akella, S., Buchard, V., Conaty, A., da Silva, A. M., Gu, W., ... Zhao, B. (2017). The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2). *Journal of Climate*, 30(14), 5419–5454. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0758.1>
- Hairiah, K., Rahayu, S., Suprayogo, D., & Prayogo, C. (2016). Perubahan Iklim: Sebab dan dampaknya terhadap kehidupan. In B. Haryanto, R. M. Hilmansyah, & T. Atikah (Eds.), *Bahan Ajar 1*. CIFOR–ICRAF. <https://www.cifor->

icraf.org/

- Hou, A. Y., Kakar, R. K., Neeck, S., Azarbarzin, A. A., Kummerow, C. D., Kojima, M., Oki, R., Nakamura, K., & Iguchi, T. (2014). The global precipitation measurement mission. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(5), 701–722. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00164.1>
- Huffman, G. J., Adler, R. F., Bolvin, D. T., Gu, G., Nelkin, E. J., Bowman, K. P., Hong, Y., Stocker, E. F., & Wolff, D. B. (2007). The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, 8(1), 38–55. <https://doi.org/10.1175/JHM560.1>
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Braithwaite, Hsu, K., Joyce, R., Kidd, C., Nelkin, E. J., Sorooshian, S., Stocker, E. F., Tan, J., Wolff, D. B., & Abstract, P. X. (2019). Integrated Multi-satellitE Retrievals for the Global Precipitation Measurement (GPM) mission (IMERG). *Journal of Hydrometeorology*, 8(1), 1–23. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.1175/JHM560.1>
- I Gusti Ngurah Putu Dharmayasa, Cathleen Ariella Simatupang, & Doni Marisi Sinaga. (2022). NASA Power's: an alternative rainfall data resources for hydrology research and planning activities in Bali Island, Indonesia. *Journal of Infrastructure Planning and Engineering (JIPE)*, 1(1), 1–7. <https://doi.org/10.22225/jipe.1.1.2022.1-7>
- IPCC. (2001). Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability. In W. McCarthy, Canziani, Leary, Dokken (Ed.), *Ippc Working Group* (p. 10032). The Press Syndicate of the University of Cambridge. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg2/index.htm>
- Irianto, G., & Suciandini. (2006). Anomali Iklim: Faktor Penyebab, Karakteristik, dan Antisipasinya. *Iptek Tanaman Pangan*, 2, 101–121. <https://repository.pertanian.go.id/items/6af9c7f8-701a-4e98-9daf-48d0707a8cbd>
- Ismail, M. R., A, hmad Z., & Susilo, G. E. (2020). Analisis pengaruh anomali iklim terhadap curah hujan di Propinsi Bengkulu. *Rekayasa, Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung Analisis*, 24(1), 10–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.23960/rekrjits.v24i1.11>
- Kadhim Tayyeh, H., & Mohammed, R. (2023). Analysis of NASA POWER reanalysis products to predict temperature and precipitation in Euphrates River basin. *Journal of Hydrology*, 619, 129327. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129327>
- Lomb, N. R. (1976). Least-squares frequency analysis of unequally spaced data. *Astrophysics and Space Science*, 39(2), 447–462. <https://doi.org/10.1007/BF00648343>
- Loo, Y. Y., Billa, L., & Singh, A. (2015). Effect of climate change on seasonal monsoon in Asia and its impact on the variability of monsoon rainfall in Southeast Asia. *Geoscience Frontiers*, 6(6), 817–823. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2014.02.009>
- Mashita, M., & Lumban-Gaol, J. (2019). Variability of Sea Surface Temperature (SST) and Chlorophyll-a concentration in the eastern Indian Ocean during the period 2002–2017. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 16(1), 55–62. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2019.v16.a3147>

- Mori, Y., Mori, T., & Kuroe, Y. (1997). A solution to the common Lyapunov function problem for continuous-time systems. *Proceedings of the 36th IEEE Conference on Decision and Control*, 4, 3530–3531. <https://doi.org/10.1109/CDC.1997.652397>
- Mulyono, D. (2014). Analisis karakteristik curah hujan di wilayah Kabupaten Garut Selatan. *Jurnal Konstruksi*, 13(1), 1–9. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.12-1.274>
- Naylor, R. L., Battisti, D. S., Vimont, D. J., Falcon, W. P., & Burke, M. B. (2007). Assessing risks of climate variability and climate change for Indonesian rice agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(19), 7752–7757. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701825104>
- Noya, V. H. P., Rumlawang, F. Y., & Lesnussa, Y. A. (2014). Aplikasi Transformasi Fourier untuk Menentukan Periode Curah Hujan (Studi Kasus: Periode Curah Hujan di Kabupaten Seram Bagian Barat, Provinsi Maluku). *Jurnal Matematika Integratif*, 10(2), 85. <https://doi.org/10.24198/jmi.v10i2.10251>
- Nugraheni, M., Zakaria, A., Wahono, E. P., Kusumastuti, D. I., Herison, A., Sipil, J. T., Teknik, F., Lampung, U., & Lampung, K. B. (2024). Rainfall Patterns in Indonesian Provinces During El-Nino and La-Nina: FFT and Lomb Periodogram Analysis. *Media Komunikasi Teknik Sipil, Jurnal Ilmu Dan Terapan Bidang Teknik Sipil*, 30(2), 157–165. <https://doi.org/10.14710/mkts.v30i2.65646>
- Perdana, D. A., Zakaria, A., & Sumiharni, S. (2015). Studi pemodelan curah hujan sintetik dari beberapa stasiun di wilayah Pringsewu. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 3(1), 45–56. <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v3i1.386>
- Prawaka, F., Zakaria, A., & Tugiono, S. (2016). Analisis data curah hujan yang hilang dengan menggunakan metode normal ratio, Inversed Square Distance, dan Cara rata-rata aljabar (Studi Kasus Curah Hujan Beberapa Stasiun Hujan Daerah Bandar Lampung). *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 4(3), 397–406. <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v4i3.418>
- Purnomo, S. N., Katalisa, P., Purti, M., Widiyanto, W., Sipil, J. T., Soedirman, U. J., Sipil, J. T., Soedirman, U. J., Soedirman, U. J., Soedirman, U. J., Sungai, A., & Gregorio, D. (2023). *Data hujan. November*, 16–17. <https://repository.unissula.ac.id/34708/>
- Rahayu, N. D., Sasmito, B., & Bashit, N. (2018). Analisis pengaruh fenomena Indian Ocean Dipole (IOD) terhadap curah hujan di Pulau Jawa. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(1), 57–67. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jgundip.2017.19299>
- Saji, N. H., Goswami, B. N., Vinayachandran, P. N., & Yamagata, T. (1999). A Dipole Mode in the Tropical Indian Ocean. *Nature*, 401(6751), 360–363. <https://doi.org/10.1038/43854>
- Saji, N., & Yamagata, T. (2003). Possible impacts of Indian Ocean Dipole mode events on global climate. *Climate Research*, 25(2), 151–169. <https://doi.org/10.3354/cr025151>
- Simanjuntak, P. P., & Nopiyanti, A. D. (2023). Pengaruh komponen angin Zonal dan Meridional terhadap curah hujan bulanan di Mempawah, Kalimantan Barat serta pengaruh ENSO terhadap variasinya. *Jurnal Kumparan Fisika*, 5(3), 187–192. <https://doi.org/10.33369/jkf.5.3.187-192>

- Stackhouse, P. W., Chen, X., Huang, X., Dong, X., Xi, B., Dolinar, E. K., Loeb, N. G., Kato, S., & Bosilovich, M. G. (2018). Using AIRS and ARM SGP Clear-Sky Observations to Evaluate Meteorological Reanalyses: A Hyperspectral Radiance Closure Approach. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *123*(20), 11,720-11,734. <https://doi.org/10.1029/2018JD028850>
- Sukman, Rustan, F. R., Yusman, Tanje, H. W., Sukri, A. S., Amir, M. K., Syajruddin, Sriwati, M., & Rachman, R. M. (2021). *Hidrologi Terapan* (E. R. B. R. Bungin (ed.); Cetakan Pe, Vol. 32, Issue 3). TOHAR MEDIA. https://www.researchgate.net/profile/Sukman-Sukman/publication/392478262_HIDROLOGI_TOHAR_MEDIA/links/6843e1a58a76251f22ec1e2d/HIDROLOGI-TOHAR-MEDIA.pdf
- Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S., & Hsu, K. L. (2018). A Review of Global Precipitation Data Sets: Data Sources, Estimation, and Intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, *56*(1), 79–107. <https://doi.org/10.1002/2017RG000574>
- Syaifullah, M. D. (2014). Validasi data TRMM terhadap data curah hujan aktual di tiga DAS di Indonesia. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, *15*(2), 109–118. <https://doi.org/10.31172/jmg.v15i2.180>
- White, J. W., Hoogenboom, G., Wilkens, P. W., Stackhouse, P. W., & Hoel, J. M. (2011). Evaluation of satellite-based, modeled-derived daily solar radiation data for the continental United States. *Agronomy Journal*, *103*(4), 1242–1251. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0038>
- Widyatmanti W. (2021). *Aplikasi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis Untuk Pemodelan dan Pemetaan Data Biofisik Lahan* (1st ed.). UGM Press.
- Windari, G. A., & Sudarti, S. (2024). Mekanisme Terjadinya Hujan Dan Pengaruhnya Terhadap Lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, *8*(2), 11. <https://doi.org/10.30872/jtlunmul.v8i2.15466>
- Yuggotomo, M. E., & Ihwan, A. (2014). Pengaruh Fenomena El Niño Southern Oscillation dan Dipole Mode. *Positron, Berkala Ilmiah Fisika*, *IV*(2), 35–39. <https://doi.org/https://doi.org/10.26418/positron.v4i2.7563>
- Zakaria, A. (2011a). A study modeling of 15 days cumulative rainfall at Purajaya Region , Bandar Lampung , Indonesia. *International Journal of Geology (NAUN)*, *5*(4), 101–107. <https://www.naun.org/main/NAUN/geology/20-025.pdf>
- Zakaria, A. (2011b). Stochastic characteristics of daily rainfall at Purajaya region. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, *6*(6), 23–30.