

**DISERTASI**

**ANALISIS POLA CURAH HUJAN TAHUNAN DAN ANTAR  
TAHUNAN DI WILAYAH INDONESIA MENGGUNAKAN  
*EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNCTION (EOF)***

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Doktor Ilmu MIPA



**Melly Ariska**  
**NIM 08013682126003**

**PROGRAM STUDI S3 ILMU MIPA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2025**

## HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS POLA CURAH HUJAN TAHUNAN DAN ANTAR TAHUNAN DI  
WILAYAH INDONESIA MENGGUNAKAN *EMPIRICAL ORTHOGONAL  
FUNCTION* (EOF)

## DISERTASI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Doktor Ilmu MIPA

Oleh:

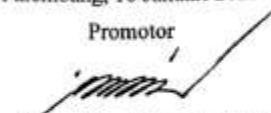
Melly Ariska

NIM. 08013682126003

Disetujui oleh:

Palembang, 10 Januari 2025


Promotor

  
Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc.  
NIP. 197210041997021001

Co-Promotor I

  
Dr. Supari, M.Si.  
NIP. 197904102000121002

Co-Promotor II

  
Prof. Dr. Muhammad Irfan, M.T.  
NIP. 196409131990031003

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Himmahsyah, S.Si., M.Si., Ph.D.  
NIP. 197111191997021001

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis berupa Disertasi ini dengan Judul "Analisis Pola Curah Hujan Tahunan Dan Antar Tahunan Di Wilayah Indonesia Menggunakan Empirical Orthogonal Function (EOF)" telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Doktor Ilmu MIPA, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 10 Januari 2025.

Palembang, 10 Januari 2025

Tim Penguji Karya Tulis berupa Disertasi

Ketua:

1. Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc.  
NIP 197210041997021001



Anggota:

2. Supari, M.Sc., Ph.D.  
NIP 197904102000121002
3. Prof. Dr. Muhammad Irfan, M.T.  
NIP 196409131990031003
4. Dr. Rahmat Hidayat, S.Si., M.Si.  
NIP 197403012000031001
5. Dr. Fiber Manado, M.Si.  
NIP 197002231995121002
6. M. Yusup Nur Khakim, M.Si., Ph.D.  
NIP 197203041999031002



Prof. Drs. Dedi Rohendi, M.T., Ph.D.  
NIP. 197111191997021001

Koor. Prodi Doktor Ilmu MIPA



Prof. Drs. Dedi Rohendi, M.T., Ph.D.  
NIP. 196704191993031001

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Melly Ariska  
NIM : 08013682126003  
Judul : *Analisis Pola Curah Hujan Tahunan dan Antar Tahunan di Wilayah Indonesia*  
Menggunakan Empirical Orthogonal Function (EOF)

Menyatakan bahwa Disertasi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim Promotor dan Ko-Promotor dan bukan hasil Penjiplakan. Apabila ditemukan unsur penjiplakan dalam Disertasi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapa pun.

Palembang, 15 Januari 2025



Melly Ariska

NIM 08013682126003

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Melly Ariska

NIM : 08013682126003

Judul : Analisis Pola Curah Hujan Tahunan dan Antar Tahunan di Wilayah Indonesia  
Menggunakan Empirical Orthogonal Function (EOF)

Memberikan izin kepada Promotor dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Promotor sebagai penulis korespondensi (*Corresponding Author*). Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapa pun.

Palembang, 15 Januari 2025



MELLY ARISKA  
NIM 08013682126003

NIM 08013682126003

v

**BIOGRAFI  
SINGKAT  
PENULIS**



Melly Ariska dilahirkan 27 Agustus 1989 di Desa Panggal-panggal Kecamatan Semidang Aji, Ogan Komering Ulu (OKU) Palembang Sumatera Selatan sekitar 30 KM dari Kota Baturaja. Menyelesaikan pendidikan di SDN 106 OKU tahun 2001, SMP Negeri 1 OKU tahun 2004, SMA Negeri 1 OKU tahun 2007, S-1 Pendidikan Fisika FKIP Universitas Sriwijaya tahun 2011 dan S-2 Pasca Sarjana Ilmu Fisika UGM tamat tahun 2014.

Menikah dengan drh. Alfin Suhandi dengan dua anak perempuan yakni Hilya Raisani Alfin berumur 3 tahun dan Najwa Alesa Alfin berumur 2 tahun. Sebelum pindah ke Palembang menjadi Dosen di Program Studi Pendidikan Fisika dari tahun 2014 sampai sekarang, pernah bekerja sebagai guru les privat bidang fisika di Lembaga Bimbingan Belajar Neutron di Yogyakarta selama 1 tahun. Penulis juga pernah menjadi Guru Fisika di MTs Muqimud Sunnah Palembang dari tahun 2014-2016 dan Guru IPA di MI Ahliyah 2 Palembang. Sekarang penulis telah menjadi Dosen tetap di Universitas Sriwijaya dengan jabatan fungsional Asisten Ahli.

Jabatan yang pernah dijalani di Organisasi adalah sebagai wakil sekretaris Himpunan Fisika Indonesia (HFI) Cabang Sumatera Selatan dari tahun 2016-2020. Sedangkan karya ilmiah yang pernah dibuat khususnya di bidang fisika Teori, yang telah terbit di jurnal nasional terakreditasi dan jurnal internasional bereputasi. Antara Lain Studi Pemahaman Konsep Siswa pada Sub Konsep Rangkaian Listrik Arus Searah di Kelas XI SMA Negeri 1 Palembang (2016), Penyelesaian Masalah Gerak Pesawat Atwood Dengan Persamaan Euler-Lagrange sebagai Alternatif Persamaan Newton pada Fisika SMA (2016), Pemanfaatan Komputasi Fisika Berbasis Maple Dalam Merumuskan Dinamika Benda Ruang Tiga Dimensi Pada Mata Kuliah Mekanika Program Studi Pendidikan Fisika (2017), *Utilization of Maple-based Physics Computation in Determining the Dynamics of Tippe Top* (2018). Sedangkan program pengabdian pada masyarakat yang pernah dilakukan adalah Pendampingan penggunaan alat peraga Guru IPA di Kab. OKU Selatan (2016), Pelatihan Karya Tulis Ilmiah bagi Guru IPA di SMA Negeri 1 Palembang (2017) dan Pelatihan penggunaan alat peraga Guru IPA untuk Guru-guru IPA se-Kabupaten Lubuk Linggau (2018).

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah S.W.T karena atas anugerah dan karuniaNya penulis dapat menyelesaikan Disertasi “Analisis Pola Curah Hujan Tahunan dan Antar Tahunan di Wilayah Indonesia Menggunakan Empirical Orthogonal Function (EOF)”. Disertasi ini dibuat untuk referensi mahasiswa dan Peneliti di bidang Oseanografi dalam meneliti dibidang pola curah hujan dominan di Wilayah Indonesia.

Dalam Disertasi ini dijelaskan bagaimana proses pengimplementasian bidang Oseanografi dilakukan dalam Bahasa Matlab, Phyton, Google Colan dan Maple. Dengan beberapa fungsi – fungsi khusus yang sudah “*build in*” dalam algoritma pyhton, mahasiswa dan peneliti sebagai pembaca diharapkan dapat dengan mudah mengembangkan tema/topik penelitian yang sejenis dalam bahasa nonprosedural yang bersifat singkat dan lugas namun dapat mengatasi semua masalah – masalah kompleks dalam bidang besar MIPA khususnya Fisika. Selanjutnya dalam kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada yang terhormat:

1. Rektor Universitas Sriwijaya yang telah memberikan beasiswa kepada penulis disepanjang Pendidikan S3 ini
2. Promotor S3 saya Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc. yang telah memberikan bimbingan, didikan, masukan, nasehat serta panutan baik secara material dan mental.
3. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sriwijaya;
4. Wakil Dekan 1, Wakil Dekan 2 dan Wakil Dekan 3 FKIP Universitas Sriwijaya
5. Ketua Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah memberikan rekomendasi kepada penulis untuk mendapatkan beasiswa;
6. Koordinator Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Sriwijaya yang telah memberikan motivasi dan dukungan pada pembuatan disertasi ini;
7. Suamiku tercinta drh. Alfin Suhandi, Mama, Papa, Umak dan My baby’s girl (Ica dan wawa) tersayang yang selalu memotivasi dengan doa dan harapan.
8. Pak Dr. Suhadi, S.Si., M.Si. yang sangat sabar mengajari semua hal dari awal sampai disertasi ini tercetak.
9. Semua pihak yang terlibat langsung maupun tak langsung dalam penyusunan disertasi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu (uti, kak iza, elika,dst);

Sebuah karya kecil ini merupakan hasil akumulasi usaha dan harapan harian saya selama menempuh perkuliahan S3 saya yang berada di kelompok riset Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc. Terima kasih banyak kepada tim yang senantiasa selalu membantu saya dalam menyusun disertasi ini. Saya persembahkan karya kecil ini untuk suamiku tercinta dan anak-anakku yang selalu mendukung dan selalu menguatkan bahwa saya bisa menyelesaikan studi S3 saya dengan baik. Semoga bantuan nyata dari semua pihak mendapat balasan yang setimpal dari Allah S.W.T. dan akhirnya penulis berharap agar disertasi ini memberikan manfaat bagi mahasiswa dan pembaca pada umumnya, oleh karena itu kritik dan saran sangat penulis harapkan untuk penyempurnaan dikemudian hari.

Palembang, 16 Januari 2025

Melly Ariska

## RINGKASAN

### ANALISIS POLA CURAH HUJAN TAHUNAN DAN ANTAR TAHUNAN DI WILAYAH INDONESIA MENGGUNAKAN EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNCTION (EOF)

Karya tulis ilmiah berupa Disertasi, Januari 2025

Melly Ariska; dibimbing oleh Iskhaq Iskandar, Supari, dan Muhammad Irfan

### ANALYSIS OF ANNUAL AND INTER-ANNUAL RAINFALL PATTERNS IN INDONESIA USING EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNCTION (EOF)

xxiii + 158 halaman, 58 gambar, 9 tabel

Penelitian tentang pemetaan pola curah hujan tahunan dan antar tahunan di wilayah Indonesia belum banyak dilakukan. Salah satu kendalanya adalah adanya keragaman curah hujan yang cukup besar yang terjadi di hampir seluruh kawasan Indonesia. Keberagaman pola curah hujan di wilayah Indonesia akibat pengaruh dari dinamika atmosfer (sirkulasi udara) pada skala global maupun regional, dinamika lautan, kondisi lokal, pola pembentukan awan dan hujan seperti topografi dan suhu permukaan laut di perairan Indonesia. Dinamika parameter-parameter tersebut perlu dikaji karena memegang peranan penting dalamantisipasi perubahan iklim ekstrim di wilayah Indonesia. Beberapa peneliti terdahulu telah membuktikan adanya kaitan antara parameter-parameter iklim terhadap curah hujan, akan tetapi peneliti sebelumnya sebagian besar hanya meninjau dari satu parameter saja terhadap curah hujan. Berdasarkan penelusuran referensi yang telah dilakukan, sejak tahun 2003 belum ada pembaharuan data mengenai pemetaan pola curah hujan tahunan dan antar tahunan di wilayah Indonesia. Data yang terekam pada penelitian terakhir yang membahas pemetaan curah hujan dengan data curah hujan dari tahun 1961-1998, tentu saja data ini harus di-update mengingat akhir-akhir ini variasi curah hujan cukup signifikan di wilayah Indonesia sehingga bencana hidrometeorologi tak bisa dikendalikan, seperti terjadinya banjir dahsyat dan tanah longsor di Pulau Kalimantan pada tahun 2021 lalu. Penelitian ini didesain untuk mengkaji pemetaan pola curah hujan tahunan dan antar tahunan dengan data parameter hidrometeorologi dari *Monthly Precipitation from Princeton University* dari Januari 1948 sampai dengan Desember 2016 dan data curah hujan bulanan *Southeast Asian Climate Assessment & Dataset (SACA&D)* dari Januari 1981 sampai Desember 2016, *Sea Surface Temperature (SST) from The Hadley Centre Global Sea Ice and Sea Surface Temperature (HADISST)*, *Wind and Specific Humidity* dari *National Centers for Environmental Prediction (NCEP) and the National Center for Atmospheric Research (NCAR)*, *Indeks Monsoon* dari *Bureau of Meteorology (BOM) Australia*, *Dipole Mode Index (DMI)* dari *Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)*, *Niño3.4 Index* from *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* dengan interval waktu sejak Januari 1948 sampai Desember 2016 dan dari Januari 1981 sampai Desember 2016. Penelitian ini menggabungkan analisis ulang data untuk menghasilkan gambaran tentang kemungkinan pengaruh dua mode iklim dominan di kawasan tropis Indo-Pasifik (yaitu IOD dan ENSO). Pengaruh Indian Ocean Dipole (IOD) yang berpusat di Tropical Indian Ocean (TIO) dan El Niño-Southern Oscillation (ENSO) di Tropical Pasific Ocean (TPO) terhadap curah hujan Indonesia dievaluasi menggunakan data curah hujan bulanan *Southeast Asian Climate Assessment & Dataset (SACA&D)* dari Januari 1981 sampai Desember 2016. Data curah hujan dianalisis menggunakan metode EOF yang menghasilkan dua mode utama yaitu PC1 dan PC2 dengan masing-masing variansi sebesar 35,23% dan 13,07%. Korelasi simultan antara Reconstuction of Emphirical Orthogonal Function (REOF) dan indeks iklim pada saat akhir musim kemarau di bulan Agustus-



September-Oktober (ASO) dan awal musim hujan di bulan November-Desember-Januari (NDJ) mengungkapkan bahwa peristiwa IOD dan ENSO memiliki korelasi negative kuat yang signifikan terhadap nilai eigen values EOF1 dan EOF2. Hal ini menunjukkan bahwa pendinginan (penghangatan) suhu permukaan laut di perairan lokal Indonesia saat positif (negative) IOD dan El Niño (La Niña) berlangsung dapat menurunkan (meningkatkan) curah hujan. Anomali curah hujan wilayah REOF1 dan REOF2, SST dan *vertical velocity* selama tahun-tahun El Niño, La Niña, positif/negative IOD dapat tergambar dengan jelas menggunakan metode komposit. Kondisi basah pada saat IOD negative dan La Niña yang terjadi secara bersamaan jauh lebih basah daripada saat peristiwa La Niña tunggal. Hasil identifikasi diharapkan dapat berkontribusi pada pemerintah dalam mengantisipasi perubahan variabilitas pola curah hujan sebagai bentuk tanggap bencana hidrometeorologi wilayah Indonesia. Variabilitas curah hujan dengan data *Monthly Precipitation from Princeton University* dari Januari 1948 sampai dengan Desember 2016 diselidiki berdasarkan analisis metode Empirical Orthogonal Function (EOF) di wilayah Indonesia. Analisis dimulai dengan mengambil tiga mode utama hasil EOF yaitu EOF1, EOF2 dan EOF3. Wilayah EOF1 adalah Indonesia bagian selatan dari Sumatera bagian Selatan sampai Pulau Timor, sebagian Kalimantan, sebagian Sulawesi, dan sebagian di Irian Jaya. Wilayah EOF2 terletak di barat laut Indonesia dan meliputi bagian utara Sumatera dan bagian barat laut Kalimantan. Wilayah EOF3 mencakup Maluku dan sebagian Sulawesi (dekat ke wilayah Pasifik barat). Data curah hujan bulanan yang digunakan adalah data *Monthly Precipitation from Princeton University* dari tahun 1948 sampai tahun 2016. Hasil analisis dengan data ini mengungkap bahwa tiga wilayah hujan menunjukkan pola curah hujan semi tahunan, tahunan dan beberapa periode penting antar tahunan lainnya. Peneliti mengamati pengaruh SST dan angin vertikal di sepanjang Samudera Indo-Pasifik. Parameter iklim yang dianalisis meliputi indeks Niño3.4, DMI dan *vertical velocity*. Wilayah EOF1 merespon SST terkuat, diikuti oleh wilayah EOF3. Pada wilayah EOF2, sinyal terkait ENSO/IOD sangat lemah dibanding dua wilayah lainnya. Wilayah EOF1 dan EOF3 merespon positif secara signifikan terhadap SST lokal dan respon negatif secara signifikan terhadap ENSO/IOD pada saat puncak musim kering (ASO) dan melemah saat musim hujan (NDJ). Pengaruh ENSO yang kuat memungkinkan kedua wilayah ini mengalami kekeringan panjang pada tahun-tahun kejadian El Niño dan positif IOD, karena respon negatifnya. Hasil ini menunjukkan bahwa tinggi (rendah) SST pada wilayah Niño3.4 Samudera Pasifik dapat menurunkan (meningkatkan) jumlah curah hujan di wilayah Indonesia. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap berbagai bidang keilmuan yang memiliki hubungan erat dengan upaya antisipasi bencana hidrometeorologi dengan hasil berupa pemetaan pola curah hujan tahunan dan antar tahunan di wilayah Indonesia yang akurat dan ilmiah. Pengkajian yang komprehensif, diharapkan hasil yang diperoleh mampu menggambarkan pola curah hujan tahunan dan antar tahunan di wilayah Indonesia dengan baik dan terpercaya. Dengan diketahuinya pemetaan pola curah hujan di wilayah Indonesia dapat dijadikan sebagai acuan bagi pemerintah untuk membuat dan menyusun kebijakan mitigasi terhadap kejadian perubahan iklim ekstrem global serta dapat memberikan tindakan preventif untuk mengantisipasi bencana hidrometeorologi pada daerah yang rawan akan bencana sesuai dengan pemetaan pola curah hujan yang dihasilkan pada penelitian ini.

**Kata kunci:** Curah hujan, EOF, ENSO, FFT, Hidrometeorologi, IOD, Komposit

**Kepustakaan:** 77 (1936-2024)

## SUMMARY

### ANALYSIS OF ANNUAL AND INTER-ANNUAL RAINFALL PATTERNS IN INDONESIA USING EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNCTION (EOF)

Scientific Paper in the form of Dissertation, January 2025

Melly Ariska; dibimbing oleh Iskhaq Iskandar, Supari, dan Muhammad Irfan

### ANALISIS POLA CURAH HUJAN TAHUNAN DAN ANTAR TAHUNAN DI WILAYAH INDONESIA MENGGUNAKAN EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNCTION (EOF)

xxiii + 158 halaman, 58 gambar, 9 tabel

Research on mapping annual and interannual rainfall patterns in Indonesia has not been widely conducted. One of the obstacles is the existence of quite large rainfall diversity that occurs in almost all regions of Indonesia. The diversity of rainfall patterns in Indonesia is due to the influence of atmospheric dynamics (air circulation) on a global and regional scale, ocean dynamics, local conditions, cloud and rain formation patterns such as topography and sea surface temperature in Indonesian waters. The dynamics of these parameters need to be studied because they play an important role in anticipating extreme climate change in Indonesia. Several previous researchers have proven the relationship between climate parameters and rainfall, but most previous researchers have only reviewed one parameter for rainfall. Based on the reference search that has been carried out, since 2003 there has been no data update regarding the mapping of annual and interannual rainfall patterns in Indonesia. The data recorded in the latest research that discusses rainfall mapping with rainfall data from 1961-1998, of course this data must be updated considering that recently the variation in rainfall has been quite significant in the Indonesian region so that hydrometeorological disasters cannot be controlled, such as the devastating floods and landslides on the island of Kalimantan in 2021. This study was designed to examine the mapping of annual and interannual rainfall patterns with hydrometeorological parameter data from Monthly Precipitation from Princeton University from January 1948 to December 2016 and monthly rainfall data Southeast Asian Climate Assessment & Dataset (SACA&D) from January 1981 to December 2016, Sea Surface Temperature (SST) from The Hadley Centre Global Sea Ice and Sea Surface Temperature (HADISST), Wind and Specific Humidity from the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) and the National Center for Atmospheric Research (NCAR), Monsoon Index from the Australian Bureau of Meteorology (BOM), Dipole Mode Index (DMI) from the Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Niño3.4 Index from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) with time intervals from January 1948 to December 2016 and from January 1981 to December 2016. This study combines reanalysis data to produce a picture of the possibility of the influence of two dominant climate modes in the tropical Indo-Pacific region (i.e., IOD and ENSO). The influence of the Indian Ocean Dipole (IOD) centered in the Tropical Indian Ocean (TIO) and the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) in the Tropical Pacific Ocean (TPO) on rainfall in Indonesia was evaluated using monthly rainfall data from the Southeast Asian Climate Assessment & Dataset (SACA&D) from January 1981 to December 2016. The rainfall data were analyzed using the EOF method which produced two main modes, namely PC1 and PC2 with variances of 35.23% and 13.07%, respectively. Simultaneous correlation between Reconstruction of Empirical Orthogonal Function (REOF) and climate indices at the end of the dry season in August-September-October (ASO) and the beginning of the rainy season in

November-December-January (NDJ) revealed that the IOD and ENSO events have a significant strong negative correlation to the eigen values of EOF1 and EOF2. This indicates that the cooling (warming) of sea surface temperatures in local Indonesian waters during positive (negative) IOD and El Niño (La Niña) events can reduce (increase) rainfall. The anomalies of regional rainfall REOF1 and REOF2, SST and vertical velocity during El Niño, La Niña, positive/negative IOD years can be clearly depicted using the composite method. Wet conditions during negative IOD and La Niña events that occur simultaneously are much wetter than during a single La Niña event. The identification results are expected to contribute to the government in anticipating changes in rainfall pattern variability as a form of hydrometeorological disaster response in the Indonesian region. Rainfall variability with Monthly Precipitation data from Princeton University from January 1948 to December 2016 was investigated based on the analysis of the Empirical Orthogonal Function (EOF) method in the Indonesian region. The analysis begins by taking three main modes of EOF results, namely EOF1, EOF2 and EOF3. The EOF1 region is southern Indonesia from southern Sumatra to Timor Island, part of Kalimantan, part of Sulawesi, and part of Irian Jaya. The EOF2 region is located in northwest Indonesia and covers the northern part of Sumatra and the northwestern part of Kalimantan. The EOF3 region covers Maluku and part of Sulawesi (close to the western Pacific region). The monthly rainfall data used are Monthly Precipitation data from Princeton University from 1948 to 2016. The results of the analysis with this data reveal that the three rainfall regions show semi-annual, annual and several other important inter-annual periods. Researchers observed the influence of SST and vertical winds along the Indo-Pacific Ocean. The climate parameters analyzed include the Niño3.4 index, DMI and vertical velocity. The EOF1 region responds to the strongest SST, followed by the EOF3 region. In the EOF2 region, the ENSO/IOD-related signal is very weak compared to the other two regions. The EOF1 and EOF3 regions respond significantly positively to local SST and significantly negatively to ENSO/IOD during the peak of the dry season (ASO) and weaken during the rainy season (NDJ). The strong influence of ENSO allows these two regions to experience long droughts in years of El Niño and positive IOD events, due to its negative response. These results indicate that high (low) SST in the Niño3.4 Pacific Ocean region can reduce (increase) the amount of rainfall in the Indonesian region. The results of this study are expected to contribute to various scientific fields that are closely related to efforts to anticipate hydrometeorological disasters with the results in the form of accurate and scientific mapping of annual and inter-annual rainfall patterns in the Indonesian region. A comprehensive study, it is expected that the results obtained can describe annual and inter-annual rainfall patterns in the Indonesian region well and reliably. By knowing the mapping of rainfall patterns in the Indonesian region, it can be used as a reference for the government to create and formulate mitigation policies against global extreme climate change events and can provide preventive measures to anticipate hydrometeorological disasters in areas prone to disasters according to the mapping of rainfall patterns produced in this study.

**Keywords:** Rainfall, EOF, ENSO, FFT, Hydrometeorology, IOD, Composite

**Bibliography:** 77 (1936-2024)

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	<b>v</b>
<b>BIOGRAFI SINGKAT PENULIS</b> .....	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN</b> .....	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	<b>xix</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	5
1.3. Tujuan Penelitian .....	6
1.4. Manfaat Penelitian .....	6
1.5. Ruang Lingkup Penelitian.....	7
1.6. Kebaruan yang Ditemukan .....	8
1.7. Kerangka Pikir Penelitian .....	10
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>12</b>
2.1. Curah Hujan di Indonesia .....	12
2.2. Monsoon .....	14
2.3. El Niño Southern Oscillation (ENSO).....	15
2.4. Indian Ocean Dipole (IOD) .....	17
2.5. Metode <i>Empirical Orthogonal Function</i> (EOF).....	18
2.5.1. Matriks Data.....	19
2.5.2. Analisis <i>Empirical Orthogonal Function</i> (EOF) .....	19
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b> .....	<b>21</b>
3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian .....	21

3.2.	Data.....	22
3.2.1.	Data Laut dan Atmosfer.....	23
3.2.1.1.	Data Curah Hujan .....	24
3.2.1.2.	<i>Sea Surface Temperature</i> (SST) .....	24
3.2.1.3.	<i>Vertical Velocity</i> .....	25
3.2.1.4.	Angin.....	25
3.2.1.5.	<i>Dipole Mode Index</i> (DMI) .....	26
3.2.1.6.	Indeks Niño3.4 .....	26
3.3.	Pengolahan Data .....	27
3.4.	Analisis data.....	27
3.4.1.	Analisis <i>Empirical Orthogonal Function</i> (EOF) .....	28
3.4.2.	<i>Monthly Climatology</i> dan Anomali.....	29
3.4.3.	Korelasi Linier .....	29
3.4.4.	Analisis Komposit.....	31
3.4.5.	Analisis Spektrum dengan FFT .....	32
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN ANALISIS DATA .....</b>	<b>33</b>
4.1.	Variasi Curah Hujan di Indonesia.....	33
4.1.1.	Karakteristik Curah Hujan di Indonesia .....	33
4.1.2.	Faktor yang mempengaruhi Curah Hujan di Indonesia .....	36
4.2.	Dinamika Curah Hujan dengan Data Gridded-Observasi SACA&D.....	38
4.2.1.	Analisis Curah Hujan Tahunan .....	38
4.2.2.	Analisis Curah Hujan Antar Tahunan.....	42
4.2.3.	Analisis Spektrum pada Setiap PC Utama.....	45
4.3.	Analisis Hasil Rekonstruksi EOF .....	46
4.4.	Korelasi Simultan PC Utama terhadap Angin dan SST.....	49
4.5.	Analisis Komposit Hasil Rekonstruksi Mode Utama EOF.....	53
4.5.1.	Fenomena ENSO Konvensional .....	57
4.5.2.	Fenomena IOD.....	62
4.6.	Dinamika Curah Hujan dengan Data Gridded-Reanalysis Princeton .....	65
4.6.1.	Analisis Curah Hujan Tahunan .....	66
4.6.2.	Analisis Curah Hujan Antar Tahunan.....	70
4.6.3.	Analisis Curah Hujan Antar Tahunan.....	75
4.7.	Analisis Hasil Rekonstruksi Empirical Orthogonal Function (EOF) .....	77
4.7.1.	Korelasi Simultan PC Utama terhadap Angin dan SST.....	82
4.7.2.	Korelasi Simultan REOF terhadap Angin dan SST .....	88
4.8.	Analisis Komposit Hasil Rekonstruksi Mode Utama EOF .....	90
4.9.	Dinamika Interaksi Laut-Atmosfer .....	93
4.9.1.	Variasi Tahunan .....	94
4.9.2.	Variasi Antar Tahunan.....	96
4.9.2.1	Fenomena ENSO Konvensional .....	96
4.9.2.2	Fenomena IOD.....	97
4.9.2.3	Dinamika Atmosfer.....	99

<b>BAB 5 PENUTUP .....</b>	<b>102</b>
5.1. Kesimpulan .....	104
5.2. Saran .....	105
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>107</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Kerangka Pikir Penelitian .....	10
1.2. Alur Penelitian .....	11
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>12</b>
2.1. Tiga wilayah iklim Indonesia.....	13
2.2. Lokasi Global ITCZ.....	14
2.3. Fenomena ENSO .....	16
2.4. Fenomena <i>Indian Ocean Dipole</i> (IOD) .....	17
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>21</b>
3.1. Langkah-langkah Penelitian .....	22
3.2. Indo-Pasifik Region .....	22
3.3. DMI Region .....	26
3.4. Indeks Niño Region .....	27
3.5. Diagram Alir Penelitian .....	28
<b>BAB 4 HASIL DAN ANALISIS DATA .....</b>	<b>33</b>
4.1. Topografi Indonesia .....	33
4.2. Peta distribusi rerata musiman curah hujan .....	34
4.3. Peta Distribusi Anomali Curah Hujan Musiman .....	35
4.4. Tipe Curah Hujan di Wilayah Indonesia .....	37
4.5. Standar Deviasi curah hujan di Indonesia.....	38
4.6. Tiga PC utama .....	39
4.7. Klimatologi PC1, PC2 dan PC3.....	39
4.8. Periodogram FFT PC1 .....	40
4.9. <i>Normalized Anomaly</i> PC1 .....	40
4.10. <i>Normalized Anomaly</i> PC2 .....	41
4.11. <i>Normalized Anomaly</i> PC3.....	43
4.12. <i>Normalized Anomaly</i> Niño3.4.....	44
4.13. <i>Normalized Anomaly</i> DMI .....	45
4.14. Pola Spasial dan Temporal EOF1 .....	45
4.15. Pola Spasial dan Temporal EOF2 .....	46
4.16. (a) Rata-rata Spasial REOF1, (b) REOF2.....	47
4.17. (a) Rata-rata Standar Deviasi Spasial REOF1, (b) REOF2 .....	48
4.18. (a) Monthly Climatology REOF1, (b) untuk REOF2 .....	49
4.19. Korelasi antara PC1 terhadap SST dan angin .....	50
4.20. Korelasi antara PC2 terhadap SST.....	51
4.21. Komposit REOF1 dan REOF2 untuk ASO dan NDJ .....	55
4.22. Anomali SST untuk Indeks Niño3.4.....	56
4.23. Komposit REOF1 dan REOF2 untuk Musim ASO dan NDJ .....	58
4.24. Komposit REOF1 dan REOF2 Tahun El Niño/PIOD bersamaan .....	59

4.25.	Komposit REOF1 dan REOF2 di tahun PIOD .....	63
4.26.	Tiga PC utama ((a) EOF1, (b) EOF2, (c) EOF3).....	67
4.27.	Klimatologi PC1, PC2 dan PC3.....	68
4.28.	Periodogram FFT PC .....	69
4.29.	<i>Normalized Anomaly</i> PC1.....	71
4.30.	<i>Normalized Anomaly</i> PC2.....	71
4.31.	<i>Normalized Anomaly</i> PC3.....	72
4.32.	<i>Normalized Anomaly</i> Niño3.4.....	73
4.33.	<i>Normalized Anomaly</i> DMI.....	74
4.34.	Pola Spasial dan Temporal EOF1 .....	75
4.35.	Pola Spasial dan Temporal EOF2 .....	75
4.36.	Pola Spasial dan Temporal EOF3 .....	76
4.37.	Rata-rata Standar Deviasi Spasial REOF1 .....	77
4.38.	Rata-rata Standar Deviasi Spasial REOF2.....	78
4.39.	Rata-rata Standar Deviasi Spasial REOF3.....	78
4.40.	Fluktuasi Rekonstruksi EOF .....	79
4.41.	<i>Monthly Climatology</i> Rekonstruksi EOF1 .....	81
4.42.	<i>Monthly Climatology</i> Rekonstruksi EOF2.....	81
4.43.	<i>Monthly Climatology</i> Rekonstruksi EOF1 .....	82
4.44.	Korelasi antara PC1 terhadap SST.....	83
4.45.	Korelasi antara PC2 terhadap SST.....	83
4.46.	Korelasi antara PC3 terhadap SST.....	84
4.47.	Korelasi Simultan antara PC1 terhadap SST .....	85
4.48.	Komposit REOF1 dan REOF2 ASO dan NDJ Tahun Netral .....	86
4.49.	Anomali SST untuk Indeks Niño3.4 dan DMI .....	86
4.50.	Korelasi SST, Angin Zonal dan Angin Meridian & REOF1 .....	88
4.51.	Korelasi SST, Angin Zonal dan Angin Meridian & REOF2 .....	89
4.52.	Korelasi SST, Angin Zonal dan Angin Meridian & REOF3 .....	89
4.53.	Komposit Hasil Rekonstruksi EOF saat Netral .....	91
4.54.	Komposit Hasil Rekonstruksi EOF saat El Niño dan La Niña .....	92
4.55.	Komposit Hasil Rekonstruksi EOF saat saat tahun IOD .....	93
4.56.	Peta komposit anomaly SST saat tahun ENSO.....	97
4.57.	Peta komposit anomaly SST saat tahun IOD.....	98
4.58.	Komposit <i>Vertical Velocity</i> saat tahun ENSO dan IOD .....	100



## DAFTAR TABEL

<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Referensi yang berkaitan dengan keterbaruan penelitian .....	10
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>21</b>
3.1. Data yang digunakan dalam penelitian .....	23
3.2. Nilai Kritis Distribusi Uji $t$ .....	31
<b>BAB 4 HASIL DAN ANALISIS DATA .....</b>	<b>33</b>
4.1. Klasifikasi tahun El Niño/La Niña dan/atau PIOD/NIOD.....	56
4.2. Klasifikasi kejadian El Niño/La Niña .....	57
4.3. Pengaruh El Niño pada wilayah EOF1 dan EOF2.....	61
4.4. Pengaruh La Niña pada wilayah EOF1 dan EOF2 .....	62
4.5. Klasifikasi kejadian positive/negative IOD .....	62
4.6. Pengaruh PIOD pada wilayah EOF1 dan EOF2.....	64
4.7. Pengaruh NIOD pada wilayah EOF1 dan EOF2 .....	65

## DAFTAR SINGKATAN

ASO	: Agustus-September-Oktober
BB	: Bujur Barat
BBS	: Belahan Bumi Selatan
BBU	: Belahan Bumi Utara
BMI	: Benua Maritim Indonesia
BOM	: <i>Bereau of Meteorology</i>
BMKG	: badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
BT	: Bujur Timur
DJF	: Desember-Januari-Februari
DMI	: <i>Dipole Mode Index</i>
ECMWF	: <i>European Centre for Medium-Range Weathet Forecasts</i>
ENSO	: <i>El Niño Southern Oscillation</i>
EOF	: <i>Empirical Orthogonal Function</i>
EVA	: <i>Eigen Value Problem</i>
HadISST	: <i>The Hadley Centre Global Sea Ice and Sea Surface Temperature</i>
IPCC	: <i>Intergoverment Panel Climate Change</i>
IOD	: <i>Indian Ocean Dipole</i>
ITCZ	: <i>Inter-Tropical Convergence Zone</i>
JAMSTEC	: <i>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology</i>
JJA	: Juni-Juli-Agustus
LS	: Lintang Selatan
LU	: Lintang Utara
MJO	: <i>Madden-Julian Oscillation</i>
MSL	: <i>Mean Surface Level</i>
NDJ	: <i>November-Desember-Januari</i>
NCEP	: <i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NCAR	: <i>National Center for Atmospheric Research</i>
NOAA	: <i>National Oceanic and Atmospheric Asministration</i>
REOF	: <i>Reconstruction of Empirical Orthogonal Function</i>
SACA&D	: <i>Southeast Asian Climate Assessment &amp; Dataset</i>
SETIO	: <i>Southeastern Tropical Indian Ocean</i>
SST	: <i>Sea Surface Temperature</i>
TIO	: <i>Tropical Indian Ocean</i>
TPO	: <i>Tropical Pacific Ocean</i>
WTIO	: <i>Western Tropical Indian Ocean</i>

## DAFTAR ISTILAH

- Adveksi : proses pengangkutan secara horizontal berupa panas, kelembapan, dan salinitas dari permukaan laut yang mengalami penguapan.
- Angin darat : Angin yang bertiup ke arah laut akibat pemanasan yang tidak sama antara massa tanah dan air.
- Angin laut : Angin yang bertiup ke arah darat akibat pemanasan yang tidak sama antara massa tanah dan air.
- Angin Pasat : Sistem angin di daerah tropis yang berhembus dari tekanan tinggi subtropis ke arah palung tropis. Di BBU adalah angin timur laut-an dan di BBS angin tenggara-an.
- Anomali : Penyimpangan dari kondisi rata-rata yang terkait dengan parameter laut dan atmosfer.
- Atmosfer : Lapisan gas yang menyelubungi bumi.
- Awan : Sekumpulan butiran air, kristal es, atau campuran keduanya yang terbentuk dari proses kondensasi uap air di atas permukaan bumi.
- Awan Konvektif : Awan yang terbentuk secara vertikal dari proses konveksi. Awan ini cenderung menyebabkan hujan dengan intensitas yang tinggi.
- Awan Orografi : Awan yang terbentuk di daerah pegunungan akibat pergerakan udara yang mengandung uap air bergerak naik ke atas pegunungan sehingga hujan akan turun di bagian gunung yang berhadapan dengan angin.
- Cuaca : Keadaan yang merujuk pada perubahan atmosfer di tempat tertentu dengan periode waktu yang relative singkat
- Daerah Ekuatorial : Daerah yang dibatasi oleh lintang  $10^{\circ}$ LU dan  $10^{\circ}$ LS. Daerah ini selalu mendapat surplus energi panas yang tidak bergantung pada musim
- Daerah Tropis : Daerah yang dibatasi oleh lintang pada  $23,5^{\circ}$ LU dan  $23,5^{\circ}$ LS
- Divergensi : Daerah di mana angin menyebar
- Downwelling : Kondisi yang merujuk pada pergerakan massa udara secara vertikal pada saat terjadi divergensi
- Efek Coriolis : Sebuah gaya semu akibat rotasi bumi yang bekerja pada partikel yang bergerak. Gaya Coriolis membelokkan angin ke arah kanan di BBU dan di kiri di BBS
- El-Nino : Fase Penghangatan di bagian timur TPO
- Evaporasi : Proses perubahan dari air ke gas (uap air)
- Hidrosfer : Lapisan permukaan bumi yang ditutupi oleh air
- Iklim : Kondisi rata-rata atau sifat statistik yang menggambarkan perubahan yang terjadi di atmosfer antara lain suhu, tekanan, dan angin pada suatu wilayah dalam rentang waktu yang relative Panjang (long term) melalui pengamatan yang dilakukan minimal 30 tahun

Kekeringan	: Suatu kondisi dimana jumlah curah hujan yang diterima oleh suatu daerah lebih kecil dibandingkan dengan curah hujan rata-rata di wilayah tersebut pada periode yang sama
Klimatologi	: Bidang ilmu yang mempelajari iklim. Klimatologi meliputi keadaan parameter-parameter fisik di atmosfer yang ditinjau selama periode waktu yang Panjang
Kondensasi	: Perubahan fase dari gas menjadi cair. Gas mengalami kondensasi ketitik mencapai titik jenuh
Konveksi	: Proses transfer panas melalui Gerakan vertical pada fluida
Konvergensi	: Daerah di pertemuan angin yang menyebabkan pergerakan massa udara secara vertical
Angin Zonal	: Angin yang bergerak dari arah timur ke barat atau barat ke timur. Angin zonal yang bergerak kearah timur, umumnya terjadi pada saat musim hujan
Angin Meridian	: Angin yang bergerak dari arah timur ke barat atau barat ke timur. Angin zonal yang bergerak kearah timur, umumnya terjadi pada saat musim hujan
Kriosfer	: Lapisan permukaan bumi yang tertutup oleh salju atau es
La-Nina	: Fase pendinginan di bagian timur TPO, kebalikan dari fenomena El-Nino
Meteorologi	: Fase pendinginan di bagian timur TPO, kebalikan dari fenomena El-Nino
Musim	: Periode dengan unsur iklim yang mencolok, misalnya musim panas ditandai oleh suhu yang tinggi, musim hujan ditandai oleh jumlah curah hujan berlimpah
Oseanografi	: Studi tentang ocean (laut), termasuk sifat air, arus, suhu, kedalaman, dasar laut, tanaman (flora), dan hewan (fauna) laut dan sebagainya
Panas Laten	: Energi yang diserap atau dipancarkan Ketika perubahan fase antara padat ke cair, cair ke gas, dan padat ke gas
Rekonstruksi	: Penyusunan Kembali
Sirkulasi Walker	: Sirkulasi udara secara zonal (arah barat ke timur) di wilayah tropis yang diperkenalkan oleh Sir Gilbert Thomas Walker
Spasial	: Berhubungan dengan ruang (2 dimensi atau 3 dimensi)
Temporal	: Berhubungan dengan waktu
Troposfer	: Lapisan atmosfer bumi yang paling dekat dengan permukaan bumi, tempat berlangsungnya peristiwa cuaca seperti awan dan hujan
Upward	: Kondisi yang merujuk pada pergerakan massa udara secara vertical pada saat terjadi konvergensi
Upwelling	: Gerakan vertical massa air dari lapisan dalam ke permukaan laut. Proses ini menyebabkan suhu permukaan laut menjadi lebih dingin karena suhu di laut dalam dingin.

# BAB I

## PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari beberapa sub-sub yang menguraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat dari penelitian yang dilakukan. Ringkasan mengenai studi-studi terdahulu yang berhubungan dengan penelitian ini akan disajikan pada sub-bab kebaharuan penelitian. Pada bagian akhir bab dijelaskan secara ringkas mengenai kerangka pikir dari penelitian disertai ini.

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan satu-satunya wilayah unik di kawasan khatulistiwa yang dikenal sebagai Benua Maritim Indonesia (BMI) yang memiliki keragaman curah hujan yang terjadi di beberapa wilayah Indonesia (Hermawan, 2010). Terbentuknya awan dan hujan di Indonesia tidak hanya dipengaruhi oleh sirkulasi udara global dan regional, namun juga kondisi lokal seperti topografi dan suhu permukaan laut di perairan Indonesia. Seluruh wilayah Indonesia juga memiliki karakteristik iklim regional yang unik. Wilayah ini dikelilingi oleh Samudera Hindia, Laut Jawa, Selat Malaka, dan Selat Karimata, serta bercirikan deretan pegunungan yang membentang dari utara ke selatan, serta dekat dengan Laut Cina Selatan. Oleh karena itu, proses terbentuknya awan dan hujan di wilayah Indonesia dipengaruhi oleh kondisi alam tersebut, selain pergerakan posisi semu matahari di bumi dan pengaruh sirkulasi global (Amalina, 2013).

Karakteristik iklim, khususnya perilaku curah hujan di Wilayah Indonesia dapat dianalisis secara akurat berdasarkan data iklim dari stasiun meteorologi. Namun untuk analisis spasial, hal ini sangat ditentukan oleh kerapatan jaringan penakar hujan (Molle, 2020). Indonesia merupakan satu kawasan daerah tropis yang unik dimana dinamika atmosfernya dipengaruhi oleh kehadiran angin pasat, aliran angin monsun, iklim *marine* dan pengaruh berbagai kondisi lokal (Dewanti et al., 2018). Cuaca dan iklim di Indonesia mempunyai karakteristik khusus yang hingga kini mekanisme proses pembentukannya belum banyak diketahui. Iklim dapat didefinisikan sebagai ukuran statistik cuaca untuk jangka waktu tertentu dan cuaca menyatakan status atmosfer pada sembarang waktu tertentu. Dua unsur utama iklim adalah suhu dan curah hujan. Indonesia sebagai daerah tropis ekuatorial mempunyai variasi suhu yang kecil, sementara variasi curah hujannya cukup besar. Oleh karena itu curah hujan

merupakan unsur iklim yang paling sering diamati dibandingkan dengan suhu (Hermawan, 2010).

Secara umum Curah hujan di wilayah Indonesia pada umumnya dipengaruhi beberapa fenomena, antara lain siklus diurnal (Katsumata et al., 2018), Madden Julian Oscillation (MJO) (Sprintall et al., 1999), Monsun Asia-Australia (Aldrian & Dwi Susanto, 2003), El Niño Southern Oscillation (ENSO) (Haylock & McBride, 2001; Hendon, 2003; I. Iskandar et al., 2020; Lestari, Studi, et al., 2019) dan Indian Ocean Dipole (IOD) (Ashok et al., 2003; I. Iskandar, Sari, et al., 2017). Monsun dan pergerakan ITCZ (*Inter-Tropical Convergence Zone*) berkaitan dengan variasi curah hujan tahunan dan semi-tahunan di Indonesia, sedangkan fenomena El Niño dan *Dipole Mode* berkaitan dengan variasi curah hujan antar-tahunan di Indonesia (Hermawan, 2010). Telah diketahui bahwa peristiwa El Niño dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) positif menyebabkan hujan defisit di wilayah Indonesia (Novi et al., 2018). Ini menyebabkan peristiwa iklim ekstrim di Indonesia memicu banyak masalah lingkungan. Misalnya, kebakaran hutan di Provinsi Sumatera Selatan tahun 2015/2016 telah menyebabkan hilangnya hutan yang cukup luas dan kabut asap yang sangat ekstrim dalam waktu yang lama (Irfan et al., 2021). Perubahan iklim global dapat meningkatkan kejadian-kejadian ekstrim seperti curah hujan ekstrim, suhu udara ekstrim, dan intensitas badai. Studi mengenai pemetaan curah hujan perlu dilakukan untuk mengantisipasi curah hujan ekstrim dan meminimalkan dampak dari perubahan iklim global.

Perubahan iklim dan cuaca yang ekstrim menimbulkan berbagai masalah, antara lain gangguan kesehatan akibat wabah penyakit, nelayan yang tidak berani melaut akibat ombak tinggi, petani yang gagal panen serta kerawanan sosial lainnya. Berkaitan dengan masalah di bidang pertanian (ketahanan pangan) yang melanda belahan dunia, produksi padi merupakan tanaman yang rentan terhadap kejadian ekstrim seperti El Niño dan La Niña (Putra et al., 2019). Pada saat terjadinya El Niño, suhu permukaan laut di Samudra Pasifik menjadi hangat dan menyebabkan terjadinya musim kemarau yang kering dan panjang di Indonesia, akibatnya lahan tanaman padi mengalami kekeringan dan produksi padi menurun (Irfan et al., 2021). Sedangkan pada saat terjadinya La Niña, kelembaban udara dan curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan tanaman akibat banjir, dan meningkatkan intensitas serangan hama dan penyakit tanaman, akibatnya produksi padi menurun dan menyebabkan kerawanan pangan (Field et al., 2016; Koplitz et al., 2016).

Variabilitas iklim tahunan dan antar-tahunan di Indonesia cukup unik karena tidak sama untuk semua daerah dan berpengaruh pada pola cuaca dan curah (Aldrian & Susanto, 2003a). Variabilitas curah hujan secara ruang sangat dipengaruhi oleh letak geografi (letak terhadap lautan dan benua), topografi, arah angin, dan letak lintang (Rouw et al., 2014). Skala waktu, variasi curah hujan dibagi menjadi tipe harian, musiman (bulanan), dan tahunan. Variasi curah hujan harian dipengaruhi oleh faktor lokal (topografi, tipe vegetasi, drainase, kelembaban, warna tanah, albedo, dan lain-lain). Variasi bulanan atau musiman dipengaruhi oleh angin darat dan angin laut, aktivitas konveksi, arah aliran udara di atas permukaan bumi, variasi sebaran daratan dan lautan (Hidayat et al., 2016). Pelepasan panas laten di wilayah Indonesia berperan penting dalam pembentukan sirkulasi Walker tropis dan sirkulasi Hadley. Sirkulasi Walker yang erat kaitannya dengan fenomena El Niño Southern Oscillation (ENSO) merupakan sirkulasi atmosfer zonal, sedangkan sirkulasi Hadley merupakan sirkulasi atmosfer meridional. Di Indonesia, konvergensi sirkulasi Hadley baik dari belahan bumi utara maupun selatan mengakibatkan terbentuknya monsun yang menyebabkan terjadinya hujan lebat (Hermawan, 2010).

Penelitian terdahulu telah memetakan tiga daerah iklim di Indonesia dengan karakteristik yang berbeda yang terdiri dari Wilayah A yang terletak di Indonesia selatan dari Sumatera bagian Selatan ke pulau Timor, Kalimantan bagian selatan, Sulawesi bagian selatan dan sebagian Irian Jaya. Wilayah B terletak di barat laut Indonesia dari Sumatera bagian utara ke Kalimantan barat laut. Wilayah C meliputi Maluku dan Sulawesi utara (Aldrian & Susanto, 2003b). Berdasarkan pengamatan Siswanto et al., (2016), terdapat korelasi antara *Sea Surface Temperature* (SST) *fluctuation* di Perairan Indonesia pada periode 1982 - 2016 dengan *Madden-Julian Oscillation* (MJO) (data *Outgoing Longwave Radiation* (OLR) sebagai parameter MJO). Namun, curah hujan di wilayah Kalimantan Barat hampir tidak dipengaruhi oleh fenomena ENSO (Li et al., 2016, Hidayat, 2017). Rouw et al., (2014) juga telah membagi 21 cluster variasi pola hujan di wilayah Papua, yaitu: (i) pola musunal A dengan variasi pola, A1, A2, A3, A4, A5, dan A6, (ii) pola hujan ekuatorial B dengan variasi B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, dan B10, serta (iii) pola hujan lokal C dengan variasi C1 dan C2. Secara geografis pola hujan tersebut bervariasi menurut tiga area geografis utama, yaitu 7 cluster pola hujan: A2, A3, A4, A5 B6, B7, dan B8 di dataran rendah utara; 5 cluster pola hujan: A1, B3, B4, B5, dan B9 di deretan pegunungan tengah; dan 9 cluster pola hujan: A, A6, B, B1, B2, B10, C, C1, dan C2 di dataran rendah selatan Papua.

Variabilitas curah hujan di Indonesia sangatlah kompleks dan merupakan suatu bagian dari variabilitas monsun (Aldrian & Dwi Susanto, 2003). Monsun dan pergerakan ITCZ (Inter-Tropical Convergence Zone) berkaitan dengan variasi curah hujan tahunan dan semi-tahunan di Indonesia, sedangkan fenomena El Niño dan Dipole Mode berkaitan dengan variasi curah hujan antar-tahunan di Indonesia. Telah diketahui bahwa peristiwa El Niño dan positif IOD menyebabkan defisit curah hujan di wilayah Indonesia. Anomali curah hujan di Indonesia memicu banyak masalah lingkungan, misalnya kebakaran gambut yang sering terjadi di Provinsi Sumatera Selatan. Kebakaran gambut biasanya terjadi pada musim kemarau dari bulan Juni hingga November yang telah menyebabkan hilangnya hutan yang cukup luas akibat kebakaran gambut dan kabut asap yang sangat ekstrim dalam waktu yang lama (Field et al., 2016; Ward et al., 2021).

ENSO terjadi setiap tiga hingga tujuh tahun sekali dan memengaruhi cuaca bumi selama setahun. Saat fenomena ENSO terjadi, sirkulasi udara sel Walker yang secara normal bergerak dari arah timur menuju barat akan mengalami perubahan kearah sebaliknya, karena melemahnya angin pasat (Iskandar, et al., 2017). Hal ini menunjukkan bahwa tekanan udara di Darwin Australia lebih besar dibandingkan tekanan udara di Tahiti, sehingga *Southern Oscillation Index* (SOI) bernilai negatif yang menyebabkan terjadinya penumpukan massa awan di bagian tengah dan timur Samudera Pasifik (Iskandar et al., 2008; Iskandar, 2014). Pada keadaan normal, Suhu permukaan laut (SPL) Samudera Pasifik bagian barat lebih hangat (*warm pool*) dibandingkan bagian timur, ketika terjadi ENSO *warm pool* mengalami pergeseran ke arah timur, sehingga SPL Pasifik timur menjadi lebih hangat dan lapisan termoklin Pasifik timur yang semula dangkal menjadi semakin dalam (Saji & Vinayachandran, 1999). ENSO mengakibatkan bagian ekuator barat Benua Amerika mengalami hujan lebat yang dapat menimbulkan banjir, dan sebaliknya di Indonesia serta daerah tropis lain yang berbatasan langsung dengan ekuator Samudera Pasifik akan mengalami kekeringan. Kebalikan dari fenomena El-Niño ini adalah La Niña. Fenomena serupa dengan ENSO juga terjadi di Samudera Hindia yang dinamakan dengan Indian Ocean Dipole (IOD). IOD ini tentu saja mengakibatkan perubahan cuaca ekstrim di daerah tropis yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia, termasuk Indonesia (Ashok et al., 2003).

Perlu dicatat bahwa variabilitas curah hujan secara spasial dan temporal sangat dipengaruhi oleh letak geografis (letak terhadap lautan dan benua), topografi, ketinggian, arah angin, dan letak lintang. Oleh sebab itu, pemetaan wilayah hujan sangat penting dilakukan guna mendapati karakteristik curah hujan yang terjadi di masing-masing wilayah, baik karakteristik



spasial maupun temporal. Namun demikian, terdapat kesenjangan dalam studi ilmiah mengenai pemahaman mengenai hubungan antara mode iklim di wilayah indo-pasifik dan variasi curah hujan di Indonesia secara mendalam dan komprehensif. Pemahaman dan pengetahuan terhadap karakteristik dan dinamika iklim di masing-masing wilayah merupakan aspek penting dalam upaya mitigasi yang lebih baik, terutama dalam mencegah dan menentukan sikap preventif yang tepat terhadap dampak negative bencana hidrometeorologi. Topografi Indonesia yang dikelilingi lautan dan terletak di antara dua benua sangat menentukan karakter siklus curah hujan. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengidentifikasi karakteristik curah hujan di Indonesia serta mengaitkannya dengan dinamika fenomena Samudera Indo-Pasifik secara menyeluruh. Studi ini mengevaluasi dan mengamati fenomena yang ada di sepanjang khatulistiwa Samudera Hindia dan Samudera Pasifik yaitu *Tropical Indian Ocean (TIO)* dan *Tropical Pasific Ocean (TPO)* untuk menggambarkan seberapa besar pengaruhnya terhadap pola curah hujan di Indonesia. Hasil penelitian ini diharapkan mampu menggambarkan dengan jelas dan tepat pola curah hujan di Indonesia guna mempersiapkan sikap preventif dalam menghadapi ancaman bencana hidrometeorologi yang sangat rentan terjadi di Wilayah Indonesia.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Dinamika parameter hidrometeorologi, khususnya curah hujan memegang peranan penting dalam mengantisipasi perubahan iklim ekstrim global, spesifikasi untuk Wilayah Indonesia. Dinamika parameter-parameter ini sangat berkaitan dengan kondisi iklim di Wilayah Indonesia. Kondisi iklim yang ekstrim dapat menyebabkan bencana hidrometeorologi seperti banjir dan kemarau panjang sampai kebakaran hutan dan lahan. Belum banyak penelitian mengenai dinamika parameter-parameter tersebut khususnya pada pemetaan pola curah hujan.

Pada tahun 2003 telah dilakukan penelitian mengenai identifikasi pemetaan pola curah hujan di wilayah Indonesia dengan menggunakan data *World Meteorological Organization–National Oceanic and Atmospheric Administration (WMO–NOAA)* dari tahun 1961-1993. Penelitian ini dirancang untuk mengkaji dinamika parameter perubahan iklim yaitu curah hujan dengan menggunakan data curah hujan dari *Monthly Precipitation from Princeton University* dengan rentang waktu yang lebih panjang yaitu sejak Januari 1948 sampai Desember 2016. Dengan harapan didapatkan hasil pemetaan pola curah hujan tahunan dan antar tahunan yang lebih jelas dan akurat dengan metode *Empirical Orthogonal Function (EOF)* serta dapat menentukan karakteristik korelasi antar parameter-parameter iklim lainnya

seperti SST from Hadley Center (HADISST), Wind and Vertical Velocity dari NCEP/NCAR, Dipole Mode Index (DMI) dari JAMSTEC, Niño3.4 Index dari NOAA.

Berdasarkan uraian tersebut maka pokok-pokok permasalahan yang menjadi fokus kajian dalam penelitian ini, adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan pola curah hujan tahunan dan antar tahunan di Wilayah Indonesia dengan Metode *Empirical Orthogonal Function* (EOF) dan kaitan dinamikanya terhadap parameter iklim?
2. Bagaimana distribusi spasial dan temporal curah hujan di Wilayah Indonesia terhadap fenomena iklim ENSO dan IOD pada awal musim basah dan akhir musim kering?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji secara komprehensif tentang pemetaan pola curah hujan tahunan dan antar tahunan di Wilayah Indonesia dengan metode EOF dan distribusi spasial dan temporal curah hujan saat fenomena iklim ENSO dan IOD. Secara khusus, tujuan dari penelitian ini ditujukan untuk:

1. Menentukan pola curah hujan tahunan dan antar tahunan di Wilayah Indonesia dengan metode *Empirical Orthogonal Function* (EOF) dan kaitan dinamikanya terhadap parameter iklim.
2. Menganalisis distribusi spasial dan temporal curah hujan terhadap fenomena iklim ENSO dan IOD pada awal musim basah dan akhir musim kering di Wilayah Indonesia.

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini memberikan kontribusi terhadap berbagai bidang keilmuan yang memiliki hubungan erat dengan upaya antisipasi bencana hidrometeorologi dengan hasil berupa pemetaan pola curah hujan tahunan dan antar tahunan di Wilayah Indonesia. Melalui pengkajian yang komprehensif, diharapkan hasil yang diperoleh mampu menggambarkan pola curah hujan tahunan dan antar tahunan di Wilayah Indonesia dengan baik dan akurat. Dengan diketahuinya pemetaan pola curah hujan di Wilayah Indonesia dapat dijadikan sebagai acuan bagi pemerintah untuk membuat dan menyusun kebijakan mitigasi terhadap kejadian perubahan iklim ekstrim global serta dapat memberikan tindakan preventif untuk mengantisipasi bencana hidrometeorologi pada daerah yang rawan akan bencana sesuai dengan pemetaan pola

curah hujan yang dihasilkan pada penelitian ini. Nilai strategis dari penelitian ini dapat diuraikan dalam dua aspek berikut:

1. Aspek Keilmuan; Melalui analisis yang dilakukan secara komprehensif dan mendalam, diharapkan hasil yang diperoleh mampu menggambarkan dinamika interaksi laut-atmosfer di Kawasan Indo-Pasifik yang mempengaruhi pola distribusi curah hujan Indonesia
2. Aspek social-ekonomi; Pemahaman mengenai pola distribusi curah hujan dan dinamika iklim yang mempengaruhinya akan memberikan manfaat yang sangat besar bagi berbagai bidang kehidupan. Pengetahuan mengenai pola sebaran intensitas curah hujan dapat berguna sebagai peringatan kepada masyarakat sebagai mitigasi terhadap ancaman bencana hidrometeorologi di Indonesia.

Hasil penelitian menjadi sumber informasi dalam proses pengambilan keputusan untuk menyusun kebijakan mitigasi dan adaptasi perubahan iklim, khususnya di wilayah yang memiliki kerentanan yang tinggi terhadap perubahan iklim.

### **1.5. Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup penelitian ini mencakup kajian pola curah hujan tahunan dan antar tahunan di Wilayah Indonesia dengan Metode *Empirical Orthogonal Function* (EOF) dan kaitan dinamikanya terhadap parameter iklim dan distribusi spasial dan temporal curah hujan terhadap fenomena iklim ENSO dan IOD pada basah dan musim kering di Wilayah Indonesia. Penelitian dilakukan dengan meninjau fenomena anomali iklim yang berpusat di wilayah TIO dan TPO. Oleh karena itu, pada disertasi ini kajian dilakukan dibagi menjadi 2 (dua) bagian. Bagian pertama difokuskan kepada analisis pola curah hujan tahunan dan antar tahunan di Wilayah Indonesia dengan Metode *Empirical Orthogonal Function* (EOF) dan bagian kedua menentukan distribusi spasial dan temporal curah hujan terhadap fenomena iklim ENSO dan IOD pada awal musim basah dan akhir musim kering di Wilayah Indonesia. Berikut adalah batasan-batasan yang diterapkan dalam menyelesaikan penelitian ini:

1. Data yang digunakan adalah data reanalysis dari parameter fisik laut-atmosfer di Kawasan Indo-Pasifik yaitu terletak di antara 180° BB- 80°BB, 35°LS-35°LU.
2. Kajian mengenai interaksi laut ditinjau berdasarkan evolusi dan karakteristik dari masing-masing fenomena (IOD dan ENSO konvensional)

3. Penelitian bagian I difokuskan untuk menentukan pola curah hujan tahunan dan antar tahunan di Wilayah Indonesia dengan Metode *Empirical Orthogonal Function* (EOF) dan kaitan dinamikanya terhadap parameter iklim.
4. Penelitian bagian II difokuskan kepada analisis distribusi spasial dan temporal curah hujan terhadap fenomena iklim ENSO dan IOD pada awal musim basah dan awal musim kering di Wilayah Indonesia.

### 1.6. Kebaruan yang Ditemukan

Penelitian-penelitian terdahulu (Tabel 1.1) umumnya hanya mengkaji satu parameter hidrologi atau parameter klimatologi saja untuk memetakan pola curah hujan di Wilayah Indonesia. Selain itu penelitian tersebut data yang digunakan sudah cukup lama dan perlu diperbaharui, mengingat penelitian terbaru mengenai pemetaan pola curah hujan menggunakan data curah hujan dari tahun 1961-1993, sedangkan data curah hujan pada penelitian ini mengambil data curah hujan yang memiliki interval waktu yang lebih panjang yaitu tahun 1948-2016 serta dua data curah hujan yang berbeda cakupan. Data curah hujan pertama yang digunakan adalah data grid observasi *Southeast Asian Climate Assessment & Dataset* (SACA&D) yang merupakan data *grid* pengamatan lapangan dari BMKG Indonesia dan data yang kedua adalah data *grid* reanalisis dari *Monthly Precipitation from Princeton University*.

Penelitian ini mengkaji dinamika parameter perubahan iklim yaitu curah hujan dengan menggunakan data curah hujan dari *Monthly Precipitation from Princeton University* dan data grid observasi *Southeast Asian Climate Assessment & Dataset* (SACA&D) dengan rentang waktu yang lebih panjang yaitu sejak Januari 1948 sampai Desember 2016 dan Januari 1981 sampai Desember 2016. Hasil penelitian disertasi ini lebih akurat dalam memprediksi kejadian bencana hidrometeorologi di Wilayah Indonesia. Berdasarkan uraian singkat tersebut, maka bentuk kebaruan (*novelty*) dalam penelitian ini adalah data curah hujan yang digunakan lebih panjang dan lebih update yaitu dari tahun 1948-2016 selama 69 tahun atau 828 bulan dan membahas dinamika iklim di Indonesia serta menganalisis parameter iklim laut-atmosfer yang mempengaruhinya secara detail dan mendalam.

Penelitian ini memanfaatkan ketersediaan data terkini yang memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi dan rentang pengamatan lebih panjang (> 30 tahun), sehingga menghasilkan analisis yang lebih baik terhadap pola distribusi curah hujan di Indonesia

yang memiliki topografi yang kompleks. Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai resolusi yaitu  $0.25^\circ$  pada lintang dan bujur dengan panjang data pengamatan selama 69 tahun (1948-2016). Selain itu, sebagai perbandingan peneliti juga menggunakan data gridded-observasi curah hujan harian dari SACA&D BMKG Indonesia selama 35 tahun (1981-2016). Perbandingan penggunaan data ini bertujuan untuk melihat pengaruh parameter iklim terhadap curah hujan Indonesia secara menyeluruh dan mendalam. Tabel 1.1. menyajikan beberapa referensi terdahulu yang telah mengkaji pola iklim di Indonesia.

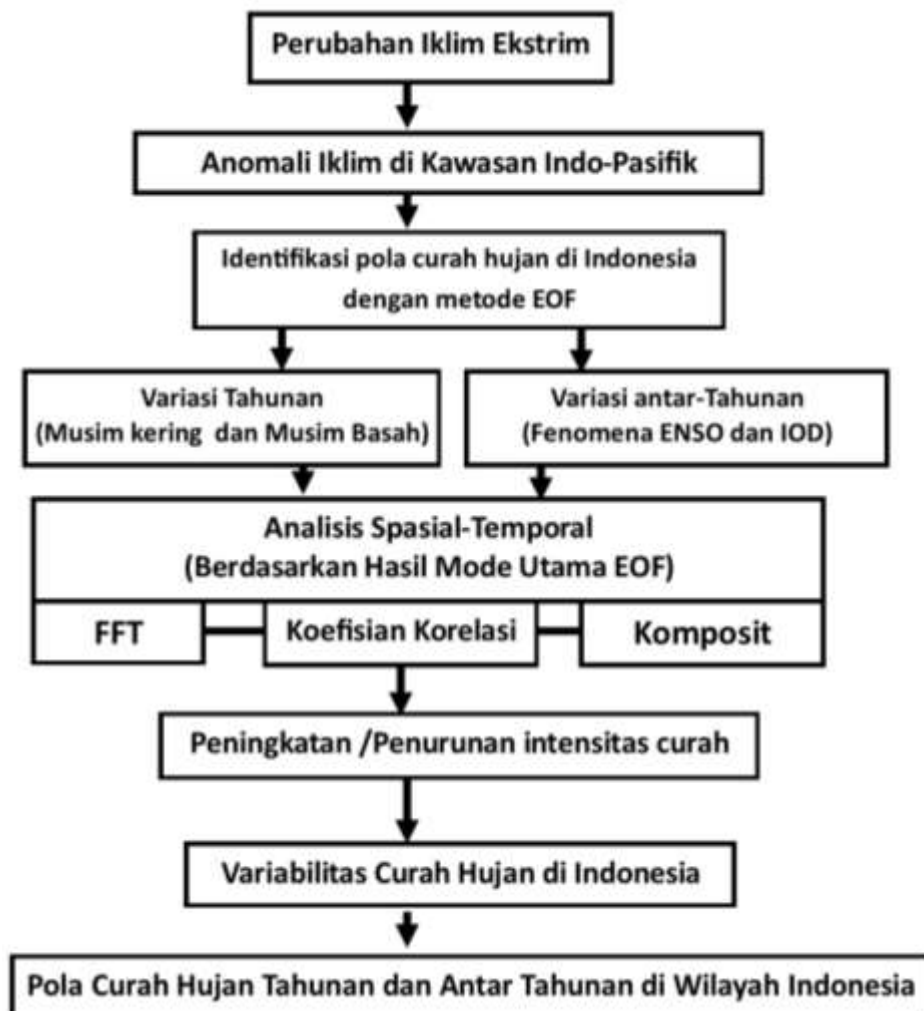
**Tabel 1.1.** Referensi yang Berkaitan dengan Keterbaruan Penelitian

Penelitian Relevan Terkait ENSO	Penelitian Relevan Terkait IOD	Penelitian curah hujan di Indonesia terkait selain ENSO dan IOD	Rekomendasi	Gap
<p><b>1. Hamada (2002)</b></p> <p>Mengkaji variasi spasial dan temporal musim hujan di Indonesia dan menganalisis perbedaan pola curah hujan antara tahun-tahun El Niño dan La Niña.</p> <p><b>2. Aldrian dan Susanto (2003)</b></p> <p>Mengkaji variabilitas curah hujan di Indonesia di tiga wilayah dominan, yang menunjukkan variabilitas tahunan dan semi-tahunan dengan pengaruh El Niño-Southern Oscillation (ENSO)</p> <p><b>3. Hendon (2003)</b></p> <p>Variasi spasial dan temporal musim hujan di Indonesia dan mengidentifikasi adanya perbedaan start awal musim hujan saat tahun El Niño dan La Niña</p> <p><b>4. Chang (2004)</b></p>	<p><b>1. Hamada (2012)</b></p> <p>Variabilitas curah hujan antar tahun di bagian barat laut Pulau Jawa, Indonesia, serta menganalisis hubungannya dengan Indian Ocean Dipole (IOD) dan El Niño-Southern Oscillation (ENSO)</p> <p><b>2. Iskandar (2019)</b></p> <p>Mengkaji peristiwa IOD 2019 yang berdampak signifikan terhadap pola curah hujan di Indonesia yang menyebabkan kebakaran hutan dan lahan gambut di Sumatera dan Kalimantan.</p>	<p><b>1. Sprintall (1999)</b></p> <p>Mengkaji pengamatan gelombang Kelvin setengah tahunan di laut Indonesia pada bulan Mei 1997, yang diakibatkan oleh angin barat di Samudra Hindia ekuator.</p> <p><b>2. Katsumata (2010)</b></p> <p>Menganalisis siklus diurnal curah hujan di Jakarta, yang menunjukkan hujan lebat konvektif pada sore hari diikuti oleh curah hujan stratiform pada malam hari.</p> <p><b>3. Lee, H.S. (2015)</b></p> <p>Studi ini mengidentifikasi pola curah hujan secara umum di berbagai wilayah di Indonesia, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti angin monsun, Zona Konvergensi Intertropis (ITCZ), dan El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Faktor-faktor ini berkontribusi terhadap variabilitas curah hujan musiman dan regional yang signifikan.</p> <p><b>4. Kim J.S., et al. (2020)</b></p> <p>Studi ini menyelidiki dampak fase pemanasan dan pendinginan di Samudera Indo-Pasifik terhadap variabilitas curah</p>	<p>1. Identifikasi pola curah hujan di Indonesia berdasarkan pola dominan secara spasial dan temporal dengan data yang lebih panjang (terbaru) dan metode yang lebih efektif (EOF)</p> <p>2. Mengaitkan pola curah hujan dominan di Indonesia terhadap ENSO dan IOD (meliputi wilayah Indo-Pasifik) secara keseluruhan</p>	<p>Identifikasi pola curah hujan dominan dan mengaitkannya dengan dampak mode iklim Indo-Pasifik terhadap variabilitas curah hujan di Indonesia</p>

<p>Mengeksplorasi hubungan antara suhu permukaan laut Niño3 dan curah hujan monsun di Benua Maritim Barat</p> <p><b>5. As-Syakurr (2010)</b></p> <p>Membahas pola spasial dampak kejadian La Niña terhadap cu</p>		<p>hujan menggunakan data penginderaan jauh. Variasi curah hujan yang signifikan teramati sebagai respons terhadap anomali SPL, dengan pola spesifik selama fase pemanasan (El Niño) dan pendinginan (La Niña).</p> <p><b>5. Mulsandi A., et al. (2024)</b></p> <p>Kajian ini fokus pada identifikasi dan analisis sinyal monsun Indonesia dengan menggunakan Space–Time Singular Value Decomposition (SVD). Evolusi temporal dari mode-mode ini terkait dengan peristiwa iklim yang signifikan, sehingga memberikan wawasan mengenai prediktabilitas musim hujan.</p>		
---	--	--	--	--

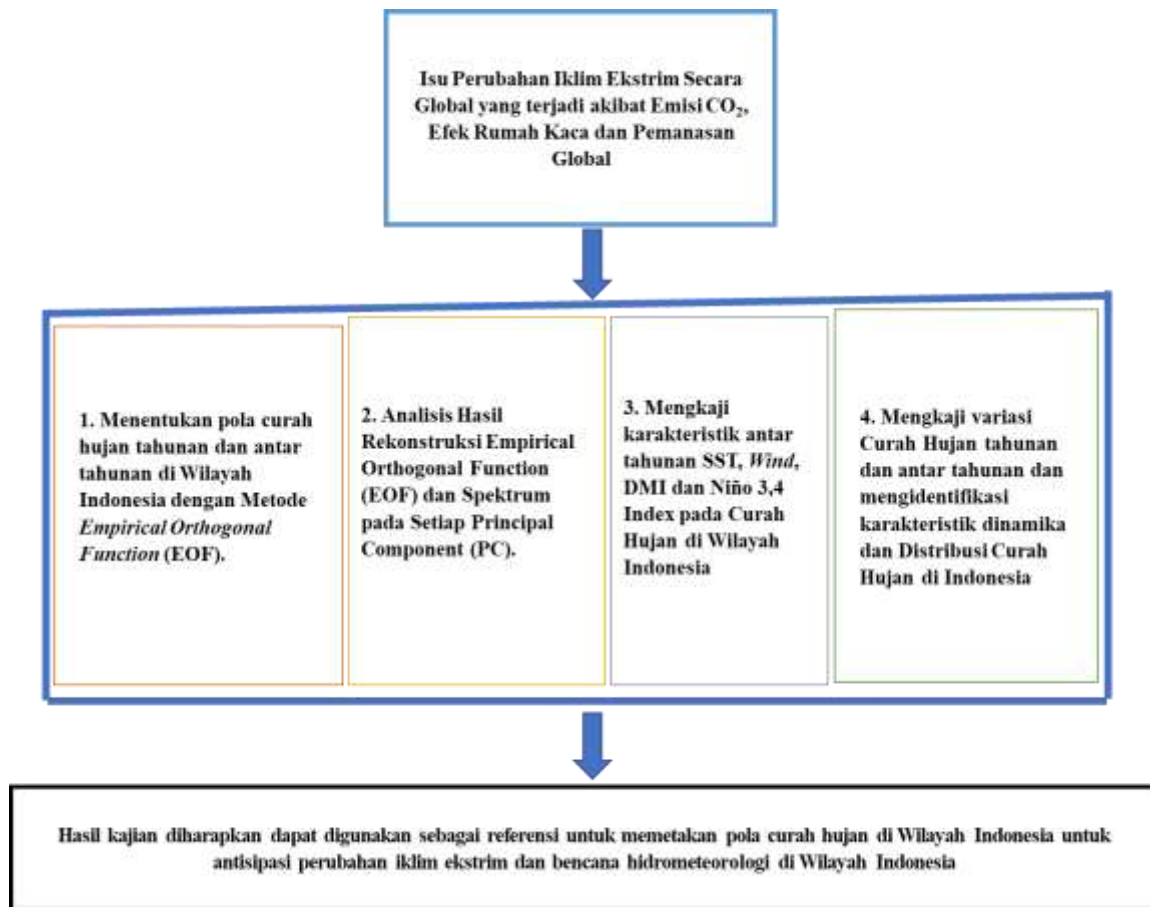
## 1.7. Kerangka Pikir Penelitian

Pemetaan pola curah hujan tahunan dan antar tahunan di Wilayah Indonesia dengan menggunakan metode EOF digunakan untuk memprediksi kejadian perubahan iklim ekstrim dan antisipasi dini dengan mempersiapkan tindakan preventif dalam menghadapi bencana hidrometeorologi seperti banjir dan kemarau panjang diperlukan beberapa kajian, yaitu: kajian tentang karakteristik parameter hidrologi dan klimatologi, karakteristik suhu permukaan air laut, kelembaban angin, indeks monsoon, indeks IOD dan indeks Niño3.4 dan korelasi antara parameter-parameter tersebut terhadap pola curah hujan. Secara ringkas alur kerangka pikir dan alur dari penelitian ini disajikan pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2.



Gambar 1.1. Kerangka Pikir Penelitian





**Gambar 1.2.** Alur Penelitian

## DAFTAR PUSTAKA

- Adikusumo, M. L. (2008). *Karakteristik Curah Hujan DKI Jakarta Dengan Metode Empirical Orthogonal Function (EOF)*. Institut Pertanian Bogor.
- Akinbile, C. O., Ogunmola, O. O., Abolude, A. T., & Akande, S. O. (2020). Trends and spatial analysis of temperature and rainfall patterns on rice yields in Nigeria. *Atmospheric Science Letters*, 21(3), 1–13. <https://doi.org/10.1002/asl.944>
- Aldrian, E. (2001). Pembagian Iklim Indonesia Berdasarkan Pola Curah Hujan Dengan Metoda “ Double Correlation .” *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 2(1), 2–11.
- Aldrian, E. (2007). Decreasing trends in annual rainfalls over Indonesia: A threat for the national water resource? *J. Meteorologi Dan Geofi Sika*, 7(April 2007), 40–49.
- Aldrian, E. (2016). Sistem Peringatan Dini Menghadapi Iklim Ekstrem. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 10(2), 79–90.
- 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>
- Aldrian, E., & Susanto, D. (2003a). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23(12), 1435–1452. <https://doi.org/10.1002/joc.950>
- Aldrian, E., & Susanto, R. (2003b). 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>
- Amalina, N. (2013). *Analisis Variabilitas Curah Hujan Indonesia*. Institut Pertanian Bogor.
- Annamalai, H., Kida, S., & Hafner, J. (2010). Potential impact of the tropical Indian Ocean-Indonesian seas on El Niño characteristics. *Journal of Climate*, 23(14), 3933–3952. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3396.1>
- Ardiani, N. (2013). *Penggunaan empirical orthogonal function (EOF) untuk identifikasi karakteristik curah hujan (studi kasus: das ciujung-cidurian)*. Institut Pertanian Bogor.
- Ariska, Akhsan, H., & Muslim, M. (2019). Utilization of physics computation based on maple in determining the dynamics of tippe top. *Journal of Physics: Conference Series*, 1166(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1166/1/012009>
- Ariska, et al. (2019). Empirical Orthogonal Function (EOF) Analysis Based on Google Colab on Sea Surface Temperature (SST) Dataset in Indonesian Waters. *Indonesian Physical Review*, 2(3), 1–8.
- Ariska, M., Akhsan, H., & Muslim, M. (2022). Impact Profile of Enso and Dipole Mode on Rainfall As Anticipation of Hydrometeorological Disasters in the Province of South Sumatra. *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 7(3), 127–140. <https://doi.org/10.21009/spektra.073.02>
- Ariska, M., Darmawan, A., Supari, S., Irfan, M., & Iskandar, I. (2023). Analisis Dampak Anomali Iklim

- (ENSO dan IOD) pada lingkungan berdasarkan komputasi di Wilayah Sumatera Barat ( Wilayah Khatulistiwa Indonesia ) Analysis of the Impact Climate Anomalies ( ENSO and IOD ) on environments based of computing in the Western S. *J. Aceh Phys. Soc.*, 12(2), 12–18. <https://doi.org/10.24815/jacps.v12i2.31167>
- Ariska, M., Putriyani, F. S., Akhsan, H., & Irfan, M. (2023). *Trend of Rainfall Pattern in Palembang for 20 Years and Link to El-niño Southern Oscillation ( ENSO )*. 12(1), 67–75. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v12i1.15525>
- Ashok, K., Guan, Z., & Yamagata, T. (2003). Influence of the Indian Ocean Dipole on the Australian winter rainfall. *Geophysical Research Letters*, 30(15), 3–6. <https://doi.org/10.1029/2003GL017926>
- Baeda, A. Y., Pao’Tonan, C., & Abdullah, D. (2019). The correlation between sea surface temperature and MJO incidence in Indonesian waters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 235(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/235/1/012020>
- Bhatti, A. S. (2020). Trend in extreme precipitation indices based on long term in situ precipitation records over Pakistan. *Water (Switzerland)*, 12(3), 1–19. <https://doi.org/10.3390/w12030797>
- Chang, C. P., Wang, Z., Ju, J., & Li, T. (2004). On the relationship between western maritime continent monsoon rainfall and ENSO during northern winter. *Journal of Climate*, 17(3), 665–672. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<0665:OTRBWM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<0665:OTRBWM>2.0.CO;2)
- Dewanti, Y. P., Muliadi, & Adriat, R. (2018). Pengaruh El Niño Southern Oscillation (ENSO) Terhadap Curah Hujan di Kalimantan Barat. *Prisma Fisika*, 6(3), 145–151.
- Field, R. D., Van Der Werf, G. R., Fanin, T., Fetzer, E. J., Fuller, R., Jethva, H., Levy, R., Livesey, N. J., Luo, M., Torres, O., & Worden, H. M. (2016). Indonesian fire activity and smoke pollution in 2015 show persistent nonlinear sensitivity to El Niño-induced drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(33), 9204–9209. <https://doi.org/10.1073/pnas.1524888113>
- Gordon, L., Susanto, R. D., & May, A. (2000). A semiannual Indian Ocean forced Kelvin wave observed in the Indonesian seas in May 1997. *Journal of Geophysical Research*, 105(C7), 217–230.
- Hafizhurrahman, I., Kunarso, K., & Suryoputro, A. (2015). Pengaruh Iod (Indian Ocean Dipole) Terhadap Variabilitas Nilai Serta Distribusi Suhu Permukaan Laut Dan Klorofil-a Pada Periode Upwelling Di Perairan Sekitar Bukit Badung Bali. *Jurnal Oseanografi*, 4(2), 138517.
- Hamada, J. I., Yamanaka, M. D., Matsumoto, J., Fukao, S., Winarso, P. A., & Sribimawati, T. (2002). Spatial and temporal variations of the rainy season over Indonesia and their link to ENSO. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 80(2), 285–310. <https://doi.org/10.2151/jmsj.80.285>
- Handoko, E. Y., Filaili, R. B., & . Y. (2019). Analisa Fenomena Enso Di Perairan Indonesia Menggunakan Data Altimetri Topex/Poseidon Dan Jason Series Tahun 1993 – 2018. *Geoid*, 14(2), 43. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v14i2.3892>
- Harrison, D. E. (1998). El Nino-Southern Oscillation Sea Surface Temperature and Wind Anomalies.

*Reviews of Geophysics*, 36(3), 353–399.

- Hendon, H. H. (2003). Indonesian rainfall variability: Impacts of ENSO and local air-sea interaction. *Journal of Climate*, 16(11), 1775–1790. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<1775:IRVIOE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<1775:IRVIOE>2.0.CO;2)
- Hermawan, E. (2010). Pengelompokan Pola Curah Hujan Yang Terjadi Di Beberapa Kawasan P. Sumatera Berbasis Hasil Analisis Teknik Spektral. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 11(2). <https://doi.org/10.31172/jmg.v11i2.67>
- Hidayat. (2017). Hydrology of inland tropical lowlands: The Kapuas and Mahakam wetlands. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(5), 2579–2594. <https://doi.org/10.5194/hess-21-2579-2017>
- Hidayat, R., Ando, K., Masumoto, Y., & Luo, J. J. (2016). Interannual Variability of Rainfall over Indonesia: Impacts of ENSO and IOD and Their Predictability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 31(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/31/1/012043>
- Irfan, M., & Iskandar, I. (2022). the Impact of Positive Iod and La Niña on the Dynamics of Hydro-Climatological Parameters on Peatland. *International Journal of GEOMATE*, 23(97), 115–122. <https://doi.org/10.21660/2022.97.3307>
- Irfan, M., Virgo, F., Khakim, M. Y. N., Ariani, M., Sulaiman, A., & Iskandar, I. (2021). The dynamics of rainfall and temperature on peatland in South Sumatra during the 2019 extreme dry season. *Journal of Physics: Conference Series*, 1940(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1940/1/012030>
- Iskandar. (2014). Mengenal Indian Ocean Dipole (IOD) dan Dampaknya Pada Perubahan Iklim. *Oseana*, XXXIX(2), 13–21.
- Iskandar, I., Lestari, D. O., Saputra, A. D., Setiawan, R. Y., Wirasatriya, A., Susanto, R. D., Mardiansyah, W., Irfan, M., Rozirwan, Setiawan, J. D., & Kunarso. (2022). Extreme Positive Indian Ocean Dipole in 2019 and Its Impact on Indonesia. *Sustainability (Switzerland)*, 14(22), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su142215155>
- Iskandar, I., Sari, Q. W., Setiabudiday, D., Yustian, I., & Monger, B. (2017). The distribution and variability of chlorophyll-a bloom in the southeastern tropical Indian ocean using empirical orthogonal function analysis. *Biodiversitas*, 18(4), 1546–1555. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d180433>
- Iskandar, I., Tozuka, T., Masumoto, Y., & Yamagata, T. (2008). Impact of Indian Ocean Dipole on intraseasonal zonal currents at 90°E on the equator as revealed by self-organizing map. *Geophysical Research Letters*, 35(14), 1–5. <https://doi.org/10.1029/2008GL033468>
- Jun-Ichi, H., Mori, S., Kubota, H., Yamanaka, M. D., Haryoko, U., Lestari, S., Sulistyowati, R., & Syamsudin, F. (2012). Interannual rainfall variability over northwestern Jawa and its relation to the Indian Ocean Dipole and El Niño-Southern Oscillation events. *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, 8(1), 69–72. <https://doi.org/10.2151/sola.2012-018>

- Kachi, T. N. and M. (1970). Interdecadal Variations of Precipitation over the Tropical Pacific and Indian Oceans. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 43, 2091. <http://www.mendeley.com/research/geology-volcanic-history-eruptive-style-yakedake-volcano-group-central-japan/>
- Katsumata, M., Mori, S., Hamada, J. I., Hattori, M., Syamsudin, F., & Yamanaka, M. D. (2018). Diurnal cycle over a coastal area of the Maritime Continent as derived by special networked soundings over Jakarta during HARIMAU2010. *Progress in Earth and Planetary Science*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40645-018-0216-3>
- Koplitz, S. N., Mickley, L. J., Marlier, M. E., Buonocore, J. J., Kim, P. S., Liu, T., Sulprizio, M. P., DeFries, R. S., Jacob, D. J., Schwartz, J., Pongsiri, M., & Myers, S. S. (2016). Public health impacts of the severe haze in Equatorial Asia in September–October 2015. *Environmental Research Letters*, 11(9). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/9/094023>
- Kumar, S., Silva, Y., Moya-Álvarez, A. S., & Martínez-Castro, D. (2019). Seasonal and regional differences in extreme rainfall events and their contribution to the world's precipitation: GPM observations. *Advances in Meteorology*, 2019, 6–9. <https://doi.org/10.1155/2019/4631609>
- Landsea, C. W., & Knaff, J. A. (2000). How much skill was there in forecasting the very strong 1997–98 El Niño? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(9), 2107–2119. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2000\)081<2107:HMSWTI>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2000)081<2107:HMSWTI>2.3.CO;2)
- Lestari, D. O., Sutriyono, E., Kadir, S., & Iskandar, I. (2019). Impact of 2016 weak La Niña Modoki event over the Indonesian region. *International Journal of GEOMATE*, 17(61), 156–162. <https://doi.org/10.21660/2019.61.8256>
- Lestari, D. O., Sutriyono, E., Sabaruddin, S., & Iskandar, I. (2018). Respective Influences of Indian Ocean Dipole and El Niño-Southern Oscillation on Indonesian Precipitation. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, 50(3), 257–272. <https://doi.org/10.5614/j.math.fund.sci.2018.50.3.3>
- Lestari, I. L., Nurdianti, S., & Sopaheluwakan, A. (2016). Analisis Empirical Orthogonal Function (Eof) Berbasis Singular Value Decomposition (Svd) Pada Data Curah Hujan Indonesia. *Journal of Mathematics and Its Applications*, 15(1), 13. <https://doi.org/10.29244/jmap.15.1.13-22>
- Li, B., Wang, L., Kaseke, K. F., Li, L., & Seely, M. K. (2016). The impact of rainfall on soil moisture dynamics in a foggy desert. *PLoS ONE*, 11(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164982>
- Luhwahyudin, M., & Citrosiswoyo, W. (2012). Analisa Perubahan Garis Pantai Tegal dengan Menggunakan Empirical Orthogonal Function ( EOF ). *Teknik ITS*, 1(2), 182–194.
- Lyons., W. . (1982). Empirical Orthogonal Function Analysis Of Hawaiian Rainfall. *Journal of Applied Meteorology*, 21, 1713.
- Misnawati, ., & Perdanawanti, M. (2019). Trend of Extreme Precipitation over Sumatera Island for 1981-2010. *Agromet*, 33(1), 41–51. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.33.1.41-51>
- Molle. (2020). Analisis Anomali Pola Curah Hujan Bulanan Tahun 2019 Terhadap Normal Curah Hujan

- (30 Tahun) Di Kota Manado Dan Sekitarnya. *Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 7(1), 1–8.
- Nelvi, A. (2016). Analisis Dinamika Atmosfer dan Lautan Bulan Januari-Februari 2016 di padang. *Prosiding SNSA*, 26–37.
- Novi, M. B., Muliadi, & Adriat, R. (2018). Pengaruh ENSO dan Dipole Mode Terhadap Curah Hujan di Kota Pontianak. *Prisma Fisika*, 6(3), 210–213.
- Pandia. (2019). Analisis Pengaruh Angin Monsun Terhadap Perubahan Curah Hujan Dengan Penginderaan Jauh (Studi Kasus: Provinsi Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 278–287.
- Putra, R., Sutriyono, E., Kadir, S., Iskandar, I., & Lestari, D. O. (2019). Dynamical link of peat fires in South Sumatra and the climate modes in the Indo-Pacific region. *Indonesian Journal of Geography*, 51(1), 18–22. <https://doi.org/10.22146/ijg.35667>
- Robial, S. M., Nurdianti, S., & Sopaheluwakan, A. (2016). Analisis Empirical Orthogonal Function (EOF) Berbasis Eigen Value Problem (EVP) Pada Dataset Suhu Permukaan Laut Indonesia. *Journal of Mathematics and Its Applications*, 15(1), 1–9. <https://doi.org/10.29244/jmap.15.1.1-12>
- Rouw, A., Hadi, T. W., K, B. T. H., & Hadi, S. (2014). Analisis Variasi Geografis Pola Hujan di Wilayah Papua Geographic Variation Analysis of Rainfall Pattern in Papua Region. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 38(1), 25–34. <http://ejurnal.litbang.pertanian.go.id/index.php/jti/article/view/6245>
- Rusnandi, I. E., & Sinambela, W. (2010). Pengaruh Aktivitas Matahari pada Curah Hujan di Atas Indonesia: Variasi Siklus ke Siklus. *Majalah Sains Dan Teknologi ...*, 1–9. [http://jurnal.lapan.go.id/index.php/majalah\\_sains\\_tekgan/article/view/6%0Ahttp://jurnal.lapan.go.id/index.php/majalah\\_sains\\_tekgan/article/download/6/6](http://jurnal.lapan.go.id/index.php/majalah_sains_tekgan/article/view/6%0Ahttp://jurnal.lapan.go.id/index.php/majalah_sains_tekgan/article/download/6/6)
- Saji, N. H., & Vinayachandran, P. N. (1999). A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 401(September), 360–364.
- Sari, F. M. (2016). *Peramalan Curah Hujan Ekstrem Secara Spasial (Studi Kasus: Curah Hujan Bulanan Di Kabupaten Indramayu)* [Institut Pertanian Bogor]. [https://www.researchgate.net/profile/Risni\\_Yuhan/publication/328449445\\_ProSIDING\\_SEMASTAT\\_2016/links/5bced5f9a6fdcc204a0138d2/Prosiding-SEMASTAT-2016.pdf#page=105](https://www.researchgate.net/profile/Risni_Yuhan/publication/328449445_ProSIDING_SEMASTAT_2016/links/5bced5f9a6fdcc204a0138d2/Prosiding-SEMASTAT-2016.pdf#page=105)
- Setiawan, P., Nurdianti, S., & Sopaheluwakan, A. (2017). Analisis Empirical Orthogonal Function (EOF) dan Transformasi Fourier Pada Sinyal Curah Hujan Indonesia. *Seminar Matematika Dan Pendidikan Matematika UNY 2017, December 2020*, 1–24. <https://doi.org/10.31227/osf.io/8e2f3>
- Siswanto, S., van Oldenborgh, G. J., van der Schrier, G., Jilderda, R., & van den Hurk, B. (2016). Temperature, extreme precipitation, and diurnal rainfall changes in the urbanized Jakarta city during the past 130 years. *International Journal of Climatology*, 36(9), 3207–3225. <https://doi.org/10.1002/joc.4548>
- Sofiati, I., Pusat, P., Dan, S., & Atmosfer, T. (2012). Karakteristik Outgoing Longwave Radiation (OLR) Berdasarkan Empirical Orthogonal Function (EOF) dan Kaitannya Dengan Curah Hujan di Wilayah Indonesia. *Jurnal Sains Dirgantara*, 10(1), 35–46.
- Sprintall, J., Chong, J., Syamsudin, F., Morawitz, W. L. M., Hautala, S., Bray, N. A., & Wijffels, S.

- (1999). Dynamics of the South Java Current in the Indo-Australian Basin. *Geophysical Research Letters*, 26(16), 2493–2496. <https://doi.org/10.1029/1999GL002320>
- Sprintall, J., & Timothy Liu, W. (2005). Ekman mass and heat transport in the Indonesian seas. *Oceanography*, 18(SPL.ISS. 4), 88–97. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2005.09>
- Suhadi, Supari, Iskandar, I., Irfan, M., & Akhsan, H. (2023). Drought Assessment in Aceh and North Sumatra Using Effective Drought Index. *Science and Technology Indonesia*, 8(2), 259–264. <https://doi.org/10.26554/sti.2023.8.2.259-264>
- Tukidi. (2010). Karakter Curah Hujan di Indonesia. *Jurnal Geografi*, 7(2), 136–145.
- Ward, C., Stringer, L. C., Warren-Thomas, E., Agus, F., Crowson, M., Hamer, K., Hariyadi, B., Kartika, W. D., Lucey, J., McClean, C., Nurida, N. L., Petorelli, N., Pratiwi, E., Saad, A., Andriyani, R., Ariani, T., Sriwahyuni, H., & Hill, J. K. (2021). Smallholder perceptions of land restoration activities: rewetting tropical peatland oil palm areas in Sumatra, Indonesia. *Regional Environmental Change*, 21(1). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01737-z>
- Yamagata, T., & Masumoto, Y. (1992). Interdecadal Natural Climate Variability in the Western Pacific and its Implication in Global Warming. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 70(February), 167–175.
- Yamanaka, M. D. (2016). Physical climatology of Indonesian maritime continent: An outline to comprehend observational studies. *Atmospheric Research*, 178–179, 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.03.017>
- Yamanaka, M. D. (2018). Equatorial rainfall and global climate. *ISQUAR*, 3(March), 3–6.
- Yulihastin, E. (2010). Mekanisme Interaksi Monsun Asia dan Enso. *Berita Dirgantara*, 11(3), 99–105.
- Zheng, X. T. (2019). Indo-Pacific Climate Modes in Warming Climate: Consensus and Uncertainty Across Model Projections. *Current Climate Change Reports*, 5(4), 308–321. <https://doi.org/10.1007/s40641-019-00152-9>