

SKRIPSI

**TELAAH HUBUNGAN *EL NINO-SOUTHERN OSCILLATION* (ENSO)  
DENGAN *MADDEN-JULIAN OSCILLATION* (MJO)  
DI KEPULAUAN NUSANTARA**

Disusun dan diajukan oleh:

**ARISKA  
D081171305**



**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

**"TELAAH HUBUNGAN *EL NINO-SOUTHERN OSCILLATION (ENSO)*  
DENGAN *MADDEN-JULIAN OSCILLATION (MJO)* DI KEPULAUAN  
NUSANTARA"**

Disusun dan diajukan oleh:

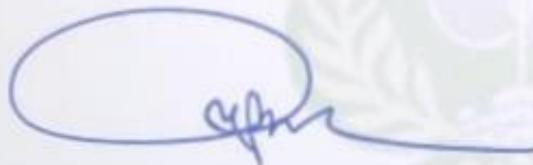
**ARISKA  
D081171305**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi program Sarjana Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 5 Oktober 2021  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

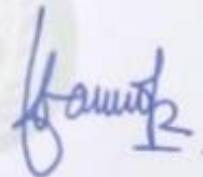
Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping.



Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT.  
NIP. 19730792000031001



Dr. Hasdinar Umar, ST., MT.  
NIP. 197804282003122002

Ketua Departemen Teknik Kelautan,



Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.  
NIP. 197506052002121003

**LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI**

**"TELAAH HUBUNGAN *EL NINO-SOUTHERN OSCILLATION* (ENSO)  
DENGAN *MADDEN-JULIAN OSCILLATION* (MJO) DI KEPULAUAN  
NUSANTARA"**

Disusun dan diajukan oleh:

**ARISKA  
D081171305**

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Tanggal : 5 Oktober 2021  
Di : Gowa

Dengan Panel Ujian Skripsi

1. Ketua : Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT.
2. Sekretaris : Dr. Hasdinar Umar, ST., MT.
3. Anggota 1 : Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.
4. Anggota 2 : Sabaruddin Rahman, ST., MT., Ph.D

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Kelautan



Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.

Nip: 197506052002121003

## PERNYATAAN KEASLIAN SKIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

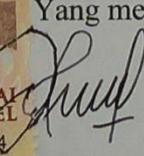
Nama : Ariska  
NIM : D081171305  
Program Studi : Teknik Kelautan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi saya berjudul

**“TELAAH HUBUNGAN *EL NINO-SOUTHERN OSCILLATION* (ENSO)  
DENGAN *MADDEN-JULIAN OSCILLATION* (MJO) DI KEPULAUAN  
NUSANTARA”**

Adalah skripsi yang saya tulis ini benar-benar hasil dan karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari saya terbukti atau tidak dapat dibuktikan bahwa atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 5 Oktober 2021

Yang menyatakan,  
  
Ariska



## ABSTRAK

**Ariska** “Telaah Hubungan *El Nino–Southern Oscillation* (ENSO) dengan *Madden-Julian Oscillation* (MJO) di Kepulauan Nusantara” Dibimbing oleh **Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT.** dan **Dr. Hasdinar Umar, ST., MT.**

*El Nino–Southern Oscillation* (ENSO) adalah gejala penyimpangan (anomali) pada suhu permukaan Samudra Pasifik di pantai Barat Ekuador dan Peru yang lebih tinggi daripada rata-rata normalnya yang ditandai dengan kenaikan suhu permukaan laut (SPL) di daerah khatulistiwa bagian Tengah dan Timur. Variabilitas iklim ENSO terdiri dari tiga fenomena yaitu kejadian normal, El Nino dan La Nina. Perkembangan peristiwa *El-Nino Southern Oscillation* (ENSO) menunjukkan peran penting bagi *Madden-Julian Oscillation* (MJO). Fenomena ini ditengarai memiliki hubungan dan erat kaitannya dengan penurunan dan peningkatan intensitas curah hujan di Indonesia. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis keterkaitan antaran fenomena ENSO dan MJO dan dampak yang ditimbulkan di Indonesia, melalui metode empiris dengan perhitungan statistik, berdasarkan variabel ENSO berupa indeks Nino 3.4, variabel amplitudo yang mewakili MJO serta data curah hujan 34 provinsi di Indonesia. Data dari kedua variabel tersebut diperoleh dari NOAA dan BoM, sedangkan data curah hujan diperoleh dari NASA. Periode data yang dianalisa sepanjang 10 tahun, dari tahun 2010 sampai 2019. Kedua data tersebut akan difilter dan dianalisis korelasi dari kedua variabel dengan metode regresi linier sederhana. Terdapat korelasi yang dominan positif antara ENSO dan MJO, dengan nilai  $r$  sebesar 0,523. Dari penelitian ini diketahui bahwa ENSO memiliki keterkaitan dengan MJO dan memiliki hubungan dengan peningkatan dan penurunan intensitas curah hujan di Indonesia.

Kata kunci : *El-Nino Southern Oscillation*, *Madden-Julian Oscillation*, curah hujan

## **ABSTRACT**

**Ariska** “A study of the Relationship El Nino–Southern Oscillation (ENSO) with the Madden-Julian Oscillation (MJO) in the Nusantara Archipelago” Supervised by **Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT.** and **Dr. Hasdinar Umar, ST., MT.**

*El Nino–Southern Oscillation (ENSO) is a symptom of deviation (anomaly) in the surface temperature of the Pacific Ocean on the West coast of Ecuador and Peru which is higher than the normal average which is characterized by an increase in sea surface temperature (SST) in the Central and Eastern equatorial regions. . ENSO climate variability consists of three phenomena, namely normal events, El Nino and La Nina. The development of the event El-Nino Southern Oscillation (ENSO) demonstrates an important role for the Madden-Julian Oscillation (MJO). This phenomenon is suspected to have a relationship and is closely related to the decrease and increase in the intensity of rainfall in Indonesia. This study was conducted with the aim of analyzing the relationship between the ENSO and MJO phenomena and their impacts in Indonesia, through empirical methods with statistical calculations, based on ENSO variables in the form of the Nino 3.4 index, amplitude variables representing the MJO and rainfall data for 34 provinces in Indonesia. The data for these two variables were obtained from NOAA and BoM, while the rainfall data was obtained from NASA. The period of data analyzed is 10 years, from 2010 to 2019. The two data will be filtered and analyzed for correlation of the two variables using a simple linear regression method. There is a dominantly positive correlation between ENSO and MJO, with an  $r$  value of 0.523. From this study, it is known that ENSO has a relationship with the MJO and has a relationship with an increase and decrease in rainfall intensity in Indonesia.*

*Keywords: El-Nino Southern Oscillation, Madden-Julian Oscillation, rainfall*

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Alhamdulillah, segala puji syukur bagi **Allah SWT** atas segala limpahan rahmat, berkah, rejeki, dan hidayah-Nya pada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Shalawat dan salam kepada **Nabi Muhammad SAW** beserta keluarga, sahabat dan pengikut beliau. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya yang tak terkira dengan angka dan persamaan, penulis ucapkan kepada Ibunda dan Nenek tercinta **Keboria** dan **Dio** untuk segala pengorbanan, keringat, air mata, cinta dan kasih sayang tulus yang kalian berikan kepada penulis.

Dalam proses penelitian dan penulisan hingga terealisasinya Skripsi yang berjudul “**Telaah Hubungan *El Nino–Southern Oscillation (ENSO)* dengan *Madden-Julian Oscillation (MJO)* di Kepulauan Nusantara**”, penulis sangat terbantu oleh banyak pihak, maka dari itu dengan segala hormat penulis ucapkan terima kasih yang tak terkira kepada:

1. Bapak **Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT.** selaku pembimbing pertama yang dengan segala keikhlasan dan kesabaran membimbing serta berbagi pengetahuan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terealisasi.
2. Ibu **Dr. Hasdinar Umar, ST., MT.** selaku pembimbing kedua, atas segala petunjuk dan arahnya kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Para tim penguji: Bapak **Dr. Chairul Paotonan, ST., MT.** dan bapak **Sabaruddin Rahman, ST., MT., Ph.D**, atas saran dan masukan dalam perbaikan skripsi ini, sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.
4. Bapak **Dr. Chairul Paotonan, ST., MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta jajaran dan staf pengurus Departemen.

5. **Dosen–Dosen Teknik Kelautan** yang telah memberikan ilmu serta pengalamannya selama penulis menempuh pendidikan di Departemen Teknik Kelautan.
6. Saudara penulis **Haedir, S.H.** beserta Istri **Mirnowati, S.Pd.** atas segala doa dan dukungan kepada penulis.
7. Saudara tak sedarah **Dinda Darwis** yang senantiasa memberikan semangat dan motivasi.
8. **Teman-Teman Mahasiswa Teknik Kelautan Angkatan 2017** dan **Saudari-Saudari NK** yang selalu memberi motivasi dan dukungannya serta kebahagiaan yang telah dilalui bersama.
9. Saudara/I ku **PERIZCOPE CREW** serta teman-teman **Ocean Technology Laboratory (OTLAB)**, memori tentang kalian takkan penulis lupakan.
10. Teman-teman **KKN TEMATIK UNHAS GEL 105 POSKO GOWA 6** yang telah memberikan pengalaman yang berharga dalam masa pengabdian kami ber-KKN di masa pandemi Covid-19.
11. Pihak **NASA, BoM** dan **NOAA** tempat penulis mengunduh data untuk skripsi ini, serta seluruh pihak-pihak yang tulisannya menjadi referensi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
12. Serta seluruh saudara, rekan, sahabat, dan pihak yang namanya tak bisa penulis sebutkan satu-persatu, terima kasih.
13. Diri saya sendiri yang mau dan mampu bertahan, berjuang dan berusaha sekuat yang saya bisa, terima kasih karena sudah tetap kuat hingga saat ini.

Penulis menyadari masih terdapat beberapa kekurangan dan keterbatasan pada skripsi ini, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar penulis menjadi lebih baik kedepannya, karena kesempurnaan hanya milik Allah SWT semata. Penulis juga berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi seluruh pihak dan juga bagi penulis sendiri, aamiin Ya Rabb...

*Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Gowa, 1 Oktober 2021

Ariska

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	vii
LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI.....	vii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	vii
ABSTRAK .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR ISTILAH .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TEORI DASAR .....	6
2.1 Definisi <i>El-Nino Southern Oscillation</i> (ENSO) .....	6
2.1.1 Suhu Permukaan Laut (SPL).....	6
2.1.2 El Nino dan La Nina .....	9
2.1.3 Hubungan ENSO dengan Fenomena Lain .....	15
2.2 <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) .....	16
2.2.1 Definisi, Pola, Karakteristik dan Fase MJO.....	16
2.2.2 Dampak Terjadinya MJO.....	22
2.3 Hujan .....	24
2.3.1 Presipitasi (Hujan).....	24
2.3.2 Tipe Hujan.....	25
2.3.3 Parameter Hujan.....	26
2.4 Angin .....	27
2.4.1 Hubungan Tekanan dengan Angin.....	28

2.5	Siklon Tropis di Sekitar Perairan Indonesia.....	28
2.5.1	Proses Terbentuknya Siklon Tropis .....	29
2.5.2	Dampak Siklon Tropis .....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		33
3.1	Lokasi Penelitian .....	33
3.2	Data .....	33
3.3	Metode Pengolahan Data.....	33
3.3.1	Penapisan Data ( <i>Filtering</i> ).....	33
3.3.2	Analisis Sensitivitas Dengan Regresi Linier Sederhana .....	34
3.4	Tahapan Penelitian .....	36
3.4.1	Pengumpulan Data .....	36
3.4.2	<i>Filtering</i> .....	37
3.4.3	Regresi Linier Sederhana .....	37
3.5	Diagram Alir.....	38
BAB IV PEMBAHASAN.....		39
4.1	Hubungan antara <i>El Nino-Southern Oscillation</i> (ENSO) dengan <i>Madden-Julian Oscillation</i> (MJO).....	39
4.1.1	Analisa Sensitivitas dengan Regresi Linier Sederhana.....	39
4.1.2	Analisa Korelasi dengan Visualisasi Grafik .....	40
4.2	Dampak yang ditimbulkan dari pola kejadian <i>El Nino-Southern Oscillation</i> (ENSO) dengan <i>Madden-Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan yang terjadi di Nusantara.....	48
BAB V PENUTUP.....		79
5.1	Kesimpulan.....	79
5.2	Saran .....	79
DAFTAR PUSTAKA .....		80

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik <i>Oceanic Nino Indeks</i> (ONI) 1950–2020 .....	3
Gambar 2.1 Contoh Sebaran SPL di Perairan Timur Indonesia Tahun .....	8
Gambar 2.2 Pola Pasifik Normal .....	11
Gambar 2.3 Kondisi El Nino.....	11
Gambar 2.4 Kondisi La Nina .....	12
Gambar 2.5 Grafik Indek Osilasi Selatan dan Dipole Samudera Hindia.....	16
Gambar 2.6 Skema Sirkulasi MJO.....	17
Gambar 2.7 Propagasi MJO (Gottschalck <i>et al.</i> , 2005) .....	18
Gambar 2.8 Siklus MJO (Matthews A.J., 2000).....	20
Gambar 2.9 <i>Inter Tropical Convergence Zone</i> (ITCZ).....	22
Gambar 2.10 Anomali Curah Hujan (Donald <i>et.al.</i> , 2006) .....	23
Gambar 2.11 Grafis Tipe-Tipe Hujan (Bayong, 2004) .....	26
Gambar 2.12 Siklon tropis yang pernah terjadi di Indonesia (Islahuddin, 2017) .	31
Gambar 2. 13 Lintasan siklon tropis Cempaka 27 November 2017 (Kurniawan 2017). .....	32
Gambar 3. 1 Garis regresi Y karena pengaruh X, persamaan regresinya $Y = 2.0 + 0.5 X$ .....	35
Gambar 3. 2 Diagram Alir .....	38
Gambar 4. 1 Hubungan indeks Nino indeks 3.4 terhadap <i>Madden-Julian Oscillation</i> (MJO) 2010-2019 .....	42
Gambar 4. 2 Hubungan indeks Nino indeks 3.4 El Nino terhadap <i>Madden-Julian Oscillation</i> (MJO) 2010-2019 .....	43
Gambar 4. 3 Hubungan indeks Nino indeks 3.4 La Nina terhadap <i>Madden-Julian Oscillation</i> (MJO) 2010-2019 .....	45
Gambar 4. 4 Diagram fase MJO periode Oktober-Desember 2011 .....	47
Gambar 4. 5 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Aceh .....	49

Gambar 4. 6 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Sumatra Utara.....	49
Gambar 4. 7 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Sumatra Barat.....	50
Gambar 4. 8 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Riau .....	50
Gambar 4. 9 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Jambi .....	50
Gambar 4. 10 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Sumatra Selatan.....	51
Gambar 4. 11 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Bengkulu .....	51
Gambar 4. 12 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Lampung .....	51
Gambar 4. 13 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Bangka Belitung.....	52
Gambar 4. 14 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Kepulauan Riau .....	52
Gambar 4. 15 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi DKI Jakarta .....	55
Gambar 4. 16 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Jawa Barat .....	55
Gambar 4. 17 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Jawa Tengah.....	56
Gambar 4. 18 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi DI Yogyakarta.....	56
Gambar 4. 19 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Jawa Timur.....	56
Gambar 4. 20 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Banten .....	57

Gambar 4. 21 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Bali .....	59
Gambar 4. 22 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Nusa Tenggara Barat .....	61
Gambar 4. 23 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Nusa Tenggara Timur.....	63
Gambar 4. 24 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Kalimantan Barat .....	65
Gambar 4. 25 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Kalimantan Tengah .....	66
Gambar 4. 26 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Kalimantan Selatan .....	66
Gambar 4. 27 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Kalimantan Timur .....	67
Gambar 4. 28 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Kalimantan Utara .....	67
Gambar 4. 29 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Sulawesi Utara .....	69
Gambar 4. 30 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Sulawesi Tengah .....	70
Gambar 4. 31 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Sulawesi Selatan.....	70
Gambar 4. 32 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Sulawesi Tenggara .....	70
Gambar 4. 33 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Gorontalo.....	71
Gambar 4. 34 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Sulawesi Barat.....	71
Gambar 4. 35 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Maluku .....	73

Gambar 4. 36 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Maluku Utara.....	74
Gambar 4. 37 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Papua Barat .....	76
Gambar 4. 38 Hubungan indeks Nino 3.4, MJO terhadap curah hujan tahun 2010 s.d 2019 Provinsi Papua .....	76

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Klasifikasi Fenomena El Nino dan La Nina berdasarkan NINO 3.4 SST Indeks .....	13
Tabel 2.2 Keadaan Hujan dan Intensitas Hujan (Triatmodjo, 2008) .....	27
Tabel 3. 1 Spesifikasi Data yang digunakan .....	33
Tabel 3. 2 Interpretasi Koefisien Korelasi Menurut Sugiyono (2008).....	36
Tabel 4. 1 Koefisien Korelasi yang diperoleh dari Anova (2010-2019).....	40
Tabel 4. 2 Keadaan Hujan dan Intensitas Hujan (Triatmodjo, 2008) .....	48

## DAFTAR ISTILAH

- Atmosfer (*Atmosphere*)** : Selubung gas yang terdapat di sekeliling planet, termasuk bumi.
- Awan (*Cloud*)** : Kelompok butiran air atau es atau keduanya yang tampak mengelompok di atmosfer.
- El Nino-Southern Oscillation*: (ENSO)** Gejala interaksi laut-atmosfir yang terjadi karena dampak penyimpangan suhu muka laut di wilayah ekuatorial dan timur Pasifik yang diasumsikan dengan adanya nilai indeks perubahan tekanan udara antara bagian barat dan tengah Pasifik tropis. El Nino masa awalnya digunakan untuk menggambarkan arus hangat-air yang secara berkala mengalir bersama di pantai Ekuador dan Peru, mengganggu sirkulasi lokal. Lebih-lebih sejak diidentifikasi memiliki pengaruh pemanasan seperti membentuk semacam basin di Pasifik tropis dengan Samudera timur garis batas penanggalan. Berbagai peristiwa kelautan terkait dengan dampak fluktuasi aliran pola tekanan dari permukaan berskala global tropis dan subtropis disebut Osilasi Selatan. Hal ini ditambah lagi dengan adanya fenomena atmosfer-laut, dengan skala waktu yang sering terjadi sekitar dua hingga sekitar tujuh tahun, peristiwa tersebut secara umum dikenal sebagai *El Nino Southern Oscillation* (ENSO). Hal ini sering diukur dengan perbedaan anomali tekanan permukaan antara Darwin dan Tahiti dan permukaan laut suhu di Pasifik

tengah dan timur khatulistiwa. Fase dingin ENSO disebut La Nina. Fase El Nino menyebabkan tertariknya uap air di wilayah Indonesia menjauh menuju wilayah Pasifik Barat sehingga wilayah Indonesia dilanda kekeringan. Sedangkan pada fase La Nina terjadi peningkatan uap air di wilayah Indonesia. Dampak El Nino dan La Nina yang terasa di Indonesia terjadi pada musim kemarau.

- Fluks panas laten**  
(*Latent heat flux*) : Fluks atau aliran panas dari permukaan bumi ke atmosfer yang berhubungan dengan penguapan atau kondensasi uap air di permukaan; merupakan komponen dari neraca energi permukaan.
- Fluks panas terasa**  
(*Sensible heat flux*) : Aliran panas dari permukaan bumi ke udara yang tidak terkait dengan perubahan fase air, merupakan sebuah komponen dari neraca energi di permukaan.
- Hujan** : Endapan dalam bentuk butir-butir air atau es yang berasal dari awan.
- Iklim** : Keadaan rata-rata cuaca untuk periode yang sangat panjang.
- Indian Ocean Dipole (IOD)** : Sebuah fenomena IOD positif (PIOD) ditandai dengan suhu air lebih dingin dari biasanya yang terjadi di bagian tropis timur Samudera Hindia dan memanasnya suhu air biasa di bagian barat tropis Samudera Hindia dan menunjukkan peran dari IOD saat melemahnya hubungan *ENSO-Monsoon*.
- Inter-Tropical Convergence:** Zona Konvergensi Inter-Tropis adalah sabuk

- Zone (ITCZ)** zonal (barat timur) tekanan rendah khatulistiwa dekat garis khatulistiwa di mana angin pasat timur laut bertemu dengan angin pasat tenggara. Seperti angin berkumpul, udara lembab akan dipaksa mengalir ke atas, sehingga di sebuah sabuk presipitasi lebat (hujan lebat) terjadi. Sabuk ini akan bergerak musiman ke utara dan selatan.
- Madden-Julian Oscillation: (MJO)** Gangguan yang berupa gelombang di atmosfer yang dominan di ekuator, bergerak dari barat ke timur dengan periode 40 – 50 hari.
- Monsun** : Monsun merupakan sirkulasi tahunan yang paling penting di wilayah tropis dan sangat mempengaruhi pola curah hujan yang berkaitan dengan musim hujan dan kemarau.
- Radiasi gelombang panjang: (Longwave radiation)** Radiasi dengan panjang gelombang lebih panjang dari empat mikron.
- Regresi** : Suatu metode analisis statistik yang digunakan untuk melihat pengaruh antara dua atau lebih variabel.
- Suhu permukaan laut (Sea surface temperature)** : Suhu permukaan laut adalah suhu bawah permukaan dari masa air di paras puncak dari laut, diukur oleh kapal-kapal, pelampung dan *buoy Drifters*. Dari kapal, pengukuran sampel air di ember kebanyakan diaktifkan pada tahun 1940 dengan sampel dari air asupan mesin kapal. Satelit pengukuran suhu kulit (lapisan paling atas dari muka laut, sebuah sebagian kecil dari milimeter tebal) di inframerah atau sentimeter atas atau lebih dalam *microwave*

juga digunakan, tetapi harus disesuaikan agar kompatibel dengan suhu masa muka air laut.

**Sensitivitas (*Sensitivity*)** : Sensitivitas adalah derajat dimana suatu sistem dipengaruhi, baik buruk atau menguntungkan, oleh variabilitas iklim atau perubahan. Efeknya mungkin langsung (misalnya, perubahan dalam hasil panen sebagai tanggapan atas berubah dalam jangkauan, rata-rata atau suhu) atau tidak langsung (misalnya, kerusakan yang disebabkan oleh peningkatan frekuensi karena kenaikan permukaan laut pada pesisir banjir).

**Siklon (*Cyclone*)** : Bagian atmosfer yang tekanannya relatif rendah dibandingkan dengan tekanan di sekitarnya pada permukaan yang sama; pada peta sinoptik digambarkan sebagai sistem isobar tertutup pada daerah tekanan rendah.

**Siklon tropis (*Tropical cyclone*)** : Siklon yang sumbernya berada di daerah tropis dengan tekanan permukaan lebih rendah dari 900 milibar dan disertai dengan angin kencang dan hujan, serta kadang-kadang disertai pula dengan badai guntur; pusat siklon tropis biasanya disebut mata badai dengan jari-jari beberapa puluh kilometer; di daerah pusat atau mata badai ini terdapat angin kencang dan keadaan langitnya cerah.

***Thermocline*** : Lapisan gradien suhu maksimum vertikal di laut, terletak di antara permukaan laut dan samudera abyssal. Di daerah subtropis, perairan sumbernya biasanya air permukaan di lintang tinggi yang telah subduksi dan pindah

*equatorward*. Di lintang tinggi, kadang-kadang tidak ada kondisi tersebut, diganti dengan *Halocline*, yang merupakan lapisan gradien salinitas maksimum vertikal.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Wilayah Indonesia mempunyai letak geografis yang sangat strategis. Ditinjau dari posisi geografisnya, Indonesia diapit oleh dua benua luas (Asia dan Australia) dan dua samudera (Pasifik dan Hindia), serta menjadi pusat perpindahan massa air pada berbagai tingkat kedalaman. Perpindahan massa air dapat memengaruhi curah hujan. Hal ini merupakan salah satu faktor yang menyebabkan begitu banyak timbulnya fenomena meteorologi yang mempengaruhi cuaca di Indonesia. Curah hujan di Indonesia umumnya dipengaruhi oleh fenomena sirkulasi atmosfer baik skala global, regional, maupun lokal. Salah satu fenomena global yang memengaruhi cuaca dan iklim Indonesia adalah *Madden Julian Oscillation* (MJO). Menurut Madden & Julian (1971), MJO merupakan model osilasi dominan dari variabilitas di daerah tropik. Osilasi merupakan variasi periodik terhadap waktu dari suatu hasil pengukuran. MJO sangat kuat dampaknya dirasakan di daerah-daerah lintang rendah, dekat garis ekuator, dan terjadi pertama kali di Samudera Hindia dengan pergerakan ke arah timur antara 100° LU dan 100° LS.

Fenomena MJO dominan di kawasan ekuator yang memiliki periode osilasi harian akibat pengaruh dari konveksi awan yang terbentuk di atas Samudera Hindia bagian timur (sebelah barat perairan Indonesia), yang kemudian awan-awan itu bergerak ke arah timur di sepanjang garis ekuator. Fenomena MJO sangat mempengaruhi cuaca dan iklim secara global. Disadari bahwa tidak mudah untuk mendeteksi kapan dan dimana aktivitas MJO dominan terjadi. Oleh karena itu diperlukan teori yang komprehensif untuk menjelaskan fenomena MJO itu sendiri, seperti karakteristik, mekanisme, propagasi, dan struktur vertikal sebelum akhirnya dapat dibuat simulasinya (Maloney & Hartmann, 2000).

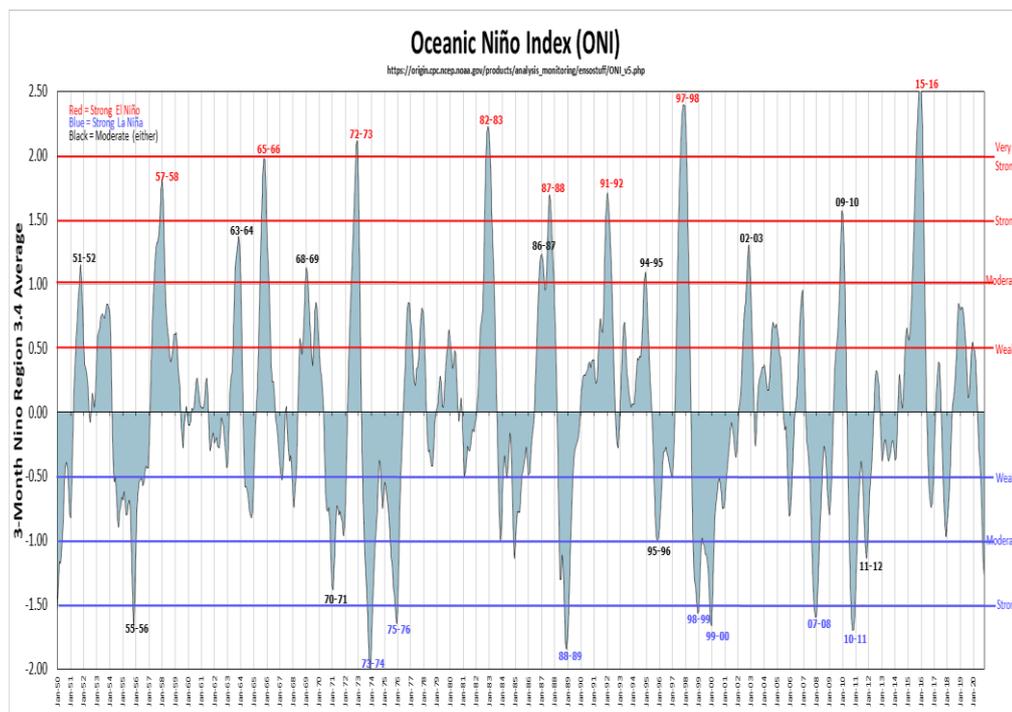
MJO dimanifestasikan dalam skala waktu antara 30-60 hari melalui anomali skala besar pola sirkulasi atmosfer dan konveksi yang kuat dan berpropagasi (penjalaran) dari bagian barat Indonesia (Samudra Hindia) ke arah

timur (Samudra Pasifik) dengan kecepatan rata-rata 5 m/detik. Fenomena MJO dapat menjelaskan variasi iklim di wilayah tropis. Fenomena MJO terkait langsung dengan pembentukan kolam panas di Samudra Hindia bagian timur dan Samudra Pasifik bagian barat sehingga pergerakan MJO ke arah timur bersama angin baratan (*westerly wind*) sepanjang ekuator selalu diikuti dengan konveksi awan kumulus tebal. Awan konvektif ini menyebabkan hujan dengan intensitas tinggi sepanjang penjarannya yang menempuh jarak 100 kilometer dalam sehari di Samudra Hindia dan 500 kilometer per hari ketika berada di wilayah Indonesia (Evana et al., 2008).

*El Nino–Southern Oscillation* adalah variasi angin dan suhu permukaan laut di wilayah tropis belahan timur Samudra Pasifik yang ireguler dan berkala. ENSO berpengaruh terhadap cuaca di sebagian besar wilayah tropis dan subtropis Bumi. Curah hujan merupakan salah satu unsur iklim yang sangat penting, namun keberadaannya secara spasial dan temporal masih sulit diprediksi. Selain sifatnya yang dinamis, proses fisis yang terlibat juga sangat kompleks. Ketidakpastian hujan ini semakin besar ketika terjadi anomali iklim berupa El Nino dan La Nina. Menurut Boer, R, Sutardi dan D. Hilman (2007), berbagai kejadian bencana di Indonesia menunjukkan bahwa sebagian besar bencana terkait dengan fenomena *El Nino Southern Oscillation* (ENSO). ENSO merupakan pola berulang dari variabilitas iklim di bagian timur samudera Pasifik yang ditandai dengan anomali temperatur permukaan laut (penghangatan permukaan laut menggambarkan kejadian El Nino sedangkan pendinginan permukaan laut menggambarkan kejadian La Nina) dan *anomaly Sea level pressure (Southern Oscillation)* (Naylor, dkk, 2001 dalam Asyaktur A,R.2010). Nilai ENSO dapat ditunjukkan dengan *Oceanic Nino Index* (ONI) serta perubahan suhu permukaan laut yang memberikan dampak terhadap intensitas curah hujan. Sehingga kejadian El Nino dan La Nina menyebabkan terjadinya penurunan dan peningkatan curah hujan di Indonesia.

Fenomena super El Nino terjadi pada tahun 2015, menyebabkan beberapa daerah di Indonesia mengalami kekeringan. Menurut Deputi Meteorologi BMKG Yunus Subagyo Swarinoto, hasil monitoring perkembangan El Nino sampai

dengan awal Juni 2015 menunjukkan kondisi El Nino 5 dan perpeluang untuk menguat (Tribunnews, 2017). Sedangkan untuk fenomena super La Nina terjadi pada tahun 2016 yang menyebabkan musim hujan lebih lama daripada musim kemarau. Sehingga menyebabkan bencana banjir di beberapa daerah di Indonesia. Menurut Kepala Pusat Data Informasi dan Humas BNPB, Sutopo Purwo Nugroho, kenaikan curah hujan diperkirakan akan naik 200 persen. Selain Sumatra dan Jawa, daerah Sulawesi bagian timur, Papua bagian tengah dan Kalimantan juga terkena imbas fenomena ini (Wartakota,2017). Indonesia terletak pada belahan bumi dengan iklim Monsoon tropis yang sangat sensitif terhadap anomali iklim ENSO.



Gambar 1.1 Grafik *Oceanic Niño Indeks (ONI)* 1950–2020  
(Sumber : <https://ggweather.com/enso/oni.htm>)

Informasi-informasi di atas menjadi dasar yang melatarbelakangi penelitian ini dengan judul: **“Telaah Hubungan *El Niño–Southern Oscillation (ENSO)* dengan *Madden-Julian Oscillation (MJO)* di Kepulauan Nusantara”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang berkaitan dengan dampak *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO) dengan *Madden-Julian Oscillation* (MJO) di kepulauan Nusantara yang ingin dipecahkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah hubungan antara *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO) dengan *Madden-Julian Oscillation* (MJO) yang ada di Nusantara?
2. Bagaimanakah dampak yang ditimbulkan dari pola kejadian *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO) dengan *Madden-Julian Oscillation* (MJO) terhadap curah hujan yang terjadi di Nusantara ?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian tidak terlalu luas dan masih dalam kategori dapat dilakukan (*manageable*) serta karena keterbatasan-keterbatasan yang ada, maka penelitian ini dibatasi pada beberapa hal seperti berikut:

1. Batasan wilayah tinjauan untuk *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO) dan kejadian *Madden-Julian Oscillation* (MJO) adalah Nusantara dari 94° BT – 141° BT dan 8° LU – 13° LS.
2. Parameter yang ditinjau ialah curah hujan serta indeks Nino 3.4 SST (El Nino dan La-Nina) dan amplitudo MJO di Nusantara.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui hubungan antara *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO) dengan *Madden-Julian Oscillation* (MJO) yang terjadi di Nusantara.
2. Mengetahui dampak yang ditimbulkan dari pola kejadian *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO) dengan *Madden-Julian Oscillation* (MJO) dengan curah hujan yang terjadi di Nusantara.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan bisa diperoleh dari hasil penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan mengenai *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO) dengan *Madden-Julian Oscillation* (MJO) dan pengaruhnya terhadap curah hujan di Nusantara.
2. Dapat membantu pemerintah memecahkan permasalahan yang diakibatkan oleh krisis iklim yang berdampak pada berbagai sektor di Nusantara.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Agar penulisan ini menjadi terarah dan sistematis, pokok-pokok masalah setiap bab diuraikan sebagai berikut:

BAB I	Pendahuluan, membahas latar belakang penulisan, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.
BAB II	Teori Dasar, membahas mengenai penjabaran singkat tentang <i>El Nino-Southern Oscillation</i> (ENSO), parameter suhu permukaan laut (SPL), El-Nino dan La-Nina, <i>Madden-Julian Oscillation</i> (MJO), serta meteorologi dasar mengenai awan dan curah hujan.
BAB III	Metodologi Penelitian, meliputi metode-metode yang akan digunakan dalam penelitian, penjelasan tentang spesifikasi dan analisis data, serta diagram alir penelitian.
BAB IV	Hasil dan Pembahasan, analisa sensitivitas dengan regresi linier sederhana terhadap ENSO dan MJO, hubungan ENSO & MJO terhadap curah hujan serta dampak dari kejadian tersebut.
BAB V	Penutup, meliputi kesimpulan serta saran dari penulis.

## **BAB II**

### **TEORI DASAR**

#### **2.1 Definisi *El-Nino Southern Oscillation* (ENSO)**

*El Nino–Southern Oscillation* (ENSO) adalah gejala penyimpangan (anomali) pada suhu permukaan Samudra Pasifik di pantai Barat Ekuador dan Peru yang lebih tinggi daripada rata-rata normalnya (Trenberth, 1997). Fenomena ini merupakan kombinasi (*coupled*) dua fenomena laut dan atmosfer yaitu *El Nino* dan *Southern Oscillation*. ENSO merupakan salah satu bentuk penyimpangan iklim di Samudera Pasifik yang ditandai dengan kenaikan suhu permukaan laut (SPL) di daerah khatulistiwa bagian Tengah dan Timur. Fenomena tersebut memainkan peranan penting terhadap variasi iklim tahunan. Pengaruh ENSO sangat terasa di beberapa wilayah Indonesia yang ditandai dengan jumlah curah hujan lebih kecil dalam tahun ENSO dibandingkan dengan pra dan pasca ENSO, sehingga dapat menyebabkan musim kemarau lebih panjang. Selain dapat mempengaruhi tingginya curah hujan, kejadian *El-Nino* juga berpengaruh terhadap masuknya musim kemarau. Perubahan iklim akan mengakibatkan perubahan pola iklim tahunan seperti terlambatnya awal musim hujan maupun musim kering. Disamping itu periode musim hujan juga diperkirakan akan lebih pendek.

Variabilitas iklim ENSO terdiri dari tiga fenomena yaitu kejadian normal, *El Nino* dan *La Nina*. Fenomena *El Nino* merupakan peningkatan Suhu Permukaan Laut (SPL) dari suhu normalnya di Pasifik Ekuator Timur. Sedangkan *La Nina* adalah fenomena SPL di wilayah Ekuator Samudera Pasifik mengalami penurunan dari suhu normalnya. Selain fenomena ENSO, fenomena interkasi antara variabilitas iklim global yang lain yakni IOD yang merupakan suatu pola variabilitas di Samudera Hindia (Panjaitan, 2011).

##### **2.1.1 Suhu Permukaan Laut (SPL)**

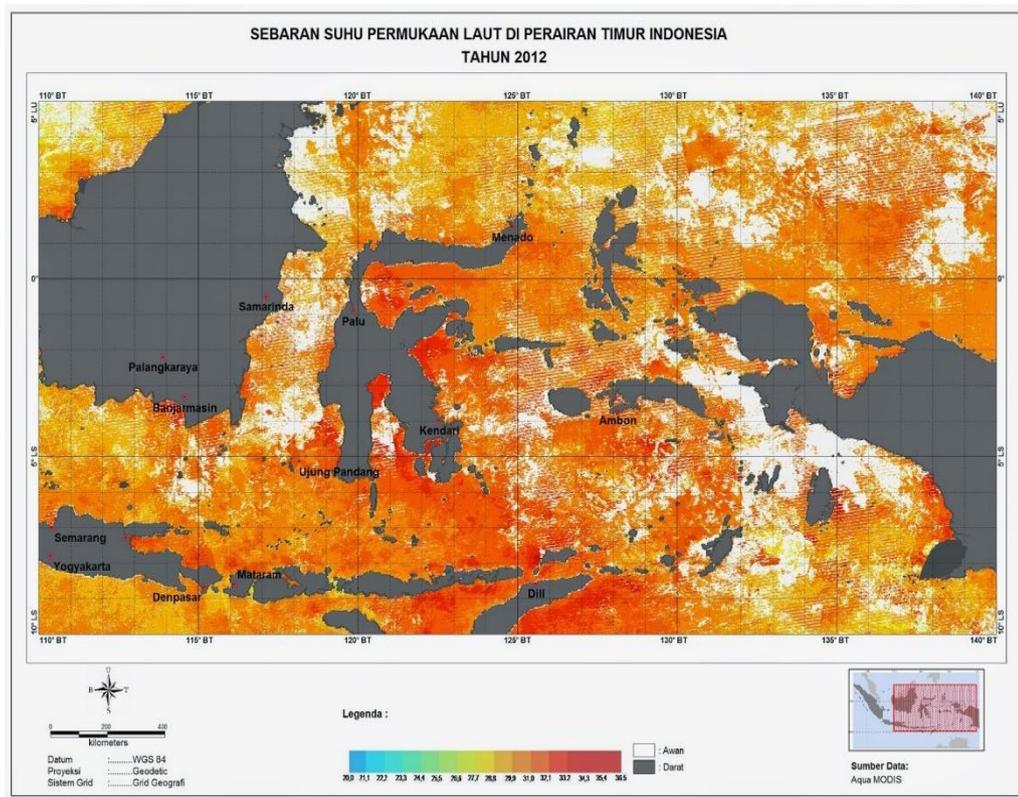
Suhu permukaan laut di daerah tropis sangatlah bervariasi dalam skala ruang dan waktu. Interaksi yang cukup kuat antara atmosfer dan lautan di wilayah Samudera Hindia menghasilkan fenomena *Dipole Mode* yang didefinisikan

sebagai gejala atau tanda-tanda menaiknya SPL yang tidak normal di Samudera Hindia sebelah selatan India yang diiringi dengan menurunnya SPL secara tidak normal di perairan Indonesia, tepatnya di sekitar wilayah Barat Sumatra (Saji, N. H., and T. Yamagata. 2003). Suhu permukaan laut mempunyai peranan penting dalam interaksi antara atmosfer dan laut. Peranan penting ini berkaitan dengan pertukaran energi antara atmosfer dan laut. SPL Indonesia secara umum berkisar antar 26°C - 29°C, karena perairan Indonesia dipengaruhi oleh angin musim, maka sebaran SPL-nya pun mengikuti perubahan musim. Pada musim barat, SPL di Kawasan Barat Indonesia (KBI) pada umumnya relatif lebih rendah dibanding musim timur. SPL di dekat Laut Cina Selatan pada waktu musim barat berkisar antara 26°C - 28°C sedangkan di kawasan timur Indonesia berkisar antara 28°C - 29°C, sebaliknya terjadi pada musim yang lainnya, yaitu SPL di perairan KTI berkisar antara 26°C - 28°C, sedangkan di perairan KBI antara 28°C - 29°C (Ilahude dan Birowo, 1987). Suhu di Laut Jawa hampir sama dengan perairan Indonesia pada umumnya. Pada musim barat SPL di bagian barat Laut Jawa lebih rendah dibanding musim timur, demikian pula dengan bagian timur, SPL pada musim barat relatif lebih tinggi dibanding musim timur. Sehingga, kejadian tersebut sangat berpengaruh pada periode masa tanam di Indonesia.

SPL mempunyai hubungan dengan keadaan lapisan air laut yang terdapat di bawahnya, sehingga data SPL dapat dipergunakan sebagai indikator untuk mendeteksi fenomena yang terjadi di laut seperti front (pertemuan dua massa air), arus, pengangkatan massa air atau *upwelling* dan aktivitas biologis organisme (Robinson, 1985). Suhu air laut dipengaruhi oleh proses-proses yang terjadi di dalam laut itu sendiri seperti proses fisika dan kimia (Johnstone in Indrawati, 2000). Faktor-faktor fisik yang mempengaruhi SPL adalah arus permukaan, keadaan awan, penguapan, gelombang, gerakan konveksi, *upwelling*, divergensi, pembekuan dan pencairan es di daerah kutub (Laevastu dan Hela, 1970).

SPL dapat dideteksi dengan banyak cara, salah satunya ialah dengan alat pengindera suhu yaitu sensor infra merah termal. Lokasi *upwelling* dapat dideteksi oleh alat pengindera suhu karena massa air tersebut mempunyai suhu yang lebih dingin, sehingga suhu permukaan akan menjadi lebih dingin

dibandingkan dengan suhu air di sekitarnya (Sumardjo, 1983). Lapisan air permukaan pada umumnya menyebar hingga kedalaman tertentu sebelum mencapai kedalaman yang lebih dingin di bawahnya. Pada permukaan air terjadi pencampuran massa air yang diakibatkan oleh adanya angin, arus dan pasut sehingga merupakan lapisan homogen (Wyrтки, 1961).



Gambar 2.1 Contoh Sebaran SPL di Perairan Timur Indonesia Tahun 2012 berkisar antara 28,8-33,2 derajat Celcius (Sumber: <http://pusatstudisumberdayapesisirlaut.blogspot.com/>)

Pendeteksian SPL dengan teknik penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengamati pergerakan massa air. Sebagai contoh pergerakan massa air yang dapat dideteksi oleh satelit NOAA yaitu pergerakan massa air hangat *Gulf Stream* di samudera Atlantik bagian barat laut (Thurman, 1988). *Front* ditandai dengan adanya gradien suhu permukaan laut yang tinggi antara kedua sisi front sehingga gejala ini pun dapat dideteksi dengan alat pengindera suhu (Sumardjo, 1983). Pendeteksian SPL juga dapat digunakan untuk mengamati terjadinya

*upwelling* di laut (Hengky, 2002), dengan melihat adanya suhu rendah yang terjadi pada perairan. Data SPL dapat juga digunakan untuk mengetahui lokasi penangkapan ikan oleh para nelayan (Indrawati, 2000). SPL dipengaruhi oleh aktivitas matahari tahunan, tetapi tidak begitu dominan. Faktor dominan yang mempengaruhi SPL adalah fenomena *El Nino* yang meningkatkan suhu muka laut serta *La Nina* yang menurunkan SPL dan suhu daratan yang relatif dekat dengan letak SPL yang ditinjau, diduga berperan pula dalam kenaikan SPL (Sinambela, 1998).

Analisis distribusi SPL dan klorofil yang diperoleh dari satelit penginderaan jauh dapat memberikan indikasi daerah potensial penangkapan ikan. Lokasi-lokasi potensial untuk penangkapan ikan yang dapat diidentifikasi dari pola distribusi SPL adalah *upwelling*, *front* dan *eddie*. Sebaran klorofil menunjukkan tingkat kesuburan perairan yang mengindikasikan daerah potensial perikanan (ISDAL, 2000). Data yang diperoleh dari citra satelit yang diolah untuk mendapatkan nilai SPL dan kandungan klorofil, kemudian dianalisis berdasarkan fenomena dan kenampakan masing-masing parameter yang digabung dengan karakteristik ikan untuk memperoleh informasi tentang daerah potensi penangkapan ikan. Hasil analisa tersebut menjadi informasi dalam bentuk peta zona potensi ikan (ZPI) (PPRUK, 2004).

### **2.1.2 El Nino dan La Nina**

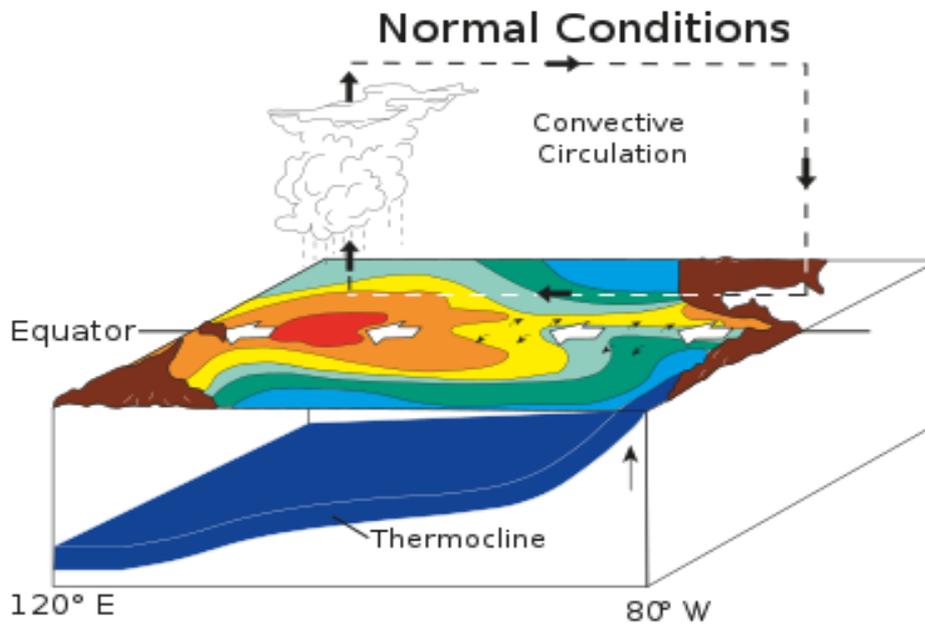
Sebagai negara kepulauan yang terletak di antara samudera Hindia dan Samudera Pasifik, curah hujan di Indonesia sangat dipengaruhi oleh perubahan suhu permukaan laut disekelilingnya. Ketika terjadi peningkatan suhu permukaan laut di bagian Tengah dan Timur Samudera Pasifik sekitar equator yang dikenal dengan El Nino, hal tersebut berhubungan dengan penurunan curah hujan di Indonesia. Begitu juga sebaliknya ketika terjadi penurunan suhu permukaan laut di bagian Tengah dan Timur Samudera Pasifik sekitar equator atau yang lebih dikenal dengan La Nina berhubungan dengan peningkatan curah hujan di Indonesia (Mulyana, 2002). El Nino secara ilmiah diartikan sebagai fenomena global dari sistem interaksi laut dan atmosfer yang ditandai dengan meningkatnya

suhu muka laut atau *Sea Surface Temperature* (SST) di sekitar Pasifik Tengah dan Timur sepanjang equator dari nilai rata-ratanya. Pada tahun - tahun normal, suhu muka laut di sebelah Utara dan Timur Laut Australia bernilai  $\geq 28^{\circ}\text{C}$  sedangkan suhu muka laut di Samudera Pasifik sekitar Amerika Selatan bernilai  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  (Tongkukut, 2011). Dalam kondisi normal tersebut, angin equatorial berhembus ke arah barat membantu proses konveksi di Pasifik Barat dan subsidensi di Pasifik Timur.

El-Nino berasal dari bahasa Spanyol yang berarti “anak lelaki (Yesus), karena munculnya El Nino di sekitar hari natal (Akhir Desember). Kemudian para ahli juga mengemukakan bahwa selain fenomena menghangatnya suhu permukaan laut, terjadi pula fenomena sebaliknya yaitu mendinginnya suhu permukaan laut akibat menguatnya upwelling. Kebalikan dari fenomena ini selanjutnya diberi nama La-Nina (juga Bahasa Spanyol) yang berarti “anak perempuan” (Ahrens, C.Donald, 1982). El Nino adalah fenomena perubahan iklim secara global yang diakibatkan oleh memanasnya suhu permukaan air laut Pasifik bagian timur. El Nino terjadi pada 2-7 tahun dan bertahan hingga 12-15 bulan. Ciri-ciri terjadi El Nino adalah meningkatnya suhu muka laut di kawasan Pasifik secara berkala dan meningkatnya perbedaan tekanan udara antara Darwin dan Tahiti (Taufiq & Marnita, 2011). Pergeseran sirkulasi walker menyebabkan terjadinya udara subsidensi di Indonesia (udara jatuh/turun, padahal seharusnya naik keatas akibat pemanasan di Ekuator). Apabila muson yang terjadi lemah akibat gradien tekanan udara selatan yang sangat kecil, aktivitas awan konveksi di khatulistiwa Indonesia berkurang (rendah) yang menyebabkan terjadinya El-Nino, musim kemarau berkepanjangan di Indonesia (Murtianto, 2012).

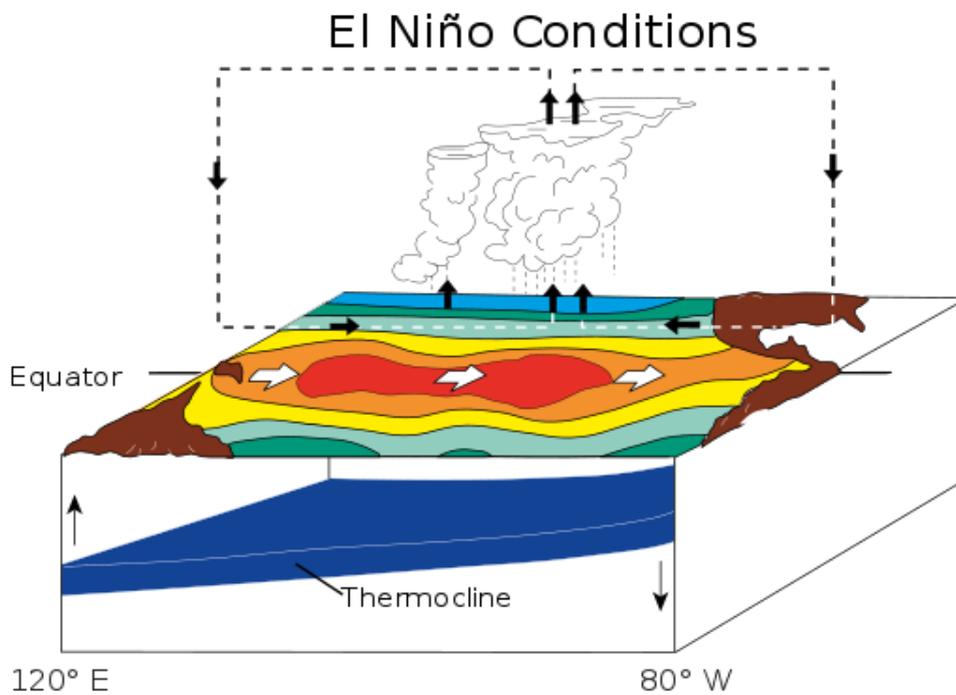
Pola Pasifik normal: air hangat di barat mendorong konveksi atmosfer yang dalam. Angin lokal menyebabkan air dingin yang kaya nutrisi naik di sepanjang pantai Amerika Selatan. Kondisi El Nino: air hangat dan konveksi atmosfer bergerak ke timur. Pada El Niño yang kuat, termoklin yang lebih dalam di lepas pantai Amerika Selatan berarti air yang naik hangat dan miskin nutrisi. Kondisi La Nina: kondisi dimana terjadi penurunan suhu muka laut di kawasan

Timur equator di Lautan Pasifik. La Nina terjadi pada musim dingin di Belahan Bumi Utara Khatulistiwa



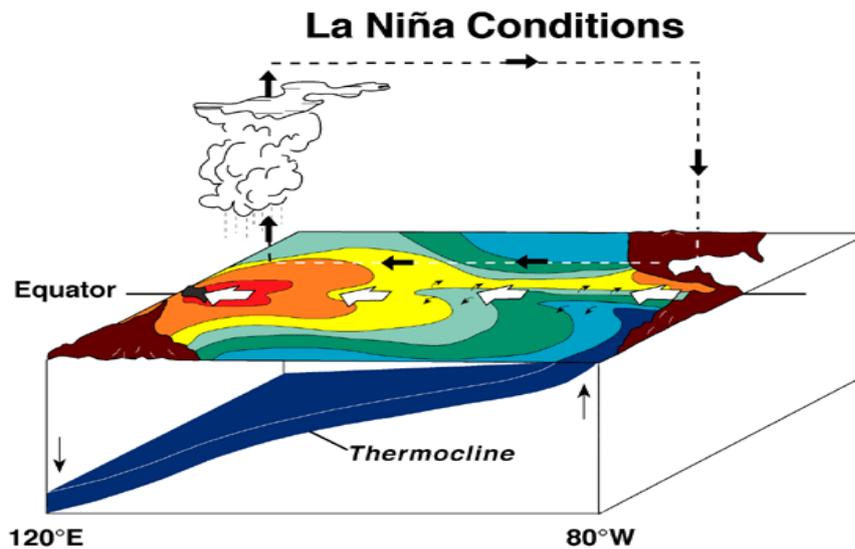
Gambar 2.2 Pola Pasifik Normal

(Sumber : Kantor Proyek NOAA / PMEL / TAO, Dr. Michael J. McPhaden)



Gambar 2.3 Kondisi El Nino

(Sumber : Kantor Proyek NOAA / PMEL / TAO, Dr. Michael J. McPhaden)



Gambar 2.4 Kondisi La Nina  
(Sumber : Kantor Proyek NOAA / PMEL / TAO, Dr. Michael J. McPhaden)

Kejadian El Nino biasanya diikuti dengan penurunan curah hujan dan peningkatan suhu udara, sedangkan kejadian La-Nina merangsang kenaikan curah hujan di atas curah hujan normal. Penentuan kejadian El-Nino dan La-nina, salah satunya dapat dilihat berdasarkan dari data *Southern Oscillation Indeks* (SOI). Nilai SOI ini dapat diperoleh berdasarkan dari nilai tekanan udara di Tahiti dan di Darwin. Indeks SOI ini secara sederhana merupakan perbedaan tekanan udara permukaan di daerah Pasifik Timur yang diukur di Tahiti, dengan tekanan udara permukaan di daerah Pasifik Barat (Indo-Australia) yang diukur di Darwin, Australia (Haryanto, 1998). El Nino dicirikan dengan melemahnya angin pasat dalam skala yang luas dan meningkatnya suhu permukaan air laut di Pasifik tengah dan Timur dekat ekuator. Selama berlangsungnya El-Nino, terjadi hal yang tidak biasa pada tekanan udara permukaan pada samudra Pasifik. Di Pasifik Barat dan Samudra Hindia terbentuk pusat tekanan tinggi, sedangkan pada Pasifik Tengah dan Selatan terbentuk pusat tekanan rendah, sehingga SOI bernilai negatif (Haryanto, 1998).

Pada saat terjadi La Nina angin pasat timur yang bertiup di sepanjang Samudra Pasifik menguat (Sirkulasi Walker bergeser ke arah Barat), sehingga

massa air hangat yang terbawa semakin banyak ke arah Pasifik Barat, akibatnya massa air dingin di Pasifik Timur bergerak ke atas dan menggantikan massa air hangat yang berpindah tersebut, hal ini biasa disebut *upwelling*. Dengan pergantian massa air itulah suhu permukaan laut mengalami penurunan dari nilai normalnya, (Edukasi, 2010). Tekanan udara di kawasan equator Pasifik barat menurun, lebih ke barat dari keadaan normal, menyebabkan pembentukkan awan yang lebih dan hujan lebat di daerah sekitarnya (Haryanto, 1998).

*Indeks Oceanic* adalah indeks yang menunjukkan pembagian daerah dan mengukur nilai SST (*Sea Surface Temperatur*) di daerah-daerah tersebut di laut Pasifik (Hafiz, Y. 2016). ONI adalah indeks baru yang merupakan salah satu indeks El Nino. ONI ini dihitung berdasarkan prinsip perhitungan untuk monitoring, assessment dan prediksi siklus ENSO. ONI ini melihat juga perubahan nilai SST dari rata-rata daerah Nino 3.4. Diambil ratarata pertiga bulan dijalankan dan dilihat nilai perubahan SST sama dengan analisis SST historis (Dahlman, L.2016). Ukuran-ukuran besaran nilai NINO 3.4 SST dapat dijadikan dasar untuk pendugaan kejadian ENSO (El Nino/ La Nina) dapat dilihat pada Tabel 2.1. Dimana El Nino kuat terjadi jika anomali SST  $> 1.5^{\circ}\text{C}$ . La Nina kuat terjadi jika anomali SST  $< -1.5^{\circ}\text{C}$ . Normal jika anomali SST antara  $-0.5^{\circ}\text{C}$  hingga  $0.5^{\circ}\text{C}$ . Kejadian tersebut harus berlangsung selama minimal 3 bulan.

Tabel 2.1 Klasifikasi Fenomena El Nino dan La Nina berdasarkan NINO 3.4 SST Indeks

<b>NINO 3.4 SST Indeks</b>	<b>Fenomena</b>
$> + 1.5^{\circ}\text{C}$	El Nino Kuat
$+1.0^{\circ}\text{C}$ s.d $+1.5^{\circ}\text{C}$	El Nino Sedang
$+0.5^{\circ}\text{C}$ s.d $+1.0^{\circ}\text{C}$	El Nino Lemah
$- 0.5^{\circ}\text{C}$ s.d $+0.5^{\circ}\text{C}$	Netral
$-1.0^{\circ}\text{C}$ s.d $-0.5^{\circ}\text{C}$	La Nina Lemah
$-1.5^{\circ}\text{C}$ s.d $-1.0^{\circ}\text{C}$	La Nina Sedang
$< -1.5^{\circ}\text{C}$	La Nina Kuat

Sumber : BMKG Indonesia

Untuk Indonesia, ketika El Nino berlangsung, musim kemarau menjadi sangat kering serta permulaan musim hujan yang terlambat. Sedangkan ketika La Nina, musim penghujan akan tiba lebih awal dari biasanya. Naiknya tekanan udara di pasifik tengah dan timur saat El Nino, menyebabkan pembentukan awan yang intensif. Hal ini yang menjadikan curah hujan yang tinggi di kawasan pasifik tengah dan timur. Sedangkan sebaliknya, di daerah pasifik barat terjadi kekeringan yang jauh dari normal. Turunnya tekanan udara di pasifik tengah dan timur saat La Nina, menjadi hambatan terbentuknya awan di daerah ini, sehingga mengalami kekeringan. Sedangkan sebaliknya, di daerah pasifik barat curah hujan sangat tinggi. Hal ini menimbulkan banjir yang parah di Indonesia. Meningkatnya suhu permukaan laut yang biasanya dingin di perairan, mengakibatkan perairan yang tadinya subur akan ikan menjadi sebaliknya. Hal ini menyebabkan nelayan kesulitan mendapatkan ikan di perairan.

Selama El Nino dicatat telah terjadi korban meninggal dunia karena sesak nafas akibat kebakaran hutan yang menyebabkan kabut asap berkepanjangan bahkan ancaman kabut asap sampai ke negara tetangga, adanya perjangkitan terbatas penyakit kolera di seluruh wilayah Indonesia akibat pengaruh kekeringan terhadap ketersediaan air bersih. Fenomena El Nino menyebabkan penurunan jumlah curah hujan jauh di bawah normal untuk beberapa daerah di Indonesia. Kondisi sebaliknya terjad musim hujan yang berkepanjangan pada saat fenomena La Nina berlangsung, yang mengakibatkan terjadinya ancaman banjir dan longsor. Cuaca dan iklim muncul setelah berlangsung suatu proses fisik dan dinamis yang kompleks yang terjadi di atmosfer bumi. El Nino menyebabkan hujan Sulit diprediksi Menurut beberapa ahli telah terjadi perubahan iklim yang salah satu indikasinya adalah perubahan pola hujan. Indonesia sebagai rangkaian kepulauan di khatulistiwa yang diapit oleh dua benua dan dua lautan, memiliki cuaca dan iklim yang dapat dikatakan sebagai superposisi dari berbagai macam sirkulasi atmosfer di atasnya yang disebabkan oleh letak geografis tersebut.

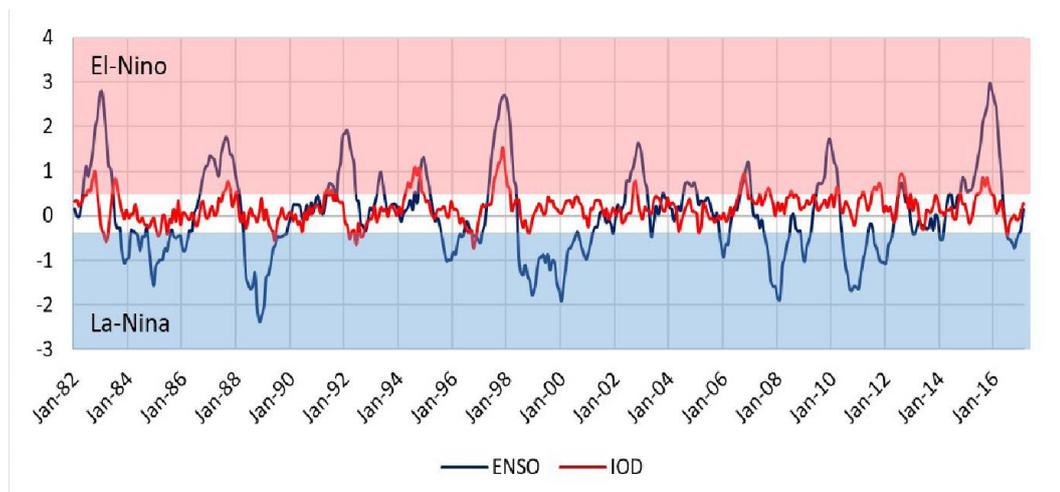
### 2.1.3 Hubungan ENSO dengan Fenomena Lain

*Indian Ocean Dipole* (IOD) diidentifikasi sebagai salah satu mode terkemuka variabilitas di iklim tropis (Behera et al. 2006). Sebuah fenomena IOD positif (PIOD) ditandai dengan suhu air lebih dingin dari biasanya yang terjadi di bagian tropis timur Samudera Hindia dan memanasnya suhu air biasa di bagian barat tropis Samudera Hindia (Saji et al. 1999) dan menunjukkan peran dari IOD saat melemahnya hubungan *ENSO-Monsoon*. *Indian Ocean Dipole* (IOD) baru saja telah dikategorikan sebagai salah satu fenomena hubungan antara laut dan atmosfer di daerah tropis sektor Indo-Pasifik, jadi dapat dieksplorasi kemungkinan pengaruh dari *Indian Ocean Dipole* (IOD) pada *The Indian Summer Monsoon Rainfall* (ISMR) (Hermawan dan Komalaningsih 2010). Menurut pengamatan bahwa ada pengaruh suhu permukaan laut yang luar biasa di *The Equatorial Indian Ocean* dan dengan hipotesis bahwa ada pengaruh suhu permukaan laut yang timbul dari interaksi dinamis antara atmosfer-laut di Samudera Hindia. Dinamika pantai akan berpengaruh terhadap suhu permukaan laut variabilitas pada suatu perairan (Lubis dan Khoirunnisa 2016). Pada kenyataannya, ditunjukkan oleh analisis komposit *boreal* musim panas anomali suhu permukaan laut (SPL) yang diamati selama yang kuat tahun IOD positif dan negatif bahwa ada yang signifikan dari hubungan fase antara SST di Samudera Hindia tropis bagian timur dan barat selama bertahun-tahun (Sahu et al. 2012). Anomali suhu permukaan laut (SPL) selama terjadinya IOD mempunyai keterkaitan dengan anomali angin permukaan yang terjadi di ekuator tengah Samudera Hindia (Saji et al. 1999; Harijono 2010).

Dampak *El Nino* akan dirasakan signifikan jika adanya perbedaan suhu antara suhu di Indonesia dengan suhu di Samudera Pasifik. Sesuai dengan teori hukum fisika dasar, angin akan berhembus dari daerah yang bertekanan udara tinggi ke daerah bertekanan udara rendah. Meskipun monsun terjadi secara periodik, tetapi awal musim hujan dan musim kemarau tidak selalu sama sepanjang tahun. Ini disebabkan musim di Indonesia dipengaruhi oleh fenomena global seperti *El Nino* dan *La Nina*, Osilasi Selatan dan *Dipole Mode Event* (DME) atau *Indian Ocean Dipole* (IOD) (Muhammad et al. 2012).

IOD hanya memiliki kondisi Positif (+) dan Negatif (-) seperti yang tertampil pada Gambar 1. IOD (+) ditandai dengan menghangatnya perairan di Samudera Hindia bagian Barat (Benua Afrika) lebih hangat dibandingkan dengan Samudera Hindia bagian Timur (Indonesia). Sedangkan IOD (-) adalah kebalikan dari IOD (+) yaitu dengan menghangatnya bagian Timur Samudera Hindia dan lebih rendahnya suhu di bagian Barat Samudera Hindia. Fenomena tersebut memainkan peranan penting terhadap cuaca di Indonesia selama satu tahun. Menurut (Endo & Tozuka, 2016) IOD dibagi menjadi IOD canonical yang berkaitan dengan anomali negatif/positif SST di bagian tengah sampai Barat Samudera Hindia tropis dan IOD modoki yang berkaitan dengan anomali negatif di bagian Barat dan Timur serta anomali positif di bagian tengah Samudera Hindia tropis.

**Indeks Osilasi Selatan dan Dipole Samudera Hindia**



Gambar 2.5 Grafik Index Osilasi Selatan dan Dipole Samudera Hindia

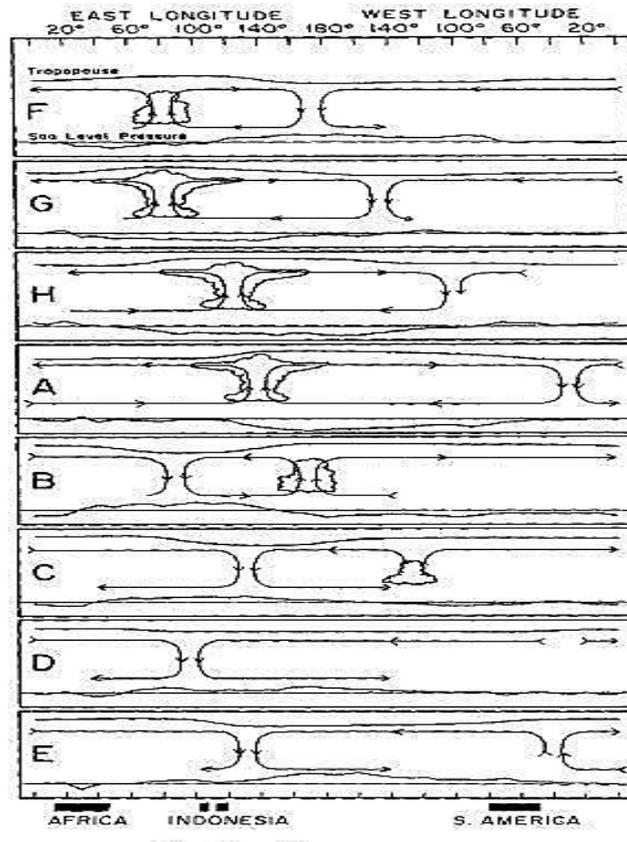
(Sumber : <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id>)

## 2.2 Madden Julian Oscillation (MJO)

### 2.2.1 Definisi, Pola, Karakteristik dan Fase MJO

*Madden-Julian Oscillation* (MJO) merupakan mode osilasi yang dominan di ekuator (Madden & Julian, 1994). Dapat dilihat dari gambar 2.6, osilasi ini dihasilkan dari sirkulasi sel skala besar di ekuatorial yang bergerak ke timur dari

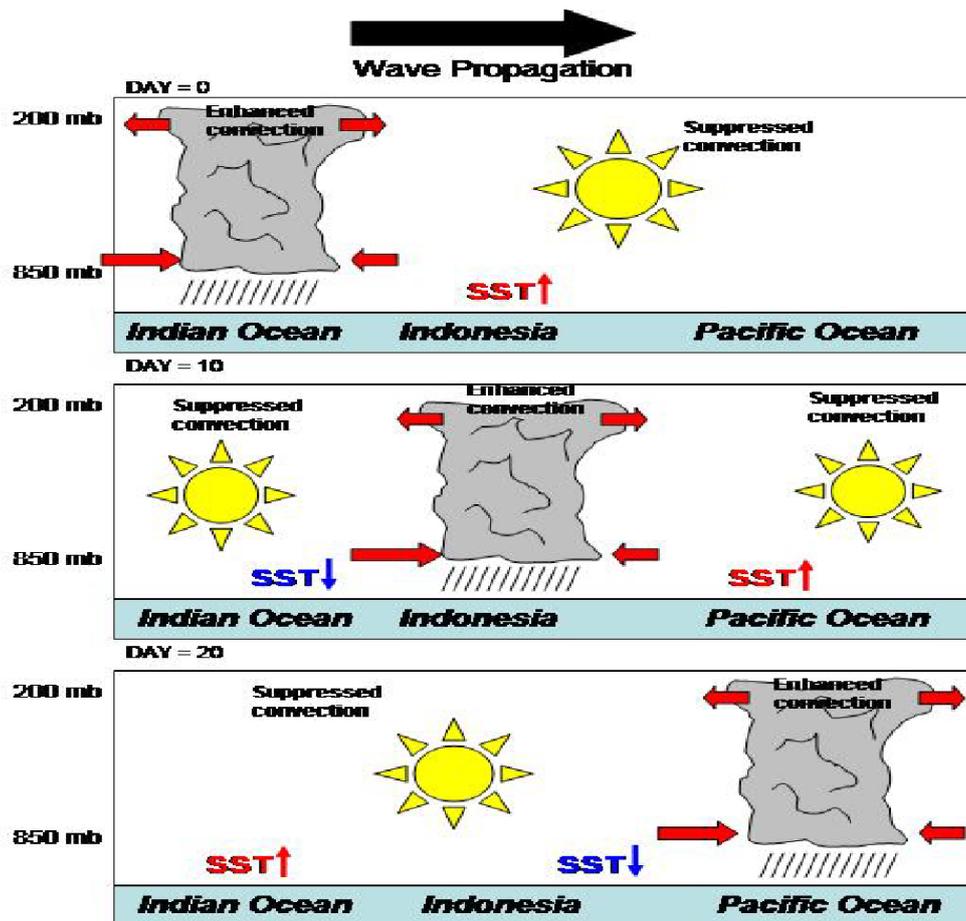
Laut Hindia ke Pasifik Tengah dengan periode 30-60 hari. Pengamatan mengenai MJO dapat melibatkan berbagai variabel meteorologi seperti *Outgoing Longwave Radiation* (OLR), presipitasi, angin zonal pada lapisan atas dan bawah troposfer, tekanan muka laut (*sea level pressure*), konvergensi kelembaban, suhu permukaan laut (SST), dan flux panas laten pada permukaan laut.



Gambar 2.6 Skema Sirkulasi MJO  
(Sumber : Madden & Julian, 1972)

Menurut Madden & Julian (1971), peristiwa MJO ditandai dengan propagasi ke arah timur dari daerah tropis yang mengalami peningkatan tekanan, terutama di Samudra Hindia dan Pasifik. Anomali curah hujan sering terjadi di Samudera Hindia yang kemudian merambat ke arah timur di kawasan perairan tropis hangat, tepatnya di Pasifik barat dan tengah. Saat air laut dingin di kawasan Pasifik Timur, pola curah hujan di Kawasan Pasifik berkurang, tetapi akan sering muncul di sekitar perairan tropis Atlantik dan Afrika. Seiring dengan variasi curah

hujan tropis, terdapat pola yang berbeda dari sirkulasi atmosfer di daerah tropis dan subtropis. Variasi-variasi tersebut hampir terjadi di seluruh dunia dengan intensitas tertinggi di belahan bumi timur. Dengan demikian, peristiwa ini dapat memberikan informasi penting mengenai fase osilasi.



Gambar 2.7 Propagasi MJO (Gottschalck *et al.*, 2005)

Berikut merupakan gambar yang diadaptasi dari Madden & Julian (1971), kemudian disederhanakan oleh Gottschalck *et al.* (2005). Penampang vertikal MJO di kawasan khatulistiwa yang menunjukkan curah hujan, kecepatan dan arah angin, serta Suhu Permukaan Laut (SPL) Ketika MJO bergerak merambat ke arah timur dari Samudera Hindia ke Samudera Pasifik di sekitar kawasan tropis (Gambar 2.7).

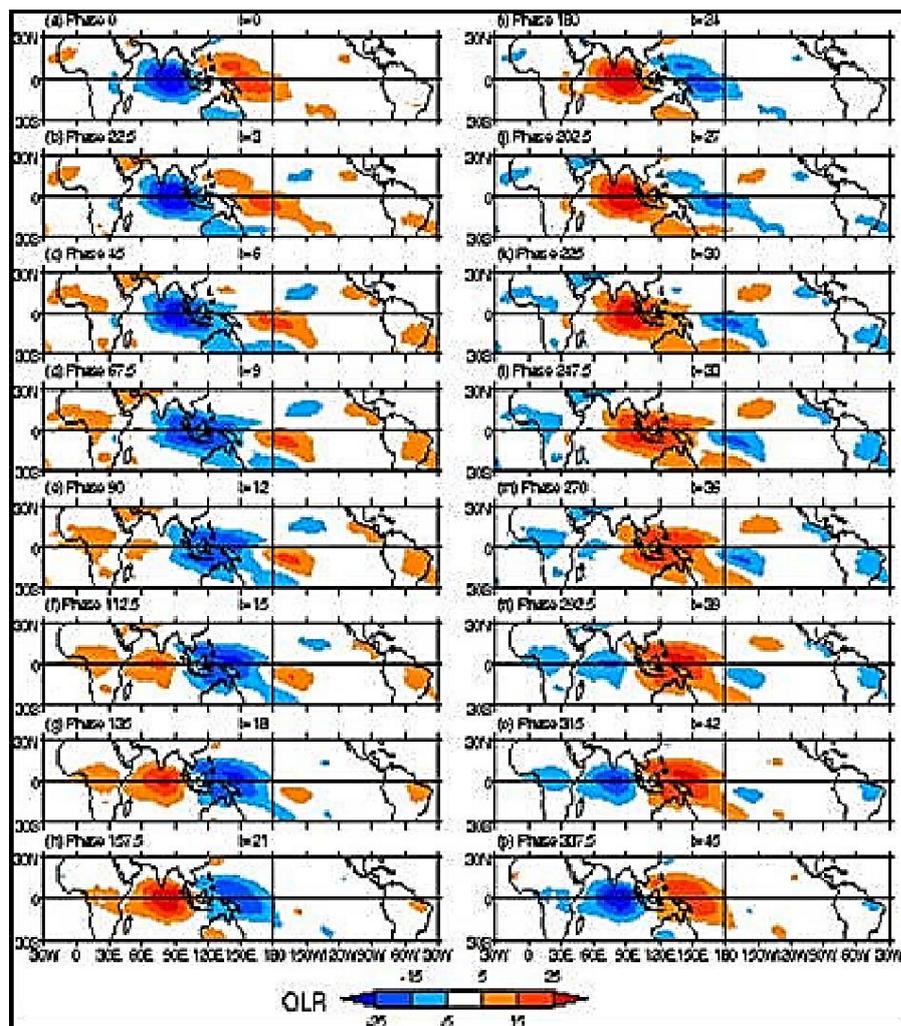
MJO sering diasosiasikan dengan terbentuknya awan-awan *Super Cloud Cluster* (SCC) sehingga dapat dengan mudah diamati dari observasi satelit karena

puncak awan konvektif sangat dingin. Pengukuran varian OLR pada daerah konveksi akan membaca sinyal yang lebih besar dibanding red noise sehingga dapat menunjukkan sinyal MJO (Geerts & Wheeler, 1998). OLR adalah ukuran atau nilai radiasi bumi yang memiliki panjang gelombang panjang yang terdeteksi dari luar angkasa. Deteksi ini biasa dilakukan dengan peralatan satelit. Nilai yang diukur ini menggambarkan seberapa besar perawanan menghambat keluarnya radiasi bumi tersebut. Nilai OLR merupakan nilai negatif yang menunjukkan besarnya hambatan tersebut. Semakin kecil nilai OLR dalam skala negatif menunjukkan semakin besarnya hambatan sehingga dapat divisualisasi sebagai semakin tingginya awan yang menghambat tersebut yang biasanya adalah awan konvektif. Secara umum pola OLR menggambarkan pola daerah-daerah konvektif potensial (Aldrian, 2000).

Fenomena MJO terkait langsung dengan pembentukan kolam panas di Samudra Hindia bagian timur dan Samudra Pasifik bagian barat sehingga pergerakan MJO ke arah timur bersama angin baratan (*westerly wind*) sepanjang ekuator selalu diikuti dengan konveksi awan kumulus tebal. Awan konvektif ini menyebabkan hujan dengan intensitas tinggi sepanjang penjarannya yang menempuh jarak 100 kilometer dalam sehari di Samudra Hindia dan 500 kilometer per hari ketika berada di Indonesia. Pergerakan *Super Cloud Cluster* ini tentu saja berkaitan dengan pergerakan pusat tekanan rendah yang akan diikuti oleh perubahan pola angin (Seto, 2002). Penelitian sebelumnya menggunakan data radar yakni *Equatorial Atmosphere Radar* (EAR) secara vertikal (zonal-vertikal) dapat menunjukkan terjadinya pergerakan angin baratan di lapisan permukaan dan di lapisan atasnya terjadi angin timuran (Nurhayati, 2007). Hal tersebut sesuai dengan teori skema pergerakan MJO di ekuator.

Menurut Higgins & Shi (2001), MJO memiliki delapan fase setiap satu kali periode osilasi. Saat MJO aktif, terjadi kenaikan kecepatan angin secara signifikan pada ketinggian 850 hPa. Kondisi khas untuk delapan tahap yang berbeda dari siklus MJO sebagai osilasi yang merambat dari Samudera Hindia melalui Samudera Pasifik dan ke belahan bumi Barat. Siklus MJO ditunjukkan berupa gugus-gugus awan tumbuh di Samudera Hindia lalu bergerak ke arah

timur dan membentuk suatu siklus dengan rentang 30-60 hari dan dengan cakupan daerah 10N-10S (Matthews, 2000), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 berikut.



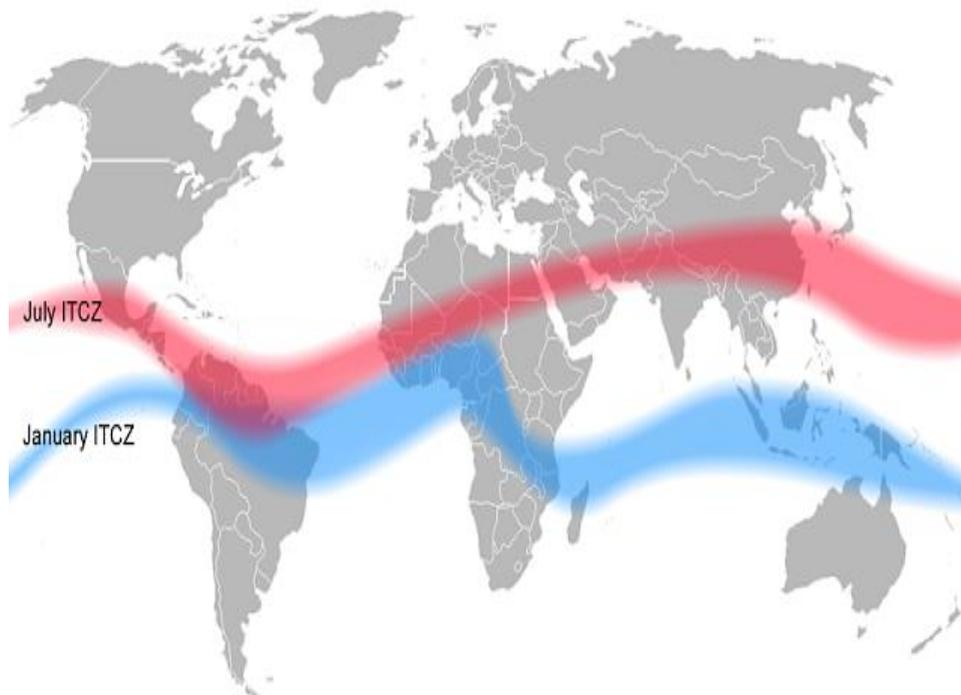
Gambar 2.8 Siklus MJO (Matthews A.J., 2000)

Gambar 2.8 menunjukkan siklus MJO dengan interval selama 3 harian atau  $22.5^\circ$  fase. Gambar tersebut menggunakan OLR sebagai salah satu cara untuk menggambarkan perjalanan siklus MJO. Siklus MJO pada fase 0 atau  $t=0$ , konveksi tumbuh dan berkembang di Samudera Hindia dan terjadi supresi (mengalami kekeringan) di Samudera Pasifik. Kedua peristiwa ini bergerak ke timur sampai fase  $180^\circ$  dengan lokasi yang berkebalikan (konveksi di Samudera Pasifik dan supresi di Samudera Hindia). Kondisi ini terus bergerak ke timur dan

kembali ke fase 0° (konveksi di Samudera Hindia dan supresi di Samudera Pasifik). Penjalaran ini memerlukan waktu 30-60 hari dengan efek basah dan kering pada daerahdaerah yang dilewatinya.

*Real Time Multivariate* MJO seri 1 dan 2 (RMM1 dan RMM2) merupakan suatu indeks musiman untuk memonitor pergerakan MJO. Hal ini didasarkan pada sepasang fungsi ortogonal (EOFs) dari gabungan ratarata angin zonal 850 hPa, 200 hPa dan data observasi satelit *Outgoing Longwave Radiation* (OLR). Proyeksi data dilakukan dengan menghilangkan komponen siklus tahunan dan variabilitas komponen *interannual* (Wheller dan Hendon, 2004). RMM1 dan RMM2 dapat digunakan dalam berbagai kepentingan misalnya untuk menentukan *onset monsun* dan peluang terjadinya curah hujan ekstrim.

*Intertropical Convergence Zone* (ITCZ) memiliki peran penting dalam proses dinamika atmosfer, khususnya bagi wilayah tropis. Wilayah Indonesia juga tidak luput dari faktor penentu dalam skala regional yaitu pergerakan ITCZ (Wirjohamidjojo dan Swarinoto, 2010). Informasi mengenai penjalaran ITCZ diperlukan oleh masing-masing wilayah tropis karena pengaruhnya tidak selalu sama terhadap kondisi dinamis. Kondisi cuaca yang sering dikaitkan dengan ITCZ adalah pertumbuhan awan-awan konvektif, curah hujan tropis dan badai yang memiliki dampak langsung bagi kesehatan dan kesejahteraan manusia di seluruh dunia (Scoot, 2013). Indonesia merupakan daerah yang dilalui oleh garis *Inter Tropical Convergence Zone* (ITCZ). ITCZ ini dikenal sebagai pertanda bahwa pada tempat yang dilaluinya akan mempunyai curah hujan yang tinggi, dengan kata lain ITCZ akan mempengaruhi distribusi curah hujan pada wilayah-wilayah yang dilaluinya. ITCZ berkaitan dengan pergeseran posisi matahari dimana Indonesia yang terletak di ekuator mengalami dua kali pemanasan maksimum, yaitu pada waktu matahari bergerak ke selatan melintasi ekuator dan kembali ke utara melintasi ekuator. Keadaan ini menyebabkan puncak aktivitas konveksi yang menghasilkan hujan terjadi dua kali, yang pada umumnya dapat dilihat pada pola curah hujan bulanan yang memiliki dua puncak (Donald, 2006).



Gambar 2.9 *Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ)*  
 (Sumber : <https://kadarsah.wordpress.com/2007/08/30/itcz/>)

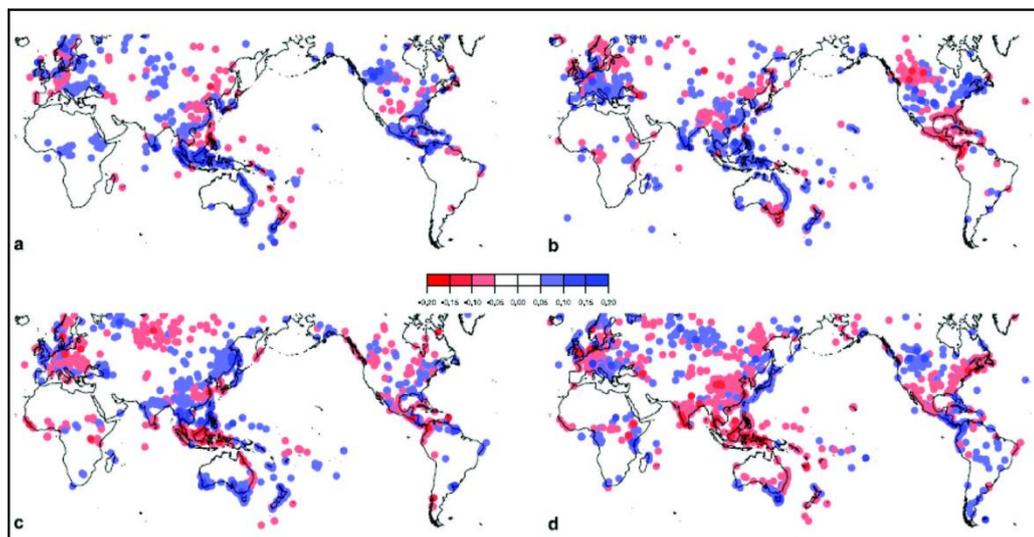
### 2.2.2 Dampak Terjadinya MJO

MJO merupakan fluktuasi atau “gelombang” yang terjadi di daerah tropis. MJO bertanggung jawab untuk sebagian besar variabilitas cuaca di daerah ini dan hasil dalam variasi atmosfer serta parameter kelautan yang mencakup tinggi rendahnya kecepatan dan arah angin, pembentukan awan, hujan (presipitasi), suhu permukaan laut (SPL), dan proses penguapan di laut (evaporasi). MJO merupakan komponen gabungan dari sistem laut dan atmosfer yang memiliki siklus atau gelombang sekitar 30 hingga 60 hari (Madden & Julian, 1971).

Fenomena MJO dominan di kawasan ekuator yang memiliki periode osilasi harian akibat pengaruh dari konveksi awan yang terbentuk di atas Samudera Hindia bagian timur (sebelah barat perairan Indonesia), yang kemudian awan-awan itu bergerak ke arah timur di sepanjang garis ekuator. Fenomena MJO sangat mempengaruhi cuaca dan iklim secara global. Disadari bahwa tidak mudah untuk mendeteksi kapan dan dimana aktivitas MJO dominan terjadi. Oleh karena

itu diperlukan teori yang komprehensif untuk menjelaskan fenomena MJO itu sendiri, seperti karakteristik, mekanisme, propagasi, dan struktur vertikal sebelum akhirnya dapat dibuat simulasinya (Maloney & Hartmann, 2000).

Ada tiga kawasan penting di dunia yang telah ditetapkan oleh *World Meteorological Organization* (WMO) sebagai tempat atau lokasi terjadinya perubahan iklim global. Salah satu diantara lokasi tersebut adalah Indonesia, selain Brasil di kawasan Amerika Selatan dan Congo di benua Afrika. Namun diantara ketiga wilayah tersebut, Indonesia merupakan kawasan yang mendapatkan perhatian terbanyak karena memiliki perairan yang luas, yakni sekitar 70% persen merupakan laut dari keseluruhan luas wilayahnya (Gambar 2.10). Hal ini diduga menyebabkan terjadinya penyimpangan panas terbesar di kawasan Indonesia, baik yang *sensible* maupun *latent* (tersembunyi) sehingga dapat meningkatkan pembentukan awan, seperti awan Cumulonimbus yang dapat menyebabkan hujan (Hermawan, 2002).



Gambar 2.10 Anomali Curah Hujan (Donald et.al., 2006)

MJO secara substansial dapat memodulasi intensitas muson di seluruh dunia. Australia (musim dingin boreal; Oktober-Maret), Asia (boreal musim panas; Juni-September), Amerika Selatan (musim dingin boreal, Oktober-Maret) dan Amerika Utara (boreal musim panas; Mei-Oktober), serta semua musim hujan

bisa dipengaruhi oleh MJO. Fase curah hujan yang disempurnakan MJO dapat memengaruhi waktu muson dan intensitas musim hujan. Selain itu, fase awal dari MJO dapat mengakhiri musim (Maloney & Hartmann, 2000).

MJO diketahui memodulasi aktivitas siklon tropis di Samudera Hindia, Samudera Pasifik, Teluk Meksiko, dan Samudra Atlantik. Sebagai contoh, meskipun siklon tropis terjadi di seluruh belahan bumi utara pada musim hangat (biasanya Mei-November) baik di Pasifik dan cekungan Atlantik, di suatu tahun tertentu akan ada peningkatan tekanan dalam suatu aktivitas musim. MJO memodulasi aktivitas ini (terutama untuk badai terkuat) dengan menyediakan lingkungan skala besar yang menguntungkan maupun tidak menguntungkan untuk pembentukannya. Siklon tropis terkuat cenderung berkembang ketika MJO meningkatkan curah hujan. Karena MJO berlangsung ke arah timur, wilayah aktivitas siklon tropis juga bergeser ke arah timur dari Samudera Hindia ke Samudera Pasifik dan akhirnya ke Samudera Atlantik (Madden & Julian, 1994).

## **2.3 Hujan**

### **2.3.1 Presipitasi (Hujan)**

Hujan adalah salah satu bentuk presipitasi. Presipitasi merupakan pengendapan air dari atmosfer pada permukaan bumi dalam bentuk cair (tetes hujan) dan padat (salju). Di wilayah tropis seperti Indonesia presipitasi lebih didefinisikan sebagai hujan karena sangat jarang terjadi presipitasi dalam bentuk jatuhnya butiran es. Jumlah curah hujan di catat dalam inci atau milimeter (1 inci = 25,4 mm). Jumlah curah hujan 1 mm menunjukkan tinggi air hujan yang menutupi permukaan bumi setebal 1 mm, jika air tersebut tidak meresap ke dalam tanah atau menguap ke atmosfer (Tjasyono, 2008).

Atmosfer bumi mengandung uap air, meskipun jumlah uap air sangat kecil dibanding gas-gas lain di atmosfer, tetapi merupakan sumber air tawar terpenting bagi kehidupan di bumi. Air berada di udara dalam bentuk gas (uap air), zat cair (butir-butir air), dan kristal-kristal es. Kumpulan butir-butir air dan kristal-kristal es tersebut mempunyai ukuran yang sangat halus (diameter 2-40 mikron) membentuk awan yang melayang di udara, awan terbentuk sebagai hasil

pendinginan dari udara basah yang bergerak keatas. Proses pendinginan terjadi karena menurunnya suhu udara secara adiabatik dengan bertambahnya ketinggian. Partikel debu, kristal garam, dan kristal es yang melayang di udara dapat berfungsi sebagai inti kondensasi yang dapat mempercepat proses pendinginan, dengan demikian ada dua syarat penting terjadinya hujan yaitu massa udara harus mengandung cukup uap air dan massa udara harus naik ke atas sedemikian sehingga menjadi dingin (Triatmodjo, 2008).

Curah Hujan mempunyai variabilitas yang besar dalam ruang dan waktu. Dalam skala ruang, variabilitasnya sangat dipengaruhi oleh letak geografis, topografi, arah angin dan letak lintang. Dalam skala waktu keragaman curah hujan dibagi atas tipe harian, bulanan dan tahunan. Variasi curah hujan harian lebih dipengaruhi oleh faktor lokal, variasi bulanan dipengaruhi oleh angin darat dan angin laut, aktivitas konveksi, arah aliran udara di permukaan serta variasi sebaran daratan dan lautan. Sedangkan variasi curah hujan tahunan dipengaruhi oleh perilaku atmosfer global, siklon tropis, dan lain-lain. Secara umum curah hujan di Indonesia didominasi oleh pengaruh beberapa fenomena seperti sistem monsun Asia-Australia, El Nino dan La Nina, Sirkulasi Timur-Barat (*Walker Circulation*), Sirkulasi Utara-Selatan (*Hadley Circulation*), serta beberapa sirkulasi karena faktor lokal (Prasetya, 2011).

### **2.3.2 Tipe Hujan**

Hujan terjadi karena udara basah yang naik ke atmosfer mengalami pendinginan sehingga terjadi proses kondensasi, naiknya udara ke atas dapat terjadi secara siklonik, orografik, dan konvektif. Hujan dapat dibedakan berdasarkan cara naik udara ke atas yaitu (Triatmodjo, 2008):

#### **a. Hujan Konvektif**

Daerah tropis pada musim kemarau udara yang berada di dekat permukaan tanah mengalami pemanasan yang intensif. Pemanasan tersebut menyebabkan rapat massa berkurang, udara basah naik ke atas dan mengalami pendinginan sehingga terjadi kondensasi dan terjadi hujan. Hujan yang terjadi karena proses ini

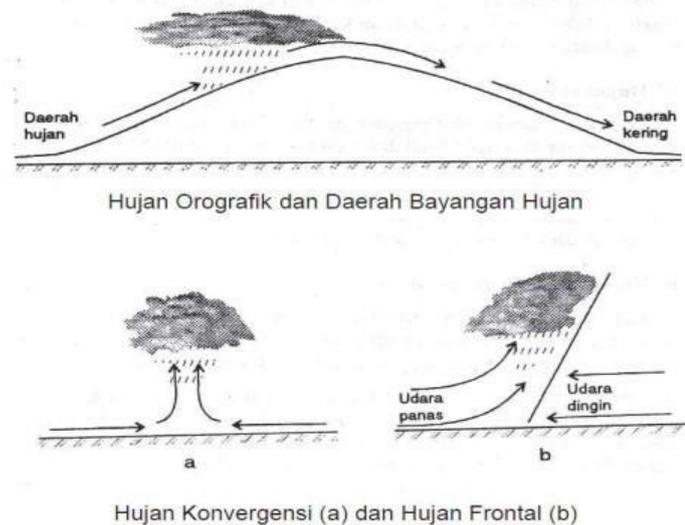
disebut hujan konvektif. Biasanya terjadi setempat, mempunyai intensitas yang tinggi dan durasi singkat.

### b. Hujan Siklonik

Jika massa udara panas yang relatif ringan bertemu dengan massa udara dingin yang relatif berat, maka udara panas akan bergerak di atas udara dingin. Udara yang bergerak ke atas tersebut akan mengalami pendinginan dan kemudian terkondensasi dan terbentuk awan dan hujan. Hujan yang terjadi disebut hujan siklonik, yang mempunyai sifat tidak terlalu lebat dan berlangsung lebih lama.

### c. Hujan Orografis

Udara lembab yang tertiup angin dan melintasi daerah pegunungan akan naik dan mengalami pendinginan sehingga terbentuk awan dan hujan. Sisi gunung yang dilalui awan tersebut banyak mendapatkan hujan, sedang sisi yang lain (sisi yang berlawanan arah) dilalui udara kering. Daerah tersebut tidak tetap tergantung pada musim (arah angin). Hujan ini terjadi di pegunungan dan merupakan pemasok air tanah, danau, bendungan, dan sungai.



Gambar 2.11 Grafis Tipe-Tipe Hujan (Bayong, 2004)

### 2.3.3 Parameter Hujan

Jumlah hujan yang jatuh di permukaan bumi dinyatakan dalam kedalaman air (biasanya mm), yang dianggap terdistribusi secara merata pada seluruh daerah tangkapan air. Intensitas hujan adalah jumlah curah hujan dalam satuan waktu,

yang biasanya dinyatakan dalam mm/jam, mm/hari, mm/bulan dan sebagainya, yang kemudian disebut hujan jamjaman, hujan harian, hujan mingguan, hujan bulanan dan sebagainya (Triatmodjo, 2008).

Menurut Sosrodarsono dalam Triatmodjo (2008) menjelaskan bahwa curah hujan tidak bertambah sebanding dengan waktu. Jika durasi waktu lebih lama penambahan curah hujan lebih kecil dibandingkan dengan penambahan waktu, karena hujan bisa berkurang atau berhenti seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.2

Durasi hujan adalah hujan yang dihitung dari saat mulai hujan sampai hujan berhenti, yang biasanya dinyatakan dalam jam. Intensitas hujan rerata adalah perbandingan antara kedalaman hujan dan durasi hujan.

Tabel 2.2 Keadaan Hujan dan Intensitas Hujan (Triatmodjo, 2008)

Keadaan Hujan	Intensitas Hujan 1 Jam	Intensitas Hujan 24 Jam
Hujan sangat ringan	<1	<5
Hujan ringan	1-5	5-20
Hujan normal	5-10	20-50
Hujan lebat	10-20	50-100
Hujan sangat lebat	>20	>100

Distribusi hujan sebagai fungsi waktu yang menggambarkan variasi kedalaman hujan, dapat dinyatakan dalam bentuk diskret atau kontinyu yang disebut sebagai hidrograf, yaitu histogram kedalaman hujan atau intensitas hujan.

#### 2.4 Angin

Angin ialah gerak udara yang sejajar dengan permukaan bumi. Udara bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Angin diberi nama sesuai dengan arah dari mana angin datang, misalnya angin timur adalah angin yang datang dari arah timur, angin laut adalah angin yang bertiup dari laut ke darat, dan angin lembah adalah angin yang datang dari lembah menaiki pegunungan (Bayong, 1999).

### 2.4.1 Hubungan Tekanan dengan Angin

Angin terjadi disebabkan oleh adanya beda tekanan horizontal. Beda tekanan ini menimbulkan gaya gradien tekanan yang dinyatakan oleh persamaan:

$$F_p = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} \quad (2.2)$$

dengan  $F_p$  adalah gaya gradien tekanan per satuan massa,  $\rho$  adalah massa jenis udara,  $\partial p$  adalah beda tekanan udara,  $\partial n$  adalah jarak antara dua isobar. Tanda negatif menunjukkan gaya gradien tekanan berarah dari tekanan tinggi ke tekanan rendah (Bayong, 1999).

## 2.5 Siklon Tropis di Sekitar Perairan Indonesia

Siklon tropis merupakan fenomena atmosfer yang ditandai munculnya tekanan udara rendah yang memicu terjadinya angin yang kencang akibat proses perpindahan panas dari daerah khatulistiwa menuju garis lintang. Dampak siklon tropis sangat dirasakan oleh daerah pesisir dan daratan baik berupa meningkatnya curah hujan, bencana banjir hingga kerusakan infrastruktur. Dampak yang ditimbulkan masing masing siklon terhadap curah hujan berbeda-beda tergantung karakteristik siklon dan kondisi lingkungannya (Prasetya et al., 2014).

Ketika suhu permukaan laut tinggi, maka terbentuk pusat tekanan rendah yang dapat memicu terjadinya siklon tropis yang dimulai dengan gangguan tropis lalu depresi tropis, badai tropis selanjutnya terjadi siklon tropis (Asrianti et al., 2013). Siklon tropis merupakan badai dengan kekuatan yang besar, dengan rata-rata radius siklon tropis mencapai 150 hingga 200 km. Siklon tropis terbentuk di atas lautan luas yang umumnya mempunyai suhu permukaan air laut hangat, lebih dari 26,5°C. Angin kencang yang berputar di dekat pusatnya mempunyai kecepatan angin lebih dari 63 km/jam. Siklon tropis dianalogikan sebagai mesin carnot. Ukuran dari energi dapat dihitung melalui total entropis per unit masa udara dan energi mekanik dari siklon tersebut. *Siklus Carnot* merupakan proses tertutup. Selama siklus tersebut berlangsung, entropi diperoleh dekat permukaan laut dengan suhu yang hangat, dan entropi dapat hilang di dekat awan bagian atas karena suhu awan semakin dingin (Asrianti et al., 2013).

Siklon tropis dikenal dengan berbagai istilah di muka bumi, yaitu “badai tropis” atau “*typhoon*” atau “topan” jika terbentuk di Samudra Pasifik Barat, “siklon” atau “*cyclone*” jika terbentuk di sekitar India atau Australia, dan “*hurricane*” jika terbentuk di Samudra Atlantik. Badai tropis merupakan kata lain siklon tropis. *Hurricane* merupakan sebutan bagi siklon tropis di Samudra Pasifik Selatan, Samudra Pasifik Timur Laut dan Samudra Atlantik Utara yang mempunyai kecepatan angin maksimum lebih dari 64 knot (119 km/jam). Sedangkan *typhoon* atau topan adalah *hurricane* yang terjadi di Samudra Pasifik Barat Laut (TCWC1 Jakarta, 2009a).

### **2.5.1 Proses Terbentuknya Siklon Tropis**

Siklon tropis terbentuk disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah (BMKG dalam Syaifullah, 2015):

1. Suhu permukaan laut sekurang-kurangnya 26.5oC hingga kedalaman 60 meter.
2. Kondisi atmosfer tidak stabil, memungkinkan terbentuknya awan Cumulonimbus. Tipe awan ini, yang merupakan awan-awan guntur, merupakan indikator konvektif kuat.
3. Atmosfer yang relatif lembab di ketinggian sekitar 5 km ( $\pm 15$  ribu kaki). Ketinggian ini merupakan atmosfer paras menengah, yang apabila dalam keadaan kering tidak dapat mendukung bagi perkembangan aktivitas badai guntur di dalam siklon.
4. Berada pada jarak setidaknya sekitar 500 km dari khatulistiwa. Meskipun memungkinkan, siklon jarang terbentuk di dekat ekuator.
5. Gangguan atmosfer di dekat permukaan bumi berupa angin yang berpusar yang disertai dengan pempunan angin (konvergensi).
6. Perubahan kondisi angin terhadap ketinggian tidak terlalu besar. Perubahan kondisi angin yang besar akan mengacaukan proses perkembangan badai guntur.
7. Aliran keluar (outflow): pada bagian atas siklon tropis, angin bergerak keluar dari pusat badai tropis dengan arah putaran berlawanan dengan

siklon, sedangkan pada bagian bawah angin berputar kuat, melemah seiring dengan pergerakan naik dan akhirnya berbalik arah.

### **2.5.2 Dampak Siklon Tropis**

Siklon tropis menimbulkan dampak yang sangat besar pada tempat-tempat yang dilaluinya, karena ukurannya yang sangat besar serta angin kencang dan gumpalan awan yang dimilikinya. Dampak siklon tropis bisa berupa angin kencang, hujan deras yang terus menerus, bahkan berhari-hari yang dapat mengakibatkan terjadinya banjir, gelombang tinggi, dan gelombang badai (*storm surge*). Dampak siklon tropis di laut akan menimbulkan gelombang tinggi, hujan deras disertai angin kencang, mengganggu pelayaran internasional dan berpotensi untuk menenggelamkan kapal. Siklon tropis bisa memutar air sehingga akan menimbulkan gelombang laut yang sangat tinggi. Dampak siklon tropis di daratan dapat merusak atau menghancurkan kendaraan, bangunan, jembatan benda-benda lain, mengubahnya menjadi puing-puing beterbangan yang mematikan karena angin kencang dan badai yang dihasilkan. Gelombang badai (*storm surge*) atau peningkatan tinggi permukaan laut akibat siklon tropis merupakan dampak yang paling buruk yang dapat mencapai daratan. Gelombang badai (*storm surge*) atau peningkatan tinggi permukaan laut akibat siklon tropis merupakan dampak yang paling buruk yang mencapai daratan (Syaifullah, 2015).

Indonesia bukan merupakan daerah lintasan siklon tropis, namun demikian keberadaan siklon tropis di sekitar Indonesia, terutama yang terbentuk di sekitar Pasifik Barat Laut, Samudra Hindia Tenggara dan sekitar Australia akan mempengaruhi pembentukan pola cuaca di Indonesia. Perubahan pola cuaca oleh adanya siklon tropis inilah yang kemudian menjadikan siklon tropis memberikan dampak tidak langsung terhadap kondisi cuaca di wilayah Indonesia.

Wilayah Indonesia memang bukan merupakan daerah pembentukan badai/siklon tropis tetapi posisi geografisnya berbatasan dengan daerah pembentukan dan lintasan siklon tropis. Badai/siklon tropis tidak hanya berdampak terhadap daerah lintasannya secara langsung, tetapi berpengaruh pula terhadap kondisi cuaca di sekitarnya. Oleh karena itu, siklon tropis berpengaruh terhadap kondisi

cuaca di wilayah Indonesia dan dapat terjadi di luar periode yang semestinya. Jadi meskipun Indonesia bukan negara sebagai lintasan siklon tropis namun ada beberapa siklon tropis yang melintas di Indonesia dan memberikan dampak tidak langsung terhadap kondisi cuaca di wilayah Indonesia. Kejadian siklon tropis NATHAN yang terbentuk di Laut Coral pada 10 Maret 2015 menyebabkan dampak tidak langsung terhadap kondisi cuaca di wilayah Indonesia, yaitu tinggi gelombang laut dengan ketinggian 3 meter di Laut Arafuru (TCWC Jakarta, 2015).



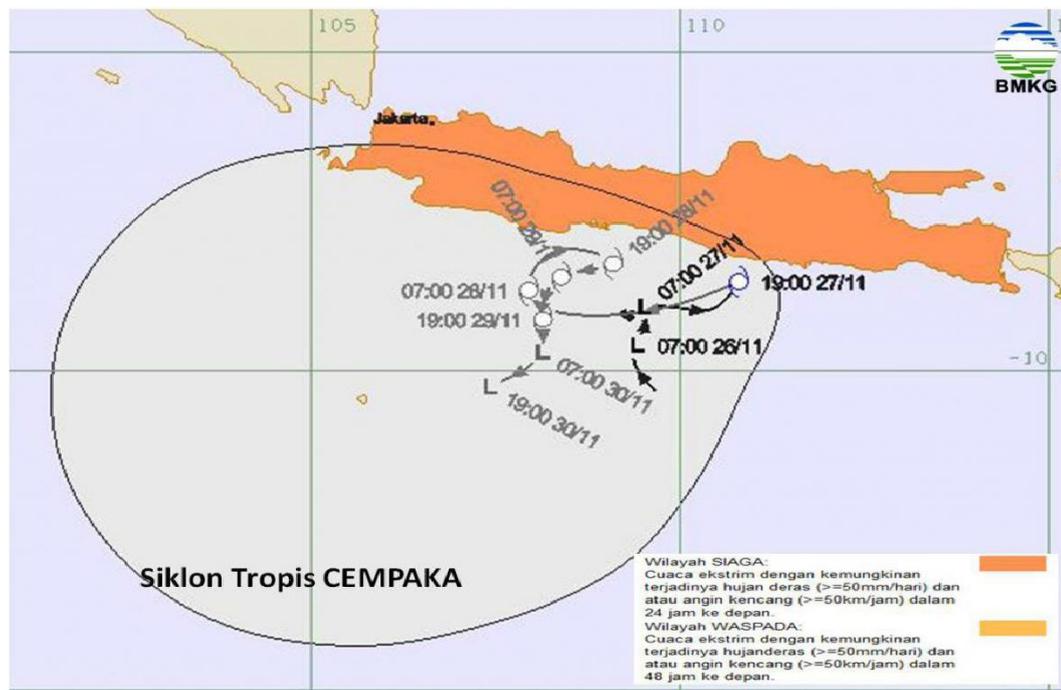
Gambar 2.12 Siklon tropis yang pernah terjadi di Indonesia (Islahuddin, 2017)

Berbeda dari 3 siklon sebelumnya, siklon tropis Cempaka dan Dahlia adalah sebuah anomali. Siklon tropis pada umumnya tidak terbentuk di posisi kurang dari 10o Lintang Utara dan Selatan, atau dalam radius sekitar 1100 km dari garis khatulistiwa. Namun keduanya terjadi di bawah 10° Lintang Utara dan Selatan datang di luar rentang kejadian-kejadian sebelumnya dan dalam waktu berdekatan bahkan pada waktu yang bersamaan dalam hitungan hari. Menurut Profesor Meteorologi dan Klimatologi BPPT, Edvin Aldrian, kemungkinan

penyebab terjadinya kedua siklon ini adalah dampak pemanasan global (Islahuddin, 2017).

Dampak siklon tropis Cempaka lebih terasa karena posisinya yang paling dekat dengan daratan (Gambar 2.13). Perubahan pola cuaca seperti hujan lebat dan angin kencang di sekitar lintasan siklon ini menyebabkan longsor, banjir, pohon dan baliho tumbang, gelombang tinggi, aktivitas penerbangan dan pelayaran terganggu serta membahayakan aktivitas di sekitar pesisir pantai akibat pasang (Arjawanungun, 2017). Gelombang laut di perairan Jawa bagian selatan dan Samudera Hindia mencapai 4-6 meter akibat pengaruh Siklon Cempaka menyebabkan beberapa jadwal pelayaran dibatalkan, selain itu nelayan yang ingin melaut juga tidak berani melaut (Kurniawan, 2017).

#### Lintasan Siklon Tropis CEMPAKA 27 November 2017 pukul 19 WIB



Gambar 2. 13 Lintasan siklon tropis Cempaka 27 November 2017 (Kurniawan 2017).