

SKRIPSI

**TELAAH HUBUNGAN *PACIFIC DECADAL OSCILLATION* (PDO)
DENGAN *MADDEN JULIAN OSCILLATION* (MJO) DI
NUSANTARA**

Disusun dan diajukan oleh:

**NUR RACHMI
D081171015**



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

LEMBAR PENGESAHAN

“TELAAH HUBUNGAN FENOMENA *PACIFIC DECADAL OSCILLATION* (PDO) DENGAN *MADDEN JULIAN OSCILLATION* (MJO) DI NUSANTARA”

Disusun dan diajukan oleh:

NUR RACHMI
D081171015

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi program Sarjana Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 10 November 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

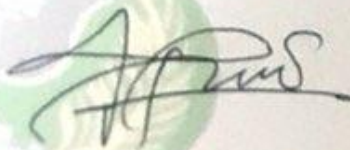
Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping.



Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT.
NIP. 197307092000031001



Sabaruddin Rahman, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197607192001121001

Ketua Departemen Teknik Kelautan,



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

LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI

“TELAAH HUBUNGAN FENOMENA *PACIFIC DECADAL OSCILLATION (PDO)* DENGAN *MADDEN JULIAN OSCILLATION (MJO)* DI NUSANTARA”

Disusun dan diajukan oleh:

**NUR RACHMI
D081171015**

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Tanggal : 10 November 2021
Di : Gowa

Dengan Panel Ujian Skripsi

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

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Kelautan



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

PERNYATAAN KEASLIAN SKripsi

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Rachmi
NIM : D081171015
Program Studi : Teknik Kelautan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi saya berjudul

**“TELAAH HUBUNGAN FENOMENA *PACIFIC DECADAL OSCILLATION*
(PDO) DENGAN *MADDEN JULIAN OSCILLATION* (MJO) DI
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, 10 November 2021

Yang menyatakan,



Nur Rachmi

ABSTRAK

Nur Rachmi “Telaah Hubungan *Pacific Decadal Oscillation* (PDO) dengan *Madden-Julian Oscillation* (MJO) di Nusantara” Dibimbing oleh **Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT.** dan **Sabaruddin Rahman, ST., MT. Ph.D.**

Kawasan tropis seperti Indonesia merupakan kawasan maritim yang memiliki respon aktivitas konvektif yang berpengaruh terhadap keseimbangan iklim global dalam skala ruang maupun waktu. Daerah khatulistiwa, khususnya Indonesia, dipengaruhi oleh berbagai fenomena atmosfer dan oseanografi yang sangat kompleks dimana banyak faktor serta fenomena yang mempengaruhi seperti monsun/*Inter Tropical Convergence Zone* (ITCZ), *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan *Madden-Julian Oscillation* (MJO), *tropical cyclone/extra tropics forcing*, *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) serta *Pacific Decadal Oscillation* (PDO). Skripsi ini lebih fokus membahas kedua fenomena yaitu *Madden-Julian Oscillation* (MJO) dan *Pacific Decadal Oscillation* (PDO) di Nusantara.

Penelitian ini menggunakan metode empiris dengan perhitungan statistik, berdasarkan variabel PDO berupa indeks PDO, 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 40 tahun, dari tahun 1981 sampai 2020. Kedua data tersebut difilter kemudian dianalisis korelasi dengan metode regresi linier sederhana.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa PDO memiliki keterkaitan dengan MJO di Nusantara hal itu terlihat jelas dari hasil korelasi yang dihasilkan kedua fenomena tersebut. Selain itu kedua fenomena tersebut juga dan memiliki efek terhadap peningkatan dan penurunan intensitas curah hujan di Nusantara, meskipun efek yang ditimbulkan berbeda antara bagian timur, tengah serta barat. Efek kedua fenomena pada bagian timur Nusantara relatif lebih kuat dibanding bagian tengah dan semakin melemah pada bagian barat Nusantara. Hal itu diakibatkan oleh sirkulasi air laut dari Samudera Pasifik melalui *Indonesian Throughflow* yang semakin melemah pada bagian barat Nusantara.

Kata Kunci: *Pacific Decadal Oscillation*, *Madden-Julian Oscillation*, curah hujan

ABSTRACT

Nur Rachmi “*A study of relationship Pacific Decadal Oscillation (PDO) with Madden-Julian Oscillation (MJO) in Nusantara Archipelago*” Supervised by **Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT.** and **Sabaruddin Rahman, ST., MT. Ph.D.**

Tropical regions such as Indonesia are maritime areas that have a response influential convective activity to the global climate balance on the scale of space and time. The equatorial region, especially Indonesia, is affected by various atmospheric and oceanographic phenomena very complex where many factors and influencing phenomena such as monsoon/Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ), El Nino Southern Oscillation (ENSO) and Madden-Julian Oscillation (MJO), tropical cyclone/extra tropics forcing, Indian Ocean Dipole Mode (IODM) and the Pacific Decadal Oscillation (PDO). This thesis focuses more on discussing the two phenomena, namely the Madden-Julian Oscillation (MJO) and the Pacific Decadal Oscillation (PDO) in the archipelago.

This study uses an empirical method with statistical calculations, based on the PDO variable in the form of the PDO index, the amplitude variable 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 data period analyzed is 40 years, from 1981 to 2020. The two data are filtered and then analyzed for correlation using a simple linear regression method.

The results of the study show that PDO has a relationship with MJO in the archipelago, it can be seen clearly from the results of the correlation between the two phenomena. In addition, these two phenomena also have an effect on increasing and decreasing rainfall intensity in the archipelago, although the effects are different between the eastern, central and western parts. The effects of these two phenomena in the eastern part of the archipelago are relatively stronger than the central part and are getting weaker in the western part of the archipelago. This is caused by the circulation of seawater from the Pacific Ocean through the Indonesian Troughflow which is getting weaker in the western part of the archipelago.

Keywords: Pacific Decadal Oscillation, Madden-Julian Oscillation, rainfall

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Segala puji bagi Allah SWT, atas limpahan rahmat, hidayah dan nikmat-Nya yakni berupa nikmat kesehatan rohani dan jasmani yang diberikan kepada penulis, sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini sesuai dengan yang diharapkan. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Baginda Rasulullah SAW, sahabat, keluarga, serta orang-orang yang senantiasa istiqomah di jalan-Nya. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam proses penyusunan sampai dengan terselesaikannya skripsi yang berjudul “**Telaah Hubungan Fenomena *Pacific Decadal Oscillation* (PDO) dengan *Madden Julian Oscillation* (MJO) Di Nusantara**” penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu sampai terselesaikannya skripsi ini.

Teristimewa penulis haturkan terima kasih kepada **Bukhari S.Pd., M.Pd.** dan **Hadijah S.Pd** selaku ayah dan ibu penulis yang selama ini memberikan kasih sayang, dukungan dan doa yang tak henti-hentinya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan pendidikan sebagai sarjana.

Dengan rasa terima kasih dan rendah hati penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak **Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT.** dan Bapak **Sabaruddin Rahman, ST., MT., Ph.D.** selaku pembimbing I dan pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya penulisan skripsi ini.
2. Ibu **Dr. Hasdinar Umar, ST., MT.** dan Bapak **Dr. Chairul Paotonan, ST., MT.** selaku dosen penguji yang telah memberikan kritikan serta saran yang membangun demi perbaikan skripsi ini.

3. Bapak **Dr. Chairul Paotonan, ST., MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta jajaran dan staf pengurus Departemen.
4. Bapak **Dr. Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D.** selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama masa perkuliahan di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
5. Segenap **dosen** dan **staf akademik** Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin telah membantu penulis selama menjalani perkuliahan.
6. Saudara penulis **Sulthan Muhammad Shaleh** yang senantiasa memberikan semangat dan motivasi serta bantuan moril maupun materil.
7. Sahabat-sahabat penulis **Rizkiana Husnia, S.Ked; Arinil Haq Ramadhani, S.Km; Ifa Nabila Akhmad, A.Md.Keb, Lisa Monika, S.Ak; Mutia Ulfah, A.Md.Kes; Dian Sepriliana; Anindita Mujahidah; Marisyah Dwi Astuti; serta Julia Amanah** yang selalu hadir dan menemani dikala susah dan senang.
8. Saudara tak sedarah penulis **Adriani Phady, ST., Fanny Diets, ST., Windi Widianingrum, ST., Irfaniyanti ST., Ariska, Mu'Minatung Nisa, ST., Aulia Citra ST., Fitri Ramadani, Nabila Ainun, Tri Utari, Citra Ayu Nisa, Geby Pata'dungan, Astika Rajmi, Nurjurana Jusman, dan Jumaini** yang telah memberikan kebahagiaan, dukungan, dan mengajarkan arti kebersamaan selama ini.
9. Teman-teman **Teknik Kelautan angkatan 2017** yang telah bersama-sama berjuang selama perkuliahan.
10. Saudara/I ku **PERIZCOPE CREW** serta teman-teman **Ocean Technology Laboratory (OTLAB)**, memori tentang kalian takkan penulis lupakan.
11. 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.

12. 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.
13. Serta seluruh saudara, rekan, sahabat, dan pihak yang namanya tak bisa penulis sebutkan satu-persatu, terima kasih.
14. Diri saya sendiri yang mau dan mampu bertahan, berjuang, berusaha sekuat yang saya bisa, tidak menyerah meskipun banyak mengeluh, terima kasih karena sudah mau untuk tetap kuat hingga saat ini.

Penulis menyadari keterbatasannya sehingga mungkin dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat beberapa kekurangan dan kesalahan yang perlu diberi saran dan kritik yang membangun dari semua pihak.

Akhir kata penulis berharap apa yang telah dipaparkan dalam tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca, khususnya bagi mahasiswa/i yang akan melakukan penelitian dalam bidang yang serupa. Aamiin.

Gowa, 27 September 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR ISTILAH	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Fenomena Yang Berpengaruh Di Indonesia	5
2.2 Pacific Decadal Oscillation	7
2.2.1 Karakteristik PDO	7
2.2.2 Dampak terjadinya PDO	10
2.3 Madden Julian Oscillation.....	10
2.3.1 Karakteristik MJO.....	11
2.3.2 Dampak terjadinya MJO	13
2.4 Hujan	15
2.4.1 Tipe Hujan.....	16
2.4.2 Parameter Hujan	18
2.5 Angin.....	18
2.5.1 Siklon Tropis di Sekitar Perairan Indonesia.....	19
2.5.2 Proses Terbentuknya Siklon Tropis	20

2.5.3	Dampak Siklon Tropis	21
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1	Data	23
3.2	Metode Pengolahan data	23
3.2.1	Penapisan Data (Filtering).....	23
3.2.2	Proyeksi Data Menggunakan Metode Eksterpolasi	24
3.2.3	Analisis Sensitifitas Dengan Regresi Linear Sederhana	24
3.3	Tahapan Penelitian	26
3.3.1	Pengumpulan Data	26
3.3.2	<i>Filtering</i>	27
3.3.3	Proyeksi Data Menggunakan Metode Ekstrapolasi	27
3.3.4	Regresi Linear Sederhana	27
3.4	Diagram Alir Penelitian	28
BAB IV	PEMBAHASAN	29
4.1	Hubungan Antara <i>Pacific Decadal Oscillation</i> (PDO) dengan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) di Nusantara	29
4.1.1	Analisis Sensitifitas dengan Regresi Linear Sederhana.....	29
4.1.2	Visualisasi hubungan <i>Pacific Decadal Oscillation</i> (PDO) dengan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO).....	34
4.2	Pengaruh <i>Pacific Decadal Oscillation</i> (PDO), <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) Terhadap Curah Hujan di Nusantara	47
4.1.1	Provinsi Papua.....	48
4.1.2	Provinsi Sulawesi Selatan	66
4.1.3	Provinsi Aceh.....	83
4.2	Perbandingan Data Curah Hujan NASA (<i>National Aeronautics Space Administration</i>) dengan Curah Hujan ECMWF (<i>European Center for Medium-Range Weather Forecast</i>)	100
BAB V	PENUTUP.....	103
5.1	Kesimpulan.....	103
5.2	Saran.....	104
DAFTAR PUSTAKA	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proyeksi perubahan curah hujan tahunan rata-rata di Indonesia.....	5
Gambar 2.2	Anomali iklim permukaan ketika terjadi fenomena PDO fase panas panas	8
Gambar 2.3	Indeks PDO rata-rata pada bulan oktober–maret berdasarkan proyeksi dari SST, dan SLP Pasifik Utara.....	9
Gambar 2.4	Propagasi MJO	12
Gambar 2.5	Fase MJO.....	13
Gambar 2.6	Anomali Curah Hujan	14
Gambar 2.7	Grafis Tipe-Tipe Hujan	17
Gambar 3.1	Garis regresi Y karena pengaruh X, persamaan regresinya $Y = 2.0 + 0.5 X$	25
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 4.1	grafik hubungan fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 1981-1985	34
Gambar 4.2	grafik hubungan fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 1986-1990	35
Gambar 4.3	grafik hubungan fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 1991-1995	36
Gambar 4.4	grafik hubungan fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 1996-2000	37
Gambar 4.5	grafik hubungan fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 2001-2005	38
Gambar 4.6	grafik hubungan fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 2006-2010	38

Gambar 4.7	grafik Hubungan fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 2011-2015	39
Gambar 4.8	grafik Hubungan fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 2016-2020	40
Gambar 4.9	grafik hubungan fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 1981-1985	41
Gambar 4.10	grafik hubungan fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 1986-1990	42
Gambar 4.11	grafik hubungan fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 1991-1995	42
Gambar 4.12	grafik hubungan fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 1996-2000	43
Gambar 4.13	grafik hubungan fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 2001-2005.....	44
Gambar 4.14	grafik hubungan fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 2006-2010	45
Gambar 4.15	grafik hubungan fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 2011-2015	45
Gambar 4.16	grafik hubungan fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 2016-2020	46
Gambar 4. 17	Peta Indonesia	48

Gambar 4.18	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Papua tahun 1981-1985.....	49
Gambar 4.19	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Papua tahun 1986-1990.....	50
Gambar 4.20	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Papua tahun 1991-1995.....	51
Gambar 4.21	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Papua tahun 1996-2000.....	52
Gambar 4.22	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Papua tahun 2001-2005.....	53
Gambar 4.23	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Papua tahun 2006-2010.....	54
Gambar 4.24	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Papua tahun 2011-2015.....	56
Gambar 4.25	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Papua tahun 2016-2020.....	57
Gambar 4.26	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Papua tahun 1981-1985.....	58
Gambar 4.27	grafik Pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Papua tahun 1986-1990.....	59

Gambar 4.28	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Papua tahun 1991-1995.....	60
Gambar 4.29	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Papua tahun 1996-2000.....	61
Gambar 4.30	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Papua tahun 2001-2005.....	62
Gambar 4.31	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Papua tahun 2006-2010.....	63
Gambar 4.32	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Papua tahun 2011-2015.....	64
Gambar 4.33	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Papua tahun 2016-2020.....	65
Gambar 4.34	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 1981-1985	67
Gambar 4.35	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 1986-1990	68
Gambar 4.36	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 1991-1995	69
Gambar 4.37	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 1996-2000	70

Gambar 4.38	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 2001-2005	71
Gambar 4.39	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 2006-2010	72
Gambar 4.40	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 2011-2015	73
Gambar 4.41	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 2016-2020	74
Gambar 4. 42	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 1981-1985	75
Gambar 4.43	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 1986-1990	76
Gambar 4.44	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 1991-1995	77
Gambar 4.45	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 1996-2000	78
Gambar 4.46	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 2001-2005	79
Gambar 4.47	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 2016-2020	80

Gambar 4.48	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 2011-2015	81
Gambar 4.49	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 2016-2020	82
Gambar 4.50	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Aceh tahun 1981-1985	84
Gambar 4.51	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Aceh tahun 1986-1990	85
Gambar 4.52	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Aceh tahun 1991-1995	86
Gambar 4.53	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Aceh tahun 1996-2000	87
Gambar 4.54	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Aceh tahun 2001-2005	88
Gambar 4.55	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Aceh tahun 2006-2010	89
Gambar 4.56	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Aceh tahun 2011-2015	90
Gambar 4.57	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase panas, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Aceh tahun 2016-2020	91

Gambar 4.58	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Aceh tahun 1981-1985	92
Gambar 4.59	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Aceh tahun 1986-1990	93
Gambar 4.60	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Aceh tahun 1991-1995	94
Gambar 4.61	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Aceh tahun 1996-2000	95
Gambar 4.62	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Aceh tahun 2001-2005	96
Gambar 4.63	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Aceh tahun 2006-2010	97
Gambar 4.64	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan pada tahun 2011-2015	98
Gambar 4.65	grafik pengaruh fenomena <i>Pacific decadal Oscillaton</i> (PDO) fase dingin, <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) terhadap curah hujan Provinsi Aceh tahun 2016-2020	99
Gambar 4.66	grafik perbandingan data curah hujan NASA dengan curah hujan ECMWF	101

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan antara PDO fase panas dan PDO fase dingin	9
Tabel 2.2 Keadaan Hujan dan Intensitas Hujan	18
Tabel 3.1 Spesifikasi Data yang Digunakan	23
Tabel 3.2 Interpretasi Koefisien Korelasi Menurut Sugiyono (2008).....	26
Tabel 4.1 Koefisien Korelasi Fenomena <i>Pacific Decadal Oscillation</i> (PDO) dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 1981-1985	30
Tabel 4.2 Koefisien Korelasi Fenomena <i>Pacific Decadal Oscillation</i> (PDO) dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 1985-1990.....	30
Tabel 4.3 Koefisien Korelasi Fenomena <i>Pacific Decadal Oscillation</i> (PDO) dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 1991-1995	31
Tabel 4.4 Koefisien Korelasi Fenomena <i>Pacific Decadal Oscillation</i> (PDO) dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 1996-2000.....	31
Tabel 4.5 Koefisien Korelasi Fenomena <i>Pacific Decadal Oscillation</i> (PDO) dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 2001-2005	32
Tabel 4.6 Koefisien Korelasi Fenomena <i>Pacific Decadal Oscillation</i> (PDO) dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 2006-2010.....	32
Tabel 4.7 Koefisien Korelasi Fenomena <i>Pacific Decadal Oscillation</i> (PDO) dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 2011-2015	33
Tabel 4.8 Koefisien Korelasi Fenomena <i>Pacific Decadal Oscillation</i> (PDO) dan <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) pada tahun 2016-2020	33

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 Niño 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.

- Ekstrapolasi** : Proses memperkirakan nilai suatu variabel melampaui interval pengamatan aslinya berdasarkan hubungannya dengan variabel lainnya. Ekstrapolasi dapat juga berarti memperluas metode, yaitu dengan mengasumsikan metode yang mirip dapat diaplikasikan.
- 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 Zone (ITCZ)** : Zona Konvergensi Inter-Tropis adalah sabuk 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.
- Monsoon** : Monsun merupakan sirkulasi tahunan yang paling penting di wilayah tropis dan sangat mempengaruhi pola curah hujan yang berkaitan dengan musim hujan dan kemarau.
- Pacific Decadal Oscillation (PDO)** : *Pacific Decadal Oscillation* (PDO) merupakan variabilitas iklim yang berpola seperti El Nino yang berpusat di Samudera Pasifik, dan Amerika Utara. Di wilayah Amerika Utara, intensitas fenomena PDO jauh lebih aktif pada musim dingin, dan musim semi. PDO merupakan salah satu variabilitas iklim natural yang sangat berpengaruh terhadap iklim di

Pasifik, dan Amerika Utara. Pengaruhnya antara lain terhadap ketersediaan air, dan tutupan salju di beberapa tempat di Amerika Utara; dan pada ekosistem laut dari Pantai Kalifornia, terus ke utara hingga Teluk Alaska, dan Selat Bering. Istilah PDO diajukan oleh Steven Hare, seorang ilmuwan kelautan pada tahun 1996, ketika meneliti hubungan antara siklus produktifitas salmon di Alaska dengan kondisi iklim Pasifik (Hare, 1996).

Radiasi gelombang panjang: Radiasi dengan panjang gelombang lebih panjang dari empat mikron.
(*Longwave radiation*)

Regresi : Suatu metode analisis statistik yang digunakan untuk melihat pengaruh antara dua atau lebih variabel.

Suhu permukaan laut : 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.
(*Sea surface temperature*)

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 jarijari 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 merupakan kawasan maritim yang memiliki respon aktivitas konvektif yang berpengaruh terhadap keseimbangan iklim global dalam skala ruang maupun waktu. Daerah khatulistiwa, khususnya Indonesia, dipengaruhi oleh berbagai fenomena atmosfer dan oseanografi yang sangat kompleks. Fenomena ini memiliki variasi ruang dan waktu beragam, salah satunya adalah siklus intra-musiman (*intraseasonal*).

Oleh karena Indonesia diapit oleh dua benua luas yaitu Asia dan Australia serta dua samudera yaitu Pasifik dan Hindia, serta menjadi pusat perpindahan massa air pada berbagai tingkat kedalaman, maka 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).

Madden-Julian Oscillation (MJO) (Madden & Julian, 1994), atau disebut juga osilasi intraseasonal MJO, adalah elemen terbesar dari variabilitas *intraseasonal* dengan periode 30-90 hari di atmosfer wilayah tropis, dengan karakteristik utama yakni adanya wilayah peningkatan dan penurunan curah hujan yang bergerak berpasangan mengelilingi bumi dari barat ke timur, dan umumnya terjadi di sepanjang Samudera Hindia hingga Samudera Pasifik. MJO mempengaruhi cuaca tropis secara signifikan, khususnya di Samudera Hindia, Benua Maritim Indonesia (BMI) dan Samudera Pasifik bagian barat.

Pacific Decadal Oscillation (PDO) adalah pola variabilitas iklim Pasifik yang mirip dengan karakter ENSO, tetapi bervariasi dalam skala waktu yang jauh lebih lama. PDO dapat tetap dalam fase yang sama selama 20 hingga 30 tahun, sementara siklus ENSO biasanya hanya bertahan 6 hingga 18 bulan. PDO, seperti halnya ENSO, terdiri dari fase hangat dan dingin yang mengubah angin atmosfer tingkat atas. Pergeseran dalam fase PDO dapat memiliki implikasi signifikan bagi iklim global, mempengaruhi aktivitas badai Pasifik dan Atlantik, kekeringan dan

banjir di sekitar cekungan Pasifik, produktivitas ekosistem laut, dan pola suhu lahan global.

Madden-Julian Oscillation (MJO) telah berdampak pada pola curah hujan tropis dan *extratropical*, sirkulasi atmosfer, dan suhu permukaan laut disekitar kawasan tropis dan subtropis. MJO dapat mempengaruhi siklus ENSO walaupun tidak dalam konteks penyebab pembentukan *El Niño* atau *La Niña*, namun dapat memberikan kontribusi pada kecepatan pengembangan dan intensitas *El Niño* dan *La Niña* (Gottschalck & Higgins, 2008).

Informasi-informasi di atas menjadi dasar yang melatarbelakangi penelitian ini dengan judul: “**Telaah Hubungan *pacific decadal Oscillation* (PDO) dengan *Madden-Julian Oscillation* (MJO) di Nusantara**”.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang ingin dipecahkan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah hubungan antara fenomena PDO dengan MJO yang terjadi di Nusantara ?
2. Bagaimanakah efek yang ditimbulkan dari pola kejadian PDO dengan 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 berikut:

1. Batasan wilayah tinjauan untuk PDO dan kejadian MJO adalah dari 94°BT – 141°BT dan 8°LU – 13°LS.
2. Nusantara akan diejawantahkan pada 3 provinsi yaitu Provinsi Papua yang mewakili bagian barat, Provinsi Sulawesi Selatan yang mewakili bagian tengah serta Provinsi Aceh yang mewakili bagian timur.
3. Parameter yang ditinjau ialah curah hujan.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan:

- 1 Mengetahui hubungan antara PDO dengan MJO yang terjadi di Nusantara.
- 2 Mengetahui Efek yang ditimbulkan dari pola kejadian PDO dengan MJO terhadap curah hujan yang terjadi di Nusantara.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan bisa diperoleh dari hasil penelitian ini ialah:

- 1 Bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan mengenai PDO, 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 menjadi:

- | | |
|---------|---|
| BAB I | Pendahuluan, membahas latar belakang penulisan, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan. |
| BAB II | Teori Dasar, Berisikan teori-teori yang mendukung dan relevan dengan penelitian. Teori tersebut dapat berupa penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya seperti Jurnal, Tugas Akhir, Tesis, dan Literatur lain yang relevan dengan topik penelitian. |
| BAB III | Metodologi Penelitian, Berisikan langkah-langkah atau kegiatan dalam pelaksanaan penelitian yang mencerminkan alur berpikir dari awal pembuatan penelitian sampai selesai dan pengumpulan data-data yang menunjang pengerjaannya. |

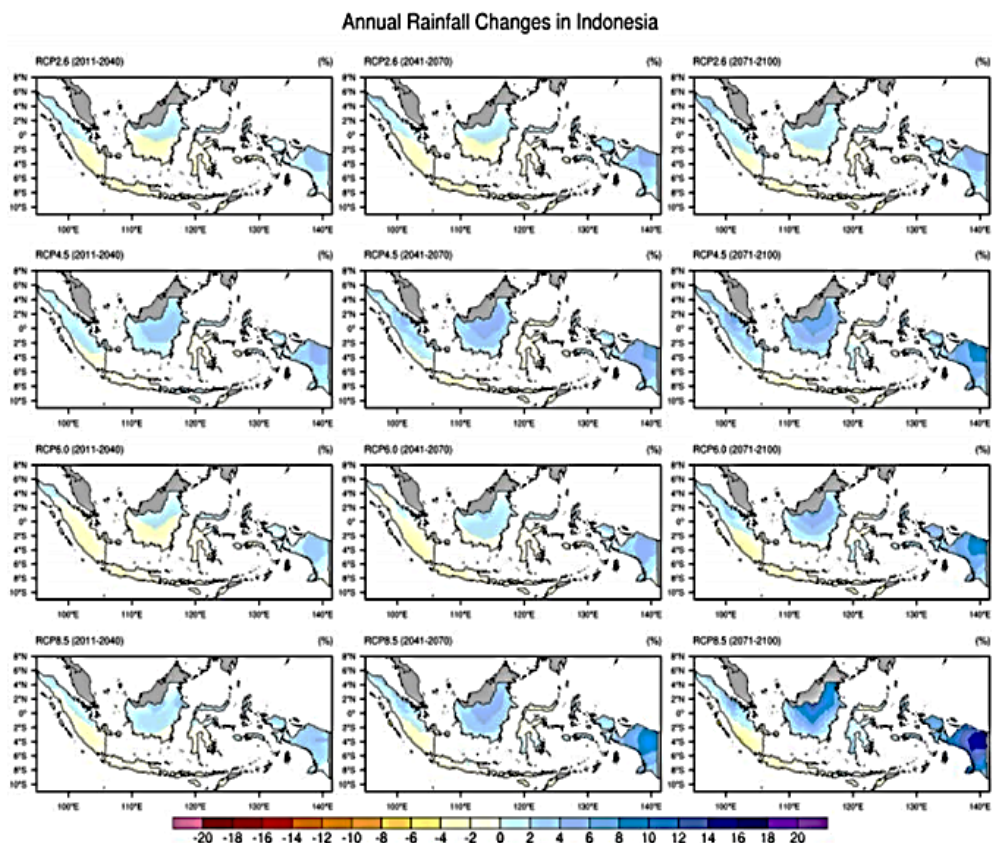
- BAB IV Hasil dan Pembahasan, Berisikan hasil-hasil analisis dan data-data yang menunjukkan hubungan antara MJO dan PDO di Nusantara.
- BAB V Penutup, Berisikan hasil analisis dan evaluasi yang didapat dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut yang berkaitan dengan materi yang terdapat dalam penelitian ini.

BAB II

TEORI DASAR

2.1 Fenomena Yang Berpengaruh Di Indonesia

Di dalam laporan *Working Group 1* (IPCC 2013) disebutkan 18 jenis sirkulasi iklim yang berpengaruh dalam skala regional. Dari jumlah tersebut terdapat beberapa yang cukup berperan dalam mempengaruhi variabilitas iklim di wilayah Indonesia, diantaranya yaitu *Madden-Julian Oscillation* (MJO), *Boreal Summer Intraseasonal Oscillation* (BSISO), *Pacific Decadal Oscillation* (PDO) dan *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO), *Indian Ocean Dipole* (IOD) Ke-empat jenis variabilitas iklim tersebut mempunyai panjang siklus yang berbeda-beda.



Gambar 2.1 Proyeksi perubahan curah hujan tahunan rata-rata (dalam %) di Indonesia. Sumber: Faqih et al. (2016)

MJO merupakan salah satu fenomena iklim dengan siklus sekitar 30-60 harian yang dominan mempengaruhi keragaman iklim dalam skala intramusiman di berbagai wilayah, termasuk di Indonesia (Hidayat dan Kizua 2010; Madani et al. 2012; Madden dan Julian 1971; 1972; 1994; Wheeler dan Hendon 2004). Kejadian MJO menyebabkan peningkatan kejadian curah hujan ekstrem, dimana selama fase aktifnya meningkatkan kejadian ekstrim hingga 40% dibandingkan dengan saat fase pasif (Jones et al. 2004). Fase MJO dapat diidentifikasi menggunakan data iklim harian, seperti curah hujan dan angin di berbagai wilayah di Indonesia. Fenomena lainnya yang mirip dengan MJO, yaitu BSISO. BSISO memiliki karakter mirip MJO namun lebih kompleks, dengan arah pergerakan yang cenderung ke arah utara dan cakupan wilayah yang menjauhi ekuator (Lee et al. 2013). BSISO diketahui berpengaruh terhadap peningkatan curah hujan ekstrem, seperti di Cina bagian selatan (Hsu et al. 2016).

Dalam skala antar-tahun, ENSO merupakan fenomena dominan yang berpengaruh terhadap keragaman iklim, khususnya curah hujan di wilayah Indonesia. Kejadian *El Niño* (*La Niña*) sebagai representasi dari periode hangat (dingin) ENSO berkontribusi besar dalam peningkatan kejadian iklim ekstrem yang menyebabkan bencana kekeringan (banjir) di sebagian besar wilayah Indonesia (Boer dan Subbiah 2003; Naylor et al. 2002).

Dalam skala antardasawarsa, kondisi ekstrem terkait dengan adanya modulasi fenomena iklim seperti ENSO dengan variabilitas iklim skala dekadal seperti PDO (Dong et al. 2006; Heinrich et al. 2009; Yeh dan Kirtman 2005).

Selain ENSO, fenomena IOD juga berperan penting dalam mempengaruhi keragaman curah hujan (Saji et al. 1999) dan peningkatan kejadian iklim ekstrem di Indonesia. IOD positif berasosiasi dengan peningkatan kejadian kekeringan di Indonesia khususnya di wilayah bagian barat, sedangkan IOD negatif berkaitan dengan peningkatan frekuensi dan intensitas curah hujan ekstrem yang berpotensi mengakibatkan banjir. Kejadian IOD yang bersamaan dengan ENSO dapat memperparah kejadian iklim ekstrem, seperti yang terjadi pada saat *El Niño* 1997/1998 yang berbarengan dengan kejadian IOD positif. Hubungan antara IOD dan ENSO dapat saling menguatkan atau saling melemahkan.

2.2 Pacific Decadal Oscillation

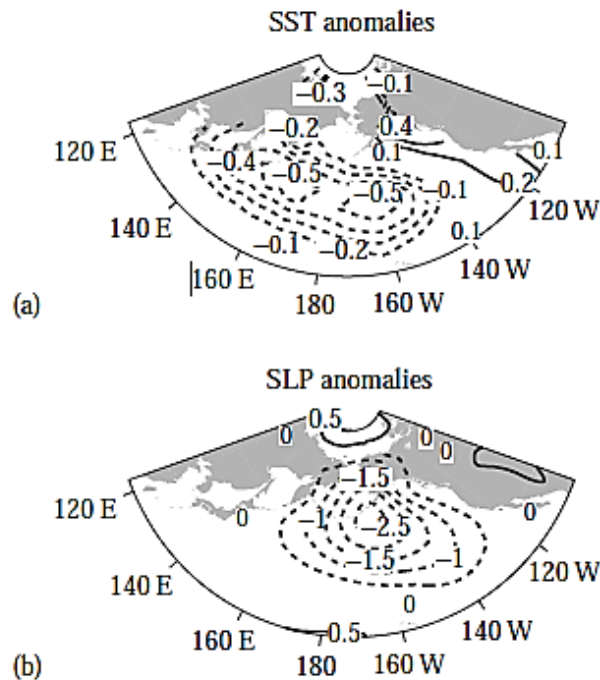
Pacific Decadal Oscillation (PDO) merupakan variabilitas iklim yang berpola seperti *El Nino* yang berpusat di Samudera Pasifik, dan Amerika Utara. Di wilayah Amerika Utara, intensitas fenomena PDO jauh lebih aktif pada musim dingin, dan musim semi. PDO merupakan salah satu variabilitas iklim natural yang sangat berpengaruh terhadap iklim di Pasifik, dan Amerika Utara. Pengaruhnya antara lain terhadap ketersediaan air, dan tutupan salju di beberapa tempat di Amerika Utara; dan pada ekosistem laut dari Pantai Kalifornia, terus ke utara hingga Teluk Alaska, dan Selat Bering. Istilah PDO diajukan oleh Steven Hare, seorang ilmuwan kelautan pada tahun 1996, ketika meneliti hubungan antara siklus produktifitas salmon di Alaska dengan kondisi iklim Pasifik (Hare, 1996).

2.2.1 Karakteristik PDO

Terdapat tiga karakteristik utama yang membedakan PDO dari *El Nino Southern Oscillation* (ENSO). Pertama, kejadian PDO pada abad ke-20 berlangsung selama kurun waktu 20–30 tahun, sementara kejadian ENSO umumnya berlangsung selama kurun waktu 6–18 bulan; Kedua, jejak fenomena iklim akibat PDO terutama tampak pada wilayah Amerika Utara, dan Pasifik Utara, sementara gejala meteorologis akibat ENSO lebih nampak di wilayah Pasifik Tropis; Ketiga, mekanisme terjadinya PDO hingga saat ini masih belum diketahui, sementara mekanisme ENSO relatif lebih dikenali oleh para ahli (Mantua et al., 1997; dan Zhang et al., 1997).

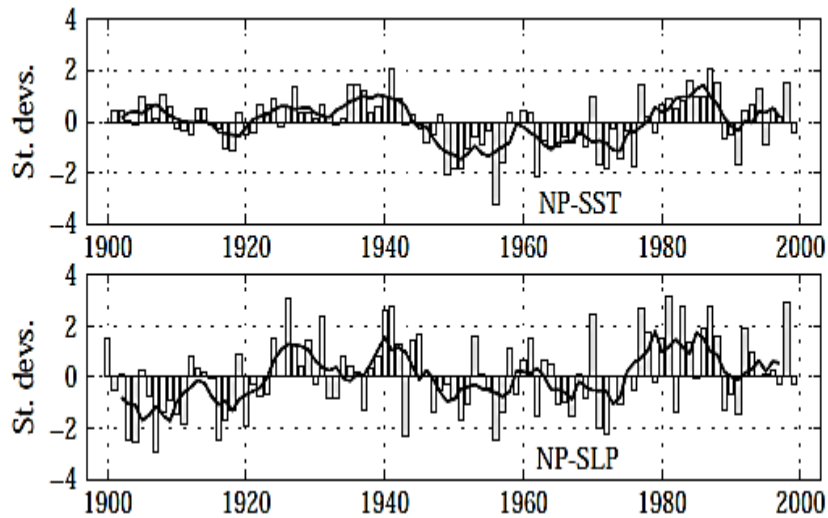
Pola anomali iklim permukaan yang umum dijumpai ketika fase panas PDO dapat dilihat pada Gambar 2.2 Ketika terjadi PDO fase panas, temperatur permukaan laut/*sea surface temperatures* (SST) di wilayah Pasifik Tengah bagian utara cenderung dingin, bertepatan dengan anomali kenaikan SSTs di sepanjang Pantai Barat Amerika. Pada bulan oktober, hingga maret, anomali tekanan permukaan laut/*sea level pressure* (SLP) panas ini menjelma menjadi pola osilasi. Tekanan rendah di Amerika Utara bagian barat, dan Pasifik Subtropis memperkuat intensitas angin serarah jaum jam di wilayah ini. Anomali akibat

fenomena PDO ini dapat meluas ke seluruh bagian troposfer, hingga mengakibatkan pola telekoneksi Pasifik–Amerika Utara/*Pacific North America* (PNA) seperti yang telah dijelaskan oleh Wallace, dan Gutzler (1981). Anomali PDO fase dingin merupakan fenomena yang berkebalikan dengan PDO fase panas.



Gambar 2.2 Anomali iklim permukaan ketika terjadi fenomena PDO fase panas
panas: Sumber: Wallace, dan Gutzler 1981

Terdapat juga perubahan ekosistem laut di Timur Laut Pasifik yang berkaitan dengan fenomena PDO (Francis et al., 1998). Sebagai contoh, fase PDO panas yang menguntungkan nelayan di Alaska, karena produktifitas salmon yang tinggi; akan tetapi merugikan sektor perikanan di pantai barat Negara bagian Kalifornia; Oregon; dan Washington karena rendahnya produktifitas salmon di perairan tersebut. Sebaliknya, PDO fase dingin justru menurunkan produktifitas salmon di Alaska, dan relatif lebih meningkatkan produktifitas salmon di Kalifornia; Oregon; dan Washington (Hare, 1996; dan Hare, et al., 1999).



Gambar 2.3 Indeks PDO rata-rata pada bulan oktober–maret berdasarkan proyeksi dari SST, dan SLP Pasifik Utara (Hare, 1996; dan Hare, et al., 1999)

Tabel 2.1 perbedaan antara PDO fase panas dan PDO fase dingin.

Parameter Anomali Iklim	PDO Fase Panas	PDO Fase Dingin
Temperatur permukaan laut di Pasifik Timur Laut, dan Tropis	Di atas rata-rata	Di bawah rata-rata
Temperatur udara di Amerika Utara bagian barat laut pada bulan oktober-maret	Di atas rata-rata	Di bawah rata-rata
Curah hujan di Amerika Serikat bagian selatan, dan Meksiko bagian utara pada bulan oktober-maret	Di atas rata-rata	Di bawah rata-rata
Curah hujan di Amerika Utara bagian barat laut pada bulan oktober-maret	Di atas rata-rata	Di bawah rata-rata
Tutupan salju musim semi, dan debit air tahunan di Amerika Utara bagian barat laut	Di atas rata-rata	Di bawah rata-rata

2.2.2 Dampak terjadinya PDO

Pacific Decadal Oscillation (PDO), yang merupakan salah satu variabilitas internal yang dominan dalam sistem iklim, menunjukkan pengaruh besar pada komponen lain dari sistem iklim (Newman et al., 2016). Misalnya, perubahan rezimnya telah disarankan untuk berkontribusi pada variasi iklim decadal di Asia Timur dan Selatan (Yu et al., 2015; Zhu et al., 2015; Penggemar dan Penggemar, 2017), Australia (Arblaster et al., 2002) dan Amerika Utara (McCabe et al., 2004, 2012), dan ke hiatus pemanasan global baru baru ini (Kosaka et al., 2013). Selain itu, pertanian, sumber daya air, dan perikanan juga dapat terkena dampaknya PDO (Mantua et al., 1997; Miller et al., 2004).

Banyak anomali iklim yang terkait dengan PDO secara luas mirip dengan yang terhubung dengan variasi ENSO (El Nino dan La Niña), meskipun umumnya tidak ekstrem (Latif dan Barnett, 1996; Mantua et Al., 1997; Minobe, 1997).

Studi independen telah mengkonfirmasi sinyal PDO di Belahan Bumi Selatan. Garreaud dan Battisti (1999) memperpanjang studi Zhang et al. (1997) ke Selatan Belahan dan mengidentifikasi pola simetris yang jelas perubahan sirkulasi atmosfer yang terkait dengan PDO. Dettinger et al. (2000) menemukan bukti simetris pola curah hujan terkait PDO dan tahun air (Oktober-ke-September) anomali aliran di Amerika, dimana PDO hangat (seperti El Nino) periode cenderung memiliki subtropis anomali basah tetapi tropis kering dan midlatitudes di Amerika Utara dan Selatan. Kekuasaan et Al. (1997, 1999a, 1999b) meneliti perubahan *interdecadal* Di Australia timur iklim, menemukan periode PDO hangat untuk dikaitkan dengan kondisi anomali hangat-kering, sementara periode PDO kerap dikaitkan dengan kondisi dingin-basah, konsisten dengan bidang korelasi.

2.3 Madden Julian Oscillation

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.

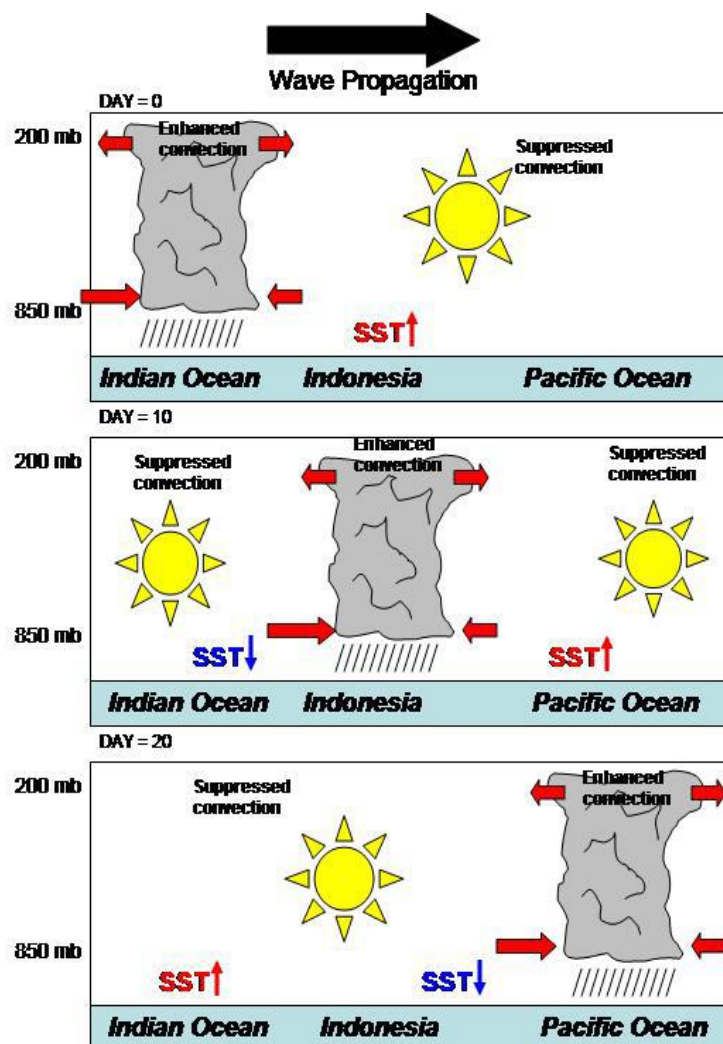
2.3.1 Karakteristik MJO

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 kumululus tebal. Awan konvektif ini menyebabkan hujan dengan intensitas tinggi sepanjang penjarannya yang menempuh jarak 100 kilometer dalam sehari di Samudera Hindia dan 500 kilometer per hari ketika berada di wilayah Indonesia (Evana *et al.*, 2008).

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 dibutuhkan teori yang komprehensif untuk menjelaskan fenomena MJO itu sendiri, seperti karakteristik, mekanisme, propagasi, dan struktur vertikal sebelum akhirnya dapat dibuat simulasinya (Hermawan, 2002).

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

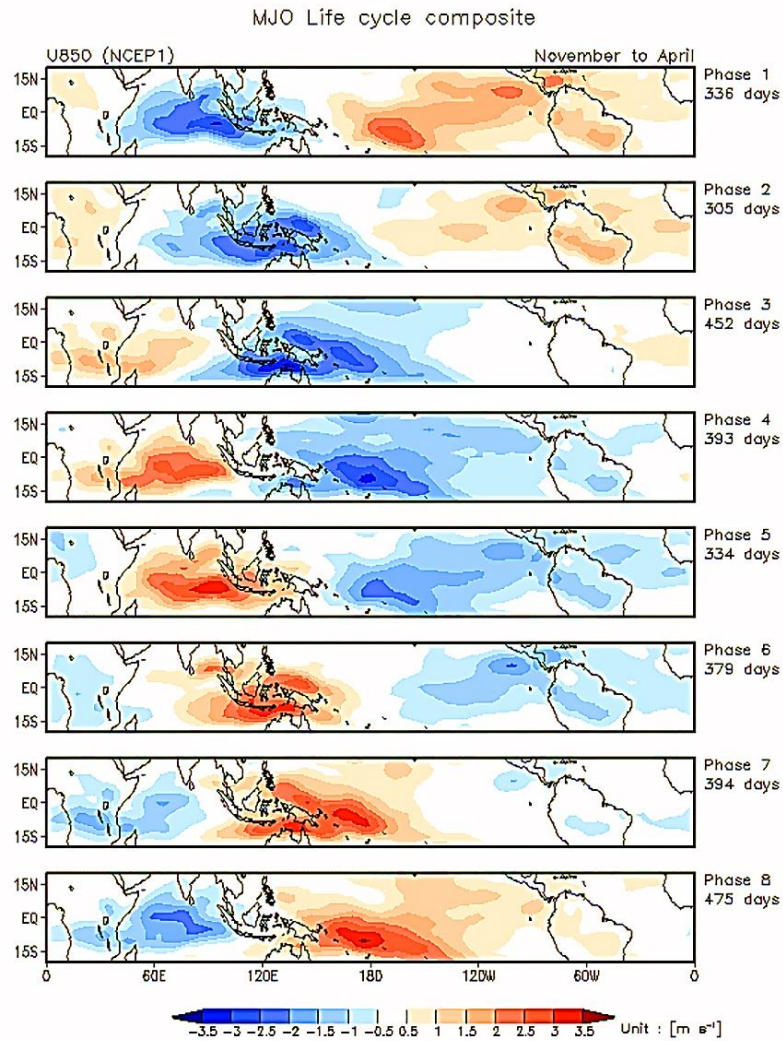
dengan intensitas tertinggi di belahan bumi timur. Dengan demikian, peristiwa ini dapat memberikan informasi penting mengenai fase osilasi. Berikut merupakan gambar yang diadaptasi dari Madden & Julian (1971), kemudian disederhanakan oleh Gottschalck *et al.* (2005). Penampang vertikal MJO di kawasan 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 2.4).



Gambar 2.4 Propagasi MJO (Gottschalck *et al.*, 2005)

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.



Gambar 2.5 Fase MJO (Gottschalck *et al.*, 2005)

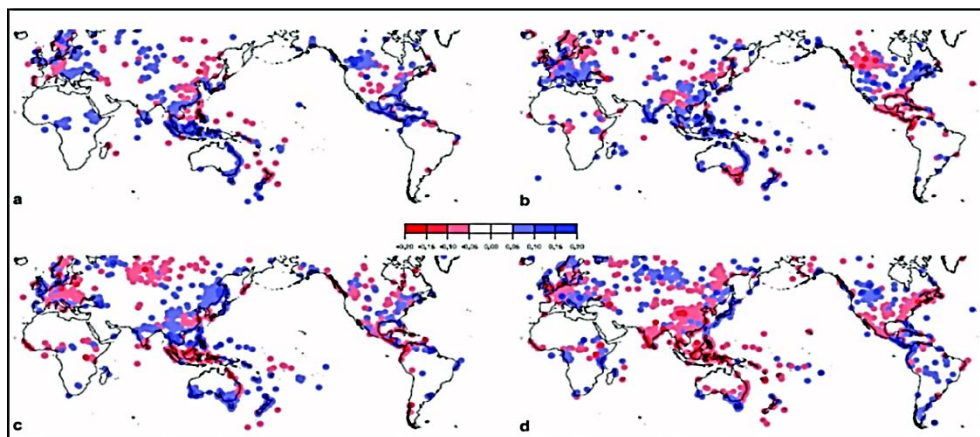
2.3.2 Dampak terjadinya MJO

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. Hal ini diduga menyebabkan terjadinya penyimpangan panas terbesar di kawasan Indonesia, baik yang *sensible* maupun *latent* (tersembunyi) sehingga dapat meningkatkan pembentukan awan, seperti awan *Cumulo nimbus* yang dapat menyebabkan hujan (Hermawan, 2002).



Gambar 2.6 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). pembentukan El Niño atau La Niña, namun dapat memberikan kontribusi pada kecepatan pengembangan dan intensitas El Nino dan La Niña (Gottschalck & Higgins, 2008).

2.4 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 monsoon Asia-Australia, El Nino/ La Nina, Sirkulasi Timur-Barat (*Walker Circulation*), Sirkulasi Utara-Selatan (*Hadley Circulation*), serta beberapa sirkulasi karena faktor lokal (Prasetya, 2011).

2.4.1 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

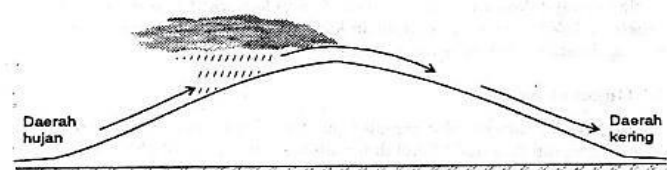
Daerah tropis pada musim kemarau udara yang berada di dekat permukaan tanah mengalami pemanasan yang intensif. Pemanasan tersebut menyebabkan rapat massa berkurang, udara basah naik ke atas dan mengalami pendinginan sehingga terjadi kondensasi dan terjadi hujan. Hujan yang terjadi karena proses ini disebut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

b. Hujan Siklonik

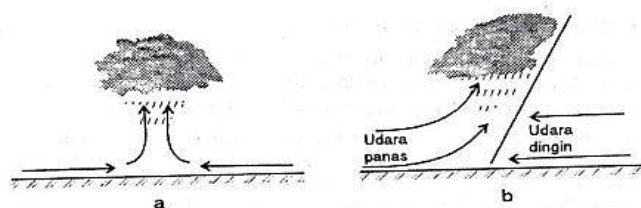
Jika massa udara panas yang relatif ringan bertemu dengan massa udara dingin yang relatif berat, maka udara panas akan bergerak di atas udara dingin. Udara yang bergerak ke atas tersebut akan mengalami pendinginan dan kemudian terkondensasi dan terbentuk awan dan hujan. Hujan yang terjadi disebut hujan 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.



Hujan Orografik dan Daerah Bayangan Hujan



Hujan Konvergensi (a) dan Hujan Frontal (b)

Gambar 2.7 Grafis Tipe-Tipe Hujan (Bayong, 2004)

2.4.2 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.

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.

2.5 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).

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

$$F_p = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} \quad (2.1)$$

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

2.5.1 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).

2.5.2 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 (± 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 katulistiwa. 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.

2.5.3 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).

Berbeda dari 3 siklon sebelumnya, siklon tropis Cempaka dan Dahlia adalah sebuah anomali. Siklon tropis pada umumnya tidak terbentuk di posisi kurang dari 10^o Lintang Utara dan Selatan, atau dalam radius sekitar 1100 km dari garis khatulistiwa. Namun keduanya terjadi di bawah 10^o 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. 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 (Arjawinangun, 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).