

Skripsi Geofisika

**PEMODELAN PENGARUH *OCEAN* ATMOSFER TERHADAP
KEJADIAN *CORAL BLEACHING* DI WILAYAH *ARABIAN GULF/SEA***



OLEH:

RAHAYU NINDAH

H221 15 024

PROGRAM STUDI GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

HALAMAN JUDUL

**Pemodelan Pengaruh *Ocean* Atmosfer Terhadap
Kejadian *Coral Bleaching* Di Wilayah *Arabian Gulf/Sea***

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Serjana Sains

Pada Departemen Geofisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

OLEH:

Rahayu Nindah

H22115024

PROGRAM STUDI GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMODELAN PENGARUH OCEAN ATMOSFER TERHADAP
KEJADIAN CORAL BLEACHING DI WILAYAH ARABIAN GULF/SEA**

Disusun dan diajukan oleh

RAHAYU NINDAH

H22115024

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Geofisika

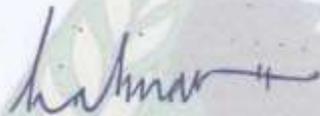
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 28 Desember 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama


Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc
NIP. 1967303151987101001

Pembimbing Pertama


Drs. Hasanuddin, M.Si
NIP. 19571231198031021

Ketua Departemen Geofisika


Dr. Muh. Almuhammad Hamzah, M.Eng
NIP. 196709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rahayu Nindah
Nim : H22115024
Program Studi : Geofisika
Jenjang : S1

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulisan saya berjudul:

**“Pemodelan Pengaruh *Ocean Atmosfer Terhadap Kejadian Coral Bleaching*
Di Wilayah *Arabian Gulf/Sea*”**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain. Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 28 Desember 2022

Yang Menyatakan



RAHAYU NINDAH

H22115024

INTI SARI

Terumbu karang memiliki fungsi serta manfaat yang penting bukan hanya bagi manusia tetapi juga bagi biota- biota laut. Adanya ancaman dari dampak perubahan iklim global dapat menyebabkan terjadinya pemutihan karang (*coral bleaching*) di seluruh dunia termasuk di wilayah *Arabian Gulf/ Sea*. Fenomena *coral bleaching* yang terjadi salah-satunya disebabkan oleh pengaruh *ocean* atmosfer seperti *Sea surface Temperature* (SST), *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), *Indian Ocean Dipole* (IOD), *Pacific Decadal Oscillation* (PDO), Sunspot, Monsoon dan *Madden Julian Oscillation* (MJO). Fenomena-fenomena tersebut kemudian dimodelkan menggunakan analisis model statistik yaitu *Multiple regression* untuk melihat keakuratan model dengan korelasi yang berbeda dalam memprediksi waktu terjadinya *coral bleaching* di wilayah *Arabian Gulf/Sea*. Dengan demikian diperoleh bahwa Sunspot, Monsoon dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) merupakan fenomena yang paling berpengaruh dalam terjadinya *coral bleaching*.

Kata Kunci: *Arabian Gulf, Coral bleaching, Indian Ocean Dipole, Monsoon, Multiple regression, Sunspot*

ABSTRACT

Coral reefs have important functions and benefits, not only for humans but also for marine life. The threat of global climate change impacts can cause coral bleaching throughout the world, including in the Arabian Gulf/Sea region. The phenomenon of coral bleaching that occurs is partly caused by the influence of atmospheric oceans, such as Sea Surface Temperature (SST), El Nino Southern Oscillation (ENSO), Indian Ocean Dipole (IOD), Pacific Decadal Oscillation (PDO), Sunspot, Monsoon, and Madden Julian Oscillation (MJO). These phenomena are then modeled using statistical model analysis, namely multiple regression to see the accuracy of the models with different correlations in predicting the time of coral bleaching in the Arabian Gulf/Sea region. Thus, it was obtained that Sunspot, Monsoon, and Indian Ocean Dipole (IOD) are the most influential phenomena in the occurrence of coral bleaching.

Keywords: Arabian Gulf, Coral bleaching, Indian Ocean Dipole, Monsoon, Multiple regression, Sunspot

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaykum Wa Rahmatullaahi Wa Barakaatuuh.

Alhamdulillahirabbil'alamiin. Tidak ada kata yang paling layak penulis ucapkan selain kalimat syukur ini kepada الله *Subhanahu Wa Ta'ala* yang dengan kehendaknya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pemodelan Pengaruh Ocean Atmosfer Terhadap Kejadian Coral Bleaching Di Wilayah Arabian Gulf/Sea”**. Dia الله *Subhanahu Wa Ta'ala* yang ditangannya terenggam nyawa seluruh makhluk, yang Maha kekal sebelum segala sesuatu ada, dan akan tetap kekal setelah segala sesuatunya tiada. “Dan Dia Maha Kuasa Atas Segala Sesuatu”, Dialah Rabb Yang Maha Penyayang dan Maha Indah yang telah memperindah hari kemarin, hari ini dan Insya Allah akan memperindah hari esok, yang telah menganugerahi nikmat terbesar, yaitu nikmat Iman dan Islam. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada tauladan hingga akhir zaman, Rasulullah Muhammadﷺ. Juga kepada keluarga, sahabat, dan para pengikut beliau yang senantiasa istiqomah menjalankan sunnahnya hingga akhir zaman. Penulis sangat menyadari bahwa tanpa pertolongan dan rahmat dari الله *Subhanahu Wata'ala* penulis tidak akan mampu menyelesaikan Skripsi ini. الله *Subhanahu Wata'ala* yang memberikan semuanya melalui mereka yang senantiasa turut andil dalam penyusunan tugas akhir ini. Maka dari itu, terkhusus untuk sang motivator terbaik di dunia, sang pahlawan yaitu ibu (**Cilla**) dan ayah (**Ade Sutarjo Ninda, Rahimahullah**) yang menjadi tempat bagi penulis mengawali pendidikan pertama, menghaturkan do'a, memberi nasehat, cinta, kasih sayang, materi, semangat,

menjadi tempat mengaduh, menjadi teman, terima kasih *wa jazakumullahu khairoon katsiroh* untuk kalian, rasanya tidak cukup namun semoga Allah *Subhanahu Wata'ala* senantiasa melindungi dan memberi pahala berlimpah untuk kalian. Bersama dengan karya ini, semoga memberi sedikit kebahagiaan untuk mereka dan menjadi amal jariyah dan mengalirkan pahala untuk mereka. *Aamiin Allahumma Aamiin*. Begitupun dengan saudara-saudara saya “**Sofyaita Ninda**” dan “**Irawati Ninda**”. Dalam penulisan skripsi tugas akhir ini penulis ingin menyampaikan terimakasih juga yang sebesar-besarnya kepada banyak pihak yang telah membantu penulis dalam bentuk apapun, dalam tindak sekecil apapun, antara lain kepada:

1. Kepada Bapak **Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc.** selaku pembimbing utama dan Bapak **Drs. Hasanuddin, M.Si** selaku pembimbing pertama. Terimakasih atas segala bimbingan, waktu, ilmu, nasehat, masukan-masukan kepada penulis dan segala hal yang diluangkan untuk penulis, hingga akhirnya penulis mampu menyelesaikan skripsi tugas akhir ini.
2. Kepada Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** dan Bapak **Dr. Sakka, M.Si** selaku tim penguji. Terimakasih atas kritik dan saran yang akhirnya membantu lahirnya segala tulisan yang ada dalam skripsi ini.
3. Kepada Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng.** selaku Ketua Departemen Geofisika, serta seluruh **Staf Departemen Geofisika** dan **Staf Fakultas MIPA** yang telah membantu dalam menyelesaikan urusan-urusan akademik, terkhusus selama pengurusan penelitian ini. Terimakasih.

4. Kepada Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, S.Si., M.Si** selaku Penasehat Akademik penulis. Terimakasih atas nasehat, motivasi dan segala kebaikan. Serta kepada dosen-dosen yang telah mendedikasikan waktunya sebagai pengajar. Terimakasih atas ilmu yang tidak akan pernah sia-sia kalian ajarkan. Semoga menjadi amal jariah untuk kehidupan akhirat.
5. Kepada teman-teman '**Gadis Embun**' terima kasih atas segala perhatian, motivasi, dan do'anya.
6. Kepada **F15IKA** yang insyaAllah selalu "Satu Dalam Dekapan" dalam keadaan apapun.
7. Kepada adik-adik **HMGF** atas dukungan serta bantuan dalam proses penyelesaian tugas akhir saya.

Wassalamu'alaykum Wa Rahmatullaahi Wa Barakaatuuh

Makassar, 28 Desember 2022


Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
INTI SARI	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	2
I.3. Ruang Lingkup	3
I.4. Tujuan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1. Terumbu Karang	4
II.2. Pemutihan Terumbu Karang (<i>Coral Bleaching</i>)	8
II.3. <i>El Niño Southern Oscillation</i> (ENSO)	11
II.4. <i>Indian Ocean Dipole</i> (IOD)	14
II.5. Sunspot	17
II.6. Monsoon	20

II.7. <i>Pacific Decadal Oscillation</i> (PDO)	21
II.8. <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO)	23
II.9. Model <i>Multiple Regression</i> (MR)	25
II.10. Verifikasi Prediksi	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
III.1. Lokasi Penelitian	32
III.2. Alat dan Bahan Penelitian	33
III.3. Prosedur Penelitian	33
III.4. Bagan Alir	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
IV.1. Hasil Penelitian	37
IV.2. Pembahasan	47
BAB V PENUTUP	49
V.1. Kesimpulan	49
V.2. Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Terumbu Karang Penghalang	5
Gambar 2.2 Terumbu Karang Cincin	6
Gambar 2.3 Terumbu Karang Tepi	6
Gambar 2.4 Pulau – Pulau Pasir	7
Gambar 2.5 Rekaman <i>bleaching</i> tahun 1979-2007	10
Gambar 2.6 Kondisi daerah tropis Samudera Pasifik saat tahun normal	12
Gambar 2.7 Kondisi daerah tropis Samudera Pasifik saat tahun El-Nino	13
Gambar 2.8 Kondisi daerah tropis Samudera Pasifik saat tahun La Nina	13
Gambar 2.9 Wilayah <i>Indian Ocean Dipole Mode SST</i>	15
Gambar 2.10 IOD (+) kaitannya dengan pergeseran massa udara	16
Gambar 2.11 IOD (-) kaitannya dengan pergeseran massa udara	17
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian	32
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian	36
Gambar 4.1 Grafik Jumlah Kejadian <i>coral bleaching</i> di <i>Arabian Gulf/Sea</i>	37
Gambar 4.2 Model 1 klasifikasi berdasarkan observasi dan prediksi kejadian <i>coral bleaching</i> untuk prediktor SUN 9, MON 5, IOD 5	40
Gambar 4.3 Model 2 klasifikasi berdasarkan observasi dan prediksi kejadian <i>coral bleaching</i> untuk prediktor SUN 9	40
Gambar 4.4 Model 3 klasifikasi berdasarkan observasi dan prediksi kejadian <i>coral bleaching</i> untuk prediktor MON 5	41

Gambar 4.5 Model 4 klasifikasi berdasarkan observasi dan prediksi kejadian <i>coral bleaching</i> untuk prediktor IOD 5.....	41
Gambar 4.6 Diagram Tebar hasil prediksi terhadap observasi untuk Model 1.....	43
Gambar 4.7 Diagram Tebar hasil prediksi terhadap observasi untuk Model 2.....	43
Gambar 4.8 Diagram Tebar hasil prediksi terhadap observasi untuk Model 3.....	44
Gambar 4.9 Diagram Tebar hasil prediksi terhadap observasi untuk Model 4.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tahun terjadinya fenomena IOD berdasarkan <i>Dipole Mode Index</i>	17
Tabel 2.2 Interpretasi dari Nilai r positif (hubungan searah)	30
Tabel 2.3 Interpretasi dari Nilai r xiiegative (hubungan berlawanan)	30
Tabel 4.1 Nilai Koefisien dan Signifikan Prediktor	38
Tabel 4.2 Nilai persentase <i>correct</i> untuk Model 1	45
Tabel 4.3 Nilai persentase <i>correct</i> untuk Model 2	45
Tabel 4.4 Nilai persentase <i>correct</i> untuk Model 3	45
Tabel 4.5 Nilai persentase <i>correct</i> untuk Model 4	46

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Terumbu karang merupakan ekosistem yang sangat vital karena memiliki fungsi ekologis yang penting diantaranya sebagai tempat mencari makan biota-biota, tempat memijah, dan tempat mengasuh. Selain itu juga ekosistem terumbu karang juga merupakan sumber pendapatan bagi manusia dan menyediakan sumber makanan serta memberikan perlindungan terhadap pantai. Beberapa studi menunjukkan bahwa 500 juta orang di seluruh dunia sangat tergantung terhadap terumbu karang, dan secara ekonomi, sumberdaya dan pelayanan yang diberikan oleh terumbu karang diperkirakan mencapai \$375 miliar per tahun (Obura & Grimsdith, 2009).

Saat ini terumbu karang menghadapi ancaman yang semakin besar dengan adanya dampak perubahan iklim global. Suhu laut global diperkirakan telah meningkat 0.6°C pada pertengahan tahun 1950-1990. Beberapa penelitian memprediksi peningkatan suhu laut dimasa yang akan datang mencapai $1.40-5.80^{\circ}\text{C}$ pada tahun 2100 (IPCC, 2001). Peningkatan suhu tersebut dapat mengakibatkan terjadinya fenomena pemutihan karang jika terjadi anomali suhu permukaan air laut $1-2^{\circ}\text{C}$ diatas suhu musim panas rata-rata. Para peneliti juga memperkirakan bahwa kejadian pemutihan karang akan menjadi fenomena yang kerap terjadi dengan frekuensi yang lebih sering di masa yang akan datang (Hoegh-Guldberg, 1999).

Bulan April tahun 2010 terjadi kenaikan suhu permukaan laut secara drastis. Hal tersebut menyebabkan terjadi fenomena pemutihan karang secara massal. Beberapa ahli menyatakan bahwa pemutihan karang pada tahun 2010 mempunyai dampak yang lebih parah dibandingkan dengan fenomena pemutihan karang pada tahun 1998 (Muttaqin, 2014).

Adapun dampak pemutihan karang terhadap ekosistem terumbu karang sangat besar, selain mengakibatkan kematian karang dalam skala yang luas, pemutihan karang juga berdampak pada berkurangnya tingkat keanekaragaman sumberdaya alam. Selain berdampak terhadap ekologi, pemutihan terumbu karang juga berdampak langsung terhadap perekonomian khususnya di daerah pesisir. Beberapa studi memprediksi kerugian secara ekonomi akibat pemutihan karang pada tahun 1998 diperkirakan mencapai \$700-8200 juta khusus di wilayah Laut India (Marshall & Schuttenberg, 2006).

Oleh karena itu, dilakukan penelitian ini terkait dengan pemodelan waktu kejadian *coral bleaching* terhadap fenomena iklim global yang bertujuan untuk mengantisipasi terjadinya *coral bleaching* serta dampak yang ditimbulkan kedepannya.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana memodelkan waktu terjadinya *coral bleaching* di *Arabian Gulf/Sea* dengan menggunakan model *Multiple Regression*?

2. Bagaimana pemodelan prediksi terbaik untuk meramalkan waktu terjadinya *coral bleaching* menggunakan data *ocean* atmosfer global?

I.3 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibatasi oleh analisis data *bleaching* (pemutihan) pada teumbu karang yang dipengaruhi oleh faktor *Ocean* atmosfer di kawasan *Arabian Gulf/Sea*. Analisis model statistik yang digunakan pada penelitian ini yaitu, Metode *Multiple Regression* (MR) untuk melihat keakuratan model dengan berbagai korelasi yang berbeda dalam memprediksi waktu terjadinya *Coral Bleaching* di *Arabian Gulf/Sea*.

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk memodelkan waktu terjadinya *coral bleaching* di *Arabian Gulf/Sea* dengan menggunakan model *Multiple Regression*.
2. Untuk memodelkan prediksi terbaik dalam meramalkan waktu terjadinya *coral bleaching* menggunakan data *ocean* atmosfer global.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Terumbu Karang

II.1.1 Defenisi Terumbu Karang

Terumbu karang merupakan ekosistem yang dibangun oleh biota laut penghasil kapur, terutama oleh hewan karang, bersama-sama dengan biota lain yang hidup di dasar laut maupun kolom air. Hewan karang, yang merupakan penyusun utama terumbu karang, terdiri dari polip dan skeleton. Polip merupakan bagian yang lunak yang terdiri dari beberapa lapisan diantaranya lapisan Endoderm yang merupakan lapisan tempat ditemukannya *zooxanthellae* yaitu alga bersel tunggal yang merupakan simbiosis dari binatang karang (Suharsono, 2010), sedangkan skeleton merupakan bagian yang keras. Pada bagian polip terdapat tentakel (tangan-tangan) untuk menangkap plankton sebagai sumber makanannya. Setiap polip karang mengsekresikan zat kapur CaCO_3 yang membentuk kerangka skeleton karang. (Giyanto, dkk., 2017).

Terumbu karang terdapat di lingkungan perairan yang agak dangkal, seperti Paparan Benua dan gugusan pulau-pulau di perairan tropis. Untuk mencapai pertumbuhan maksimum, terumbu karang memerlukan perairan yang jernih dengan suhu air perairan yang hangat (optimal pada $25-29^\circ\text{C}$ toleransi $18-40^\circ\text{C}$), kedalaman kurang dari 25 meter, gerakan gelombang yang besar, dan sirkulasi air yang lancar serta terhindar dari proses sedimentasi, lalu juga salinitas berkisar pada nilai 34-36 ‰ dengan batas toleransi 27-42‰ (Supriharyono, 2007).

II.1.2 Tipe-Tipe Terumbu Karang

Terumbu karang dapat ditemukan di seluruh lautan tropis dimana perairan jernih, kandungan nutrisi rendah dengan suhu antara 18-30°C. Terdapat banyak tipe karang yang berbeda-beda. Setiap tipe karang terbentuk akibat proses geologi tertentu dan memiliki peran yang unik dalam ekosistem yaitu (Craig, 2011):

1) Terumbu Karang Penghalang

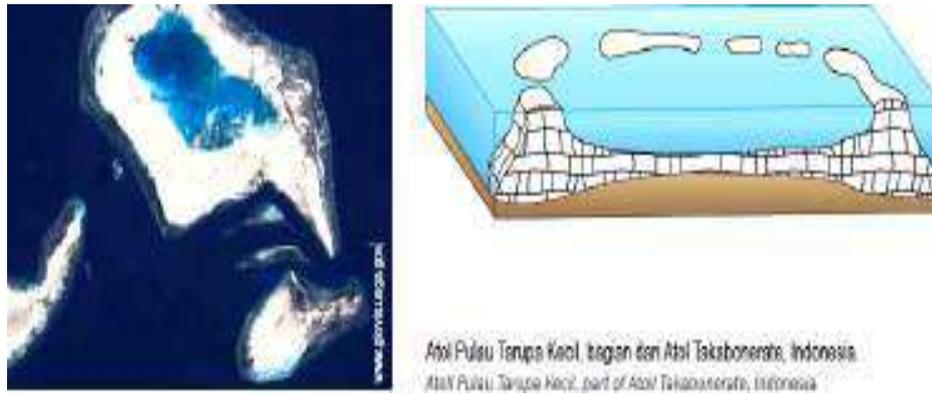
Tipe ini merupakan terumbu karang yang terpisah dari daratan utama atau pulau oleh adanya sebuah laguna atau zona perairan yang dalam. Contoh: Terumbu Karang Penghalang Sunda Besar (Indonesia), *Great Barrier Reef* (Australia).



Gambar 2.1 Terumbu Karang Penghalang (Suharsono, 2008).

2) Terumbu Karang Cincin

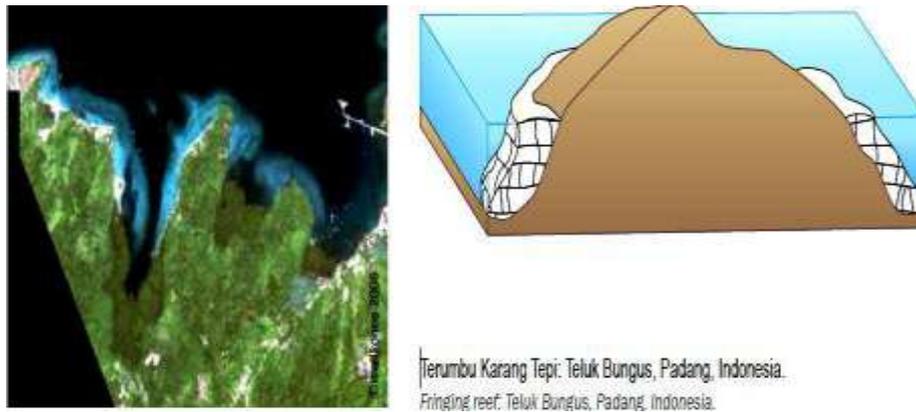
Terumbu karang cincin ialah sekelompok terumbu karang tak terputus berbentuk hampir melingkar, mengelilingi laguna tanpa memiliki pulau di tengahnya. Misalnya Atol Takabonerate (Indonesia) dan *Blue Hole*



Gambar 2.2 Terumbu Karang Cincin (Suharsono, 2008).

3) Terumbu Karang Tepi

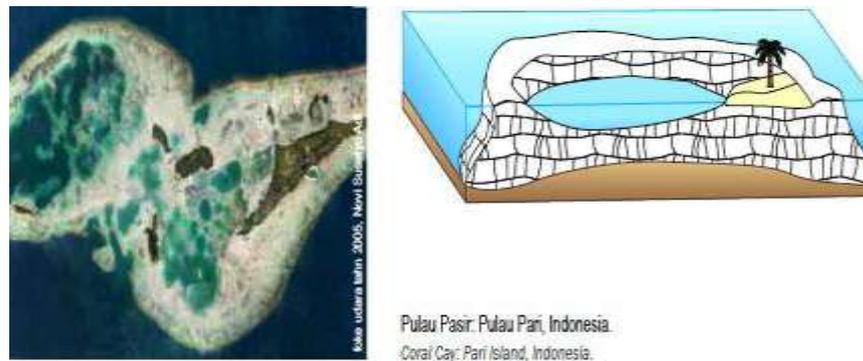
Terumbu karang tepi merupakan terumbu karang yang beradadekat pantai dan terpisah dari pantai oleh sebuah laguna dangkal.



Gambar 2.3 Terumbu Karang Tepi (Suharsono, 2008).

4) Pulau – Pulau Pasir

Pulau pasir umumnya memiliki elevasi rendah dan berpasir, terbentuk pada permukaan sebuah terumbu karang.



Gambar 2.4 Pulau – Pulau Pasir (Suharsono, 2008).

II.1.3 Fungsi dan Manfaat Terumbu Karang

Sebagai sebuah ekosistem yang berada di perairan laut dangkal, terumbu karang memiliki fungsi dan manfaat, antara lain sebagai berikut (Giyanto, dkk., 2017):

1. Sebagai benteng alami untuk melindungi pantai dari hempasan ombak. Adanya terumbu karang dapat mengurangi energi ombak yang menuju ke daratan. Pantai yang terumbu karangnya rusak akan mudah mengalami abrasi.
2. Sebagai tempat tinggal, berlindung, mencari makan dan memijah ikan dan biota laut lain yang merupakan sumber bahan pangan maupun sumber bahan obat/makanan suplemen dari laut.
3. Sebagai penunjang kegiatan pendidikan dan penelitian agar biota laut yang ada dalam ekosistem terumbu karang dapat lebih dikenal dan mudah untuk dipelajari.
4. Sebagai tempat wisata. Perpaduan antara karang dengan biota laut lainnya menjadikan terumbu karang sebagai ekosistem yang memiliki panorama bawah air yang indah dan menarik, yang sangat potensial sebagai tempat rekreasi bawah air.

II.2 Pemutihan Terumbu Karang (*Coral Bleaching*)

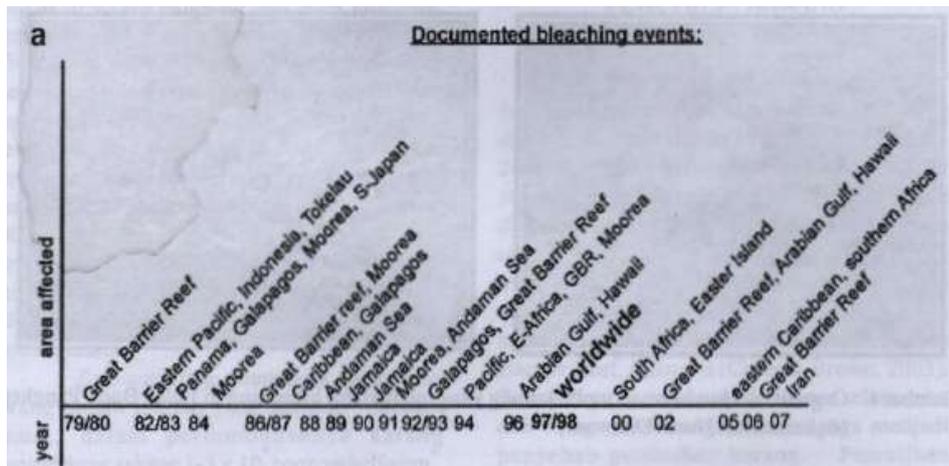
Istilah pemutihan karang atau *coral bleaching* pertama kali disampaikan oleh Yone dan Nicholls pada tahun 1931 (Coles & Brown, 2003), yaitu, hilangnya sebagian besar *zooxanthellae* simbiotik yang biasanya ditemukan dalam jaringan karang. Dalam publikasinya pada tahun 1931 disebutkan bahwa *bleaching* tersebut merupakan pengurangan konsentrasi seluler *zooxanthellae*, yang disebabkan oleh kenaikan suhu yang tinggi di Low Islands, Great Barrier Reef, Australia (Coles & Brown, 2003).

Selanjutnya diutarakan pula bahwa selain suhu dan cahaya, kekurangan nutrisi juga menjadi penyebab pemutihan karang. Pemutihan sebenarnya tidak dibatasi untuk karang, tetapi juga dapat dialami oleh semua hewan yang bersimbiosa dengan dinoflagellata (alga bersel tunggal) dari genus *Symbiodinium*. Alga ini memberikan warna pada hewan yang menjadi simbiotnya. Hewan-hewan yang bersimbiosa dengan zooxantella beberapa diantaranya adalah: karang lunak, anemon laut, kerang tridacna dan sponge. Oleh karena pemutihan tidak hanya dialami oleh karang, tetapi juga oleh penghuni ekosistem terumbu karang, maka istilah yang lebih tepat untuk pemutihan karang adalah pemutihan terumbu karang (Baker *et al.*, 2008).

Menurut Westmacott *et al.*, (2000), pemutihan karang adalah memutihnya atau pudarnya karang akibat berbagai macam tekanan, baik itu secara alami maupun karena antropogenik. Keadaan tersebut menyebabkan terjadinya degenerasi atau hilangnya *zooxanthellae* pewarna dari jaringan karang. Dalam keadaan normal, jumlah zooxantella berubah sesuai dengan musim sebagaimana penyesuaian

karang terhadap lingkungannya. Selama peristiwa pemutihan, karang akan kehilangan 60-90% dari jumlah *zooxanthella*nya dan *zooxanthellae* yang masih tersisa dapat kehilangan 50-80% dari pigmen fotosintesisnya. Ketika penyebab masalah itu disingkirkan, karang yang terinfeksi dapat pulih kembali, dan jumlah *zooxanthellae* dapat kembali normal, tetapi hal ini tergantung dari durasi dan tingkat gangguan lingkungan. Gangguan yang berkepanjangan akan menyebabkan kematian sebagian atau keseluruhan tidak hanya kepada individu koloni tetapi juga terumbu karang secara luas (Coles & Brown, 2003).

Fenomena pemutihan karang dapat terjadi secara lokal maupun global. Dari catatan sejarah terekam bahwa pemutihan karang terbesar terjadi pada kurun waktu tahun 1997-1998. Pada saat itu hampir seluruh karang di dunia mengalami pemutihan, misalnya, di *Great Barrier Reef* telah terjadi dua kali *bleaching* secara masal pada musim panas tahun 1998 dan tahun 2002. Di kawasan Taman Laut *Great Barrier Reef*, *bleaching* masal yang terjadi pada musim panas tahun 2002 menyebabkan 60%-95% karang memutih. *Bleaching* terjadi hampir diseluruh perairan tropis pada tahun 1998/1999 (misalnya di Maldives, Sri Lanka, Kenya, Tanzania dan Seychelles) menyebabkan tutupan karang yang memutih hampir 90%. Meningkatnya suhu sebesar 2-3°C di kawasan Pasifik Barat mempengaruhi terjadinya *bleaching* di Indonesia (Brown & Suharsono, 1990). Rekaman kejadian *bleaching* selama kurun waktu 1979-2007 secara rinci dijelaskan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Rekaman *bleaching* tahun 1979-2007 (Baket *et al.*, 2008).

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya *bleaching* adalah adanya perubahan temperatur yang ekstrim, logam berat, polutan lain (nitrat), arus perairan yang kecil, intensitas cahaya, serta salinitas. Mayoritas pemutihan karang secara besar-besaran dalam kurun waktu dua dekade terakhir ini berhubungan dengan peningkatan suhu permukaan laut (SPL) dan khususnya pada daerah *Hot Spots* (Hoegh Guldberg, dalam Coles & Brown, 2003). *Hot Spot* adalah daerah dimana SPL naik hingga melebihi maksimal perkiraan tahunan (suhu tertinggi pertahun dari rata-rata selama 10 tahun) dilokasi tersebut. Apabila *Hot Spot* 1°C diatas maksimal tahunan bertahan selama 10 minggu atau lebih, maka fenomena pemutihan pasti terjadi (NOAA, dalam Westmaeott *et al.*, 2000).

Dampak gabungan dari tingginya SPL dan tingginya tingkat sinar matahari (pada gelombang panjang ultraviolet) dapat mempersingkat proses pemutihan dengan mengalahkan mekanisme alami karang untuk melindungi dirinya sendiri dari sinar matahari yang berlebihan. Informasi mengenai mekanisme pemutihan karang hingga saat ini masih belum banyak yang dimengerti. Namun, diperkirakan dalam

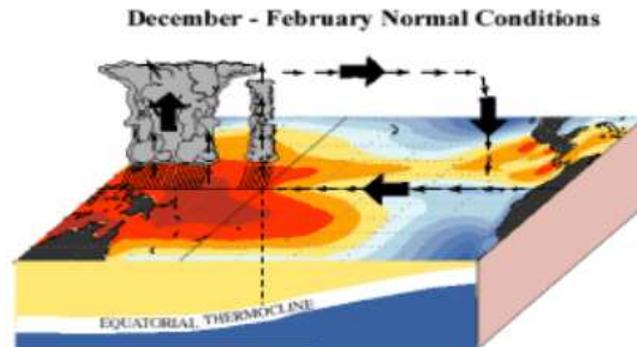
kasus tekanan termal, kenaikan suhu akan mengganggu kemampuan *zooxanthellae* untuk berfotosintesis, dan dapat memicu produksi kimiawi berbahaya yang merusak sel-sel mereka. Douglass (2003) memformulasikan mekanisme *bleaching* menjadi 3 unsur, yaitu faktor eksternal yang memicu pemutihan; mekanisme atau respon yang dialami oleh organisme yang mengalami stress serta pemutihan dan akibat yang ditimbulkan oleh organisme dari respon tersebut.

II.3 *El Niño Southern Oscillation* (ENSO)

ENSO merupakan sebuah interaksi laut atmosfer yang berpusat di wilayah ekuator Samudra Pasifik (Aldrian, 2008) yang menyebabkan anomali iklim global (Trenberth dkk., 2000). Hal tersebut menyebabkan dua fenomena yaitu El Nino dan La Nina. Gejala ENSO memberikan pengaruh terhadap kondisi laut di Indonesia yaitu menjadi lebih dingin pada tahun El Nino dan lebih hangat pada tahun La Nina (Aldrian, 2008).

El Nino merupakan keadaan peningkatan suhu permukaan lautan (*sea surface temperature*) dari suhu normalnya di Pasifik Ekuator timur. La Nina adalah kejadian berkebalikan dengan El Nino yakni penurunan suhu permukaan lautan di kawasan ekuator Samudera Pasifik dari suhu normalnya (Trenberth, 1997; Kirono dalam Prabowo, 2002). Ketika terjadi El Nino maupun La Nina, keduanya berasosiasi dengan *Southern Oscillation*, sehingga fenomena ini lebih dikenal sebagai ENSO (Trenberth, 1997; Aldrian, 2008; Prabowo, 2002).

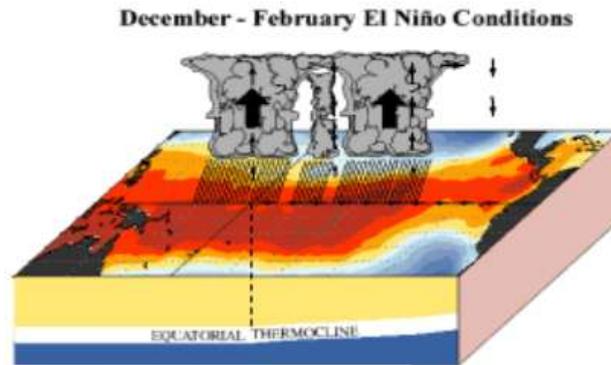
ENSO terdiri dari tiga fenomena yaitu kejadian normal, El Nino dan La Nina. Pembagian kriteria pada masing – masing tergantung pada *Southern Oscillation Index* (SOI) dari bulan April (0) hingga Maret (+1) (Sitompul,2011).



Gambar 2.6 Kondisi daerah tropis Samudera Pasifik saat tahun normal (IRI, 2017).

Selama kondisi netral ENSO, angin pasat tenggara bertiup ke arah barat khatulistiwa melintasi Samudra Pasifik. Hembusan angin ini pada permukaan laut, menghasilkan arus ke barat. Angin dan arus yang kencang ini bertanggung jawab atas kondisi permukaan laut di Pasifik barat, misalnya, di Indonesia, hingga 50 cm lebih tinggi daripada yang ada di Pasifik timur, misalnya, di Peru (IRI, 2017).

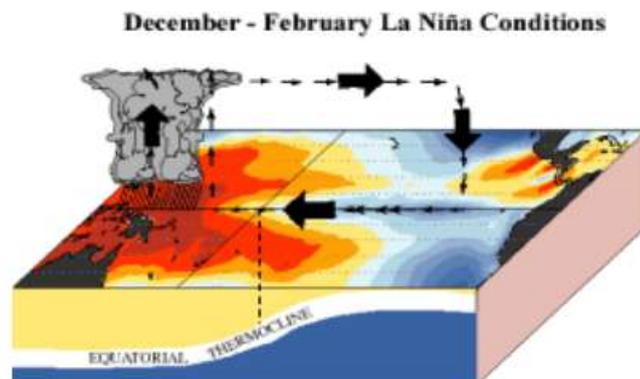
Kondisi netral juga mendorong terjadinya *upwelling* air laut yang sejuk dan kaya nutrisi di pantai Pasifik utara Amerika Selatan. Dibandingkan dengan wilayah Pasifik khatulistiwa lainnya, wilayah khatulistiwa dari Amerika Selatan ke Pasifik tengah akan mengalami suhu laut yang relatif dingin yang berkontribusi terhadap kondisi yang relatif kering di daerah itu (IRI, 2017).



Gambar 2.7 Kondisi daerah tropis Samudera Pasifik saat tahun El-Nino (IRI, 2017).

Selama kondisi El Nino, angin yang biasanya dari timur ke barat melemah dan anomal aliran barat ke timur semakin menguat. Aliran barat ke timur ini menggerakkan perairan hangat khatulistiwa dari Pasifik barat menuju Pasifik timur dan Amerika Selatan bagian utara (IRI, 2017).

Dampak El Nino di Pasifik timur khatulistiwa termasuk peningkatan ketinggian permukaan laut, penurunan *upwelling* air dingin dan peningkatan suhu permukaan laut. Peningkatan suhu permukaan laut menyebabkan peningkatan konveksi dan peningkatan risiko hujan lebat di barat laut Amerika Selatan (IRI, 2017).

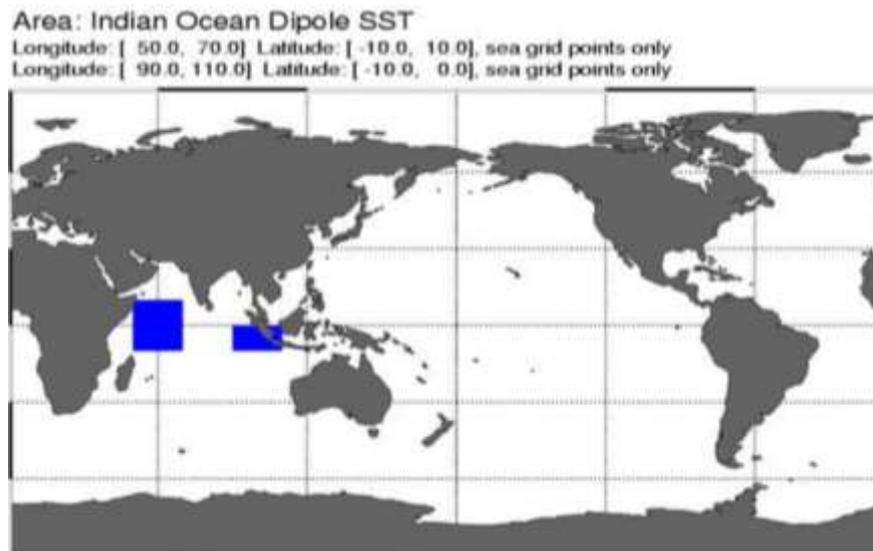


Gambar 2.8 Kondisi daerah tropis Samudera Pasifik saat tahun La Nina (IRI, 2017).

Selama kondisi La Nina, aliran dari timur ke barat yang terjadi selama kondisi netral semakin meningkatkan. Rezim angin anomali ini bertanggung jawab atas anomali suhu permukaan laut di atas rata-rata di Pasifik barat dan di bawah rata-rata di Pasifik timur. Sesuai dengan perubahan suhu permukaan laut, curah hujan akan relatif lebih tinggi di Pasifik barat dan relatif lebih rendah di Pasifik timur. Selama La Nina, penyimpangan suhu permukaan laut dan curah hujan dari normal umumnya berkurang drastis daripada penyimpangan yang terjadi selama El Nino (IRI, 2017).

II.4 Indian Ocean Dipole (IOD)

Indian Ocean Dipole Mode (IOD) didefinisikan sebagai perbedaan anomali *Sea Surface Temperature (SST)* antara Bagian Barat ($10^{\circ}\text{LU}-10^{\circ}\text{LS}$; $60^{\circ}\text{BT}-80^{\circ}\text{BT}$) dan Timur ($0^{\circ}-10^{\circ}\text{LS}$; $90^{\circ}\text{BT}-110^{\circ}\text{BT}$) dari Samudera Hindia (Saji *et al.*, 1999; Behera and Yamagata, 2003) seperti terlihat pada Gambar 2.9. Dari Gambar tersebut terlihat adanya dua kutub pusat tekan rendah, satu terletak di pantai timur benua Afrika dan lainnya di pantai barat Sumatera, Indonesia (Hermawan, 2010).

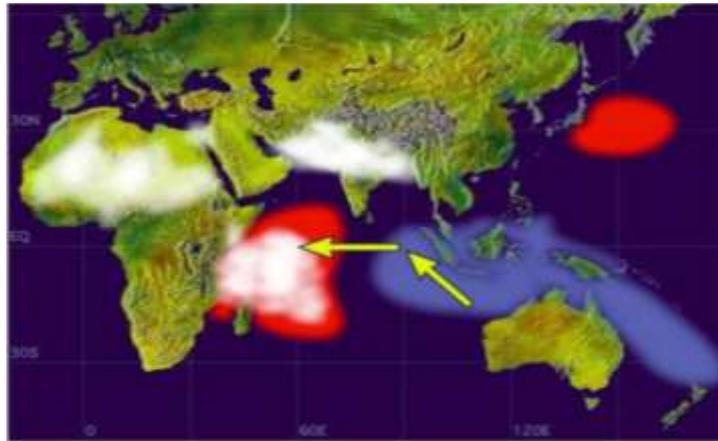


Gambar 2.9 Wilayah *Indian Ocean Dipole Mode SST* (Saji *et al.*, 1999; Saji and Yamagata; 2003b) (Hermawan, 2008).

Selain itu, ternyata IOD secara langsung maupun tidak langsung terkait erat dengan adanya Sirkulasi Walker (*Walker Circulation*) yang terjadi di sepanjang *belt* ekuator akibat adanya perbedaan tekanan antara wilayah bagian timur Samudera Hindia dekat Sumatera Bagian Barat dengan bagian barat Samudera Hindia dekat Afrika sehingga aliran udara berlangsung secara horizontal dari tekanan udara yang tinggi (wilayah dengan kumpulan massa udara dingin) menuju wilayah dengan tekanan udara rendah (wilayah dengan kumpulan massa udara hangat). IOD melintasi wilayah Indonesia yang dicirikan adanya variasi musiman dari parameter *Sea Surface Temperature (SST)*, *Sea Level Pressure (SLP)* dan *Outgoing Longwave Radiation (OLR)* disepanjang kawasan Pasifik Barat mulai dari bagian timur pantai benua Afrika hingga pantai barat Pulau Sumatera (Hermawan, 2008).

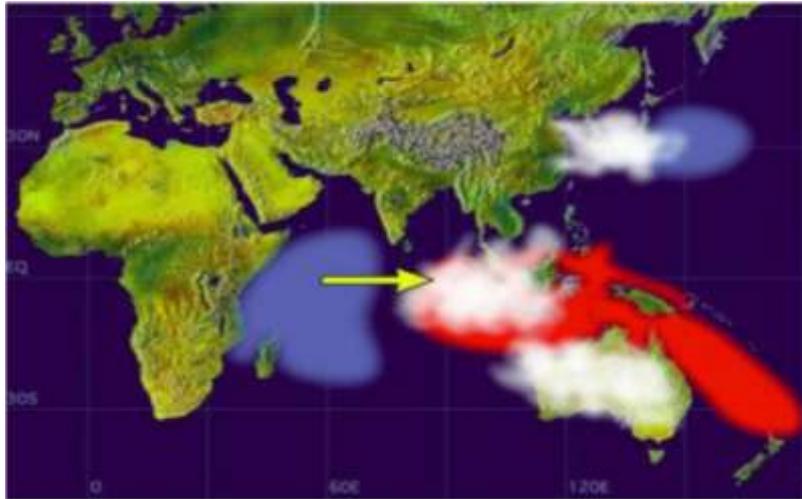
Fenomena IOD juga mempunyai pengaruh signifikan terhadap pola curah hujan yang terjadi di suatu kawasan tertentu. Variasi curah hujan antara wilayah Sumatera Barat diduga memiliki hubungan yang terbalik dengan curah hujan yang terjadi di

sebelah timur Afrika. Hal ini berarti pada saat wilayah Sumatera Barat mengalami curah hujan di atas normal hingga beberapa kawasan mengalami banjir, maka di wilayah timur Afrika mengalami kekeringan, begitupun sebaliknya. Berdasarkan fenomena tadi, maka dikenal adanya dua macam IOD, masing-masing IOD Positif (+) dan IOD Negatif (-) (Hermawan, 2008).



Gambar 2.10 IOD (+) kaitannya dengan pergeseran massa udara (<http://w3.jamstec.go.jp/frsgc/research/d1/saji/dmi.html>)

IOD (+) terjadi saat wilayah pantai barat Sumatera bertekanan tinggi, sementara sebelah timur pantai benua Afrika bertekanan rendah sehingga terjadi aliran udara dari bagian barat Sumatera ke bagian timur Afrika yang mengakibatkan pembentukan awan-awan konvektif di wilayah Afrika dan menghasilkan curah hujan di atas normal. Sebaliknya, di wilayah Barat Sumatera terjadi kekeringan setelah massa uap airnya gagal diturunkan sebagai hujan (Hermawan, 2008).



Gambar 2.11 IOD (-) kaitannya dengan pergeseran massa udara
<http://w3.jamstec.go.jp/frsgc/research/d1/saji/dmi.html>

IOD (-), wilayah barat Sumatera termasuk Sumatera Barat mengalami surplus curah hujan dan wilayah timur Afrika mengalami kekeringan. Hal ini terjadi berdasarkan asumsi bahwa tingginya tekanan di wilayah Afrika Bagian Timur dan tekanan rendah di Bagian Barat Indonesia menyebabkan terjadinya pergerakan awan konvektif yang dibentuk di daerah Samudera Hindia dari wilayah Afrika ke wilayah Indonesia sehingga mengakibatkan tingginya curah hujan di wilayah Indonesia khususnya Indonesia Bagian Barat. (Hermawan, 2008).

Tabel 2.1 Tahun terjadinya fenomena IOD berdasarkan *Dipole Mode Index* (DMI) (BoM, 2019)

Indikator IOD	<i>Dipole Mode Index</i>
Tahun IOD Positif	1961, 1963, 1972, 1982, 1983, 1994, 1997, 2006, 2012, 2015
Tahun IOD Negatif	1960, 1964, 1974, 1981, 1989, 1992, 1996, 1998, 2010, 2014, 2016

II.5 Sunspot

Matahari adalah pusat tata surya yang memiliki energi sangat besar dan tak terbatas jumlahnya. Jarak bumi yang menempati urutan ke tiga dari matahari yaitu sekitar

149.680.000 kilometer membuat bumi merasakan dampak langsung dari peristiwa peristiwa matahari yang terjadi dari aktivitas matahari. Dimana aktivitas matahari yang dapat teramati hingga saat ini diantaranya adalah bintik matahari (sunspot), ledakan matahari (*flare*), CME (*Coronal Mass Ejection*) atau lontaran massa korona, dan badai matahari. Aktivitas-aktiivtas tersebut dapat diamati terjadi pada bagian luar matahari atau atmosfer matahari, yang mana bagian ini adalah bagian yang dapat diamati secara langsung dari bumi. Aktivitas-aktivitas yang terjadi sebagian besar dipicu oleh aktivitas bintik matahari yang mengalami evolusi atau perubahan kompleksitasnya (Elda, 2017).

Bintik matahari (Sunspot) merupakan fenomena yang paling mudah diamati dan merupakan ciri yang paling menonjol dari matahari. Pembentukan bintik matahari dipengaruhi oleh rotasi diferensial matahari. Ketika matahari berotasi, medan magnet akan mengalami puntiran karena rotasi cenderung lebih cepat di daerah khatulistiwa dan mengakibatkan ketidakstabilan struktur medan magnet matahari. Selama fase pertumbuhan sunspot antara 3 sampai 10 hari, *fluks* magnetik akan terus bertambah. Ketika mencapai puncak puntiran, intensitas medan magnet akan semakin kuat hingga akhirnya puntiran tersebut menembus keluar melewati lapisan fotosfer. Bintik matahari juga memiliki bagian-bagiannya sendiri, yang pertama adalah umbra atau disebut juga dengan bagian pusat bintik matahari yang merupakan bagian paling gelap pada bintik matahari dan merupakan bagian yang memiliki medan magnet terkuat (Elda, 2017).

Perubahan iklim dapat diamati dengan menggunakan data observasi dari kurun waktu yang lama. Salah satu komponen penting yang menentukan iklim adalah

adanya radiasi dari sinar matahari. Hubungan antara matahari dan bumi berkaitan erat dengan aktivitas matahari, seperti sunspot atau bintik matahari yang dapat memicu terjadinya *flare* dan *Coronal Mass Ejection* (CME). Aktivitas matahari menyebabkan perubahan-perubahan plasma dan partikel energetik dan mempengaruhi cuaca antariksa dan sekaligus juga akan mempengaruhi bumi dikarenakan matahari merupakan sumber energi terbesar bumi (Laily, 2020).

Sunspot (bintik/noda matahari) adalah daerah di lapisan fotosfer yang temperaturnya lebih rendah (4000 – 4500 K) dari pada daerah di sekelilingnya (6000 K) hal tersebut disebabkan oleh turunnya suhu di permukaan matahari. Ada dua jenis pengelompokan sunspot, yaitu klasifikasi Zurich dan klasifikasi Mount Wilson. Pada dasarnya sunspot dikelompokkan berdasarkan polaritasnya (unipolar/bipolar) dan kekompleksannya (apakah mempunyai penumbra atau tidak, banyak/sedikitnya titik sunspot dalam satu grup). *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) mencatat proses pemanasan global yang berlangsung telah mempengaruhi sedikitnya 420 lokasi hidup binatang dan tanaman di seantero Bumi. Terumbu karang laut makin banyak yang mati, karena suhu laut yang makin panas. Kekeringan juga menjadi hal biasa di beberapa wilayah Asia-Afrika, dan El Niño yang menyebabkan cuaca buruk di sebelah timur Pasifik, makin kerap muncul. Daratan es kutub juga mulai mencair. Pola-pola migrasi binatang seperti burung kutub, atau kupu-kupu, berubah secara drastis (Laily,2020).

II.6 Monsoon

Monsun merupakan sebuah fenomena cuaca dan iklim yang terjadi akibat adanya perbedaan panas antara daratan dengan lautan sebagai hasil dari *zenithal march* matahari yang dikemukakan oleh Edmund Halley pada tahun 1686 (Chang, 1984 dalam Sudiantoro, 2012). Monsun merupakan sebuah fenomena cuaca dan iklim yang terjadi akibat adanya perbedaan panas antara daratan dengan lautan sebagai hasil dari *zenithal march* matahari yang dikemukakan oleh Edmund Halley pada tahun 1686 (Chang, 1984 dalam Sudiantoro, 2012). Data angin zonal digunakan untuk mendapatkan indeks monsun Asia dan Australia, yaitu *Western North Pacific Monsoon Index* (WNPMI) dan *Australian Monsoon Index* (AUSMI) untuk melihat korelasinya dengan presipitasi/curah hujan (Noersomadi dan Trismidianto, 2010).

Monsun atau monsoon berasal dari bahasa Arab “Mausam” yang berarti musim. Monsun didefinisikan sebagai angin yang berubah arah selama setahun atau yang bertiup musiman dan merupakan sistem sirkulasi regional. Monsun merupakan rata-rata waktu (misalnya, bulanan) dari sistem konvektif daratan di daerah tropis (Chao dan Che, 2001 dalam Kaparang dan Hermawan, 2010).

Monsun dibagi menjadi dua bagian yaitu, Monsun Asia dan Monsun Australia. Secara umum diketahui bahwa monsun Asia Timur dan monsun Asia Selatan adalah dua subsistem yang berbeda di antara seluruh sistem monsun Asia, masing-masing memiliki karakteristik tersendiri karena kombinasi yang berbeda antara darat dan laut, posisi relatif berbeda terhadap dataran tinggi Tibet (Wan dan Fan, 1998: Ping, 2008 dalam Kaparang dan Hermawan, 2010). WNPMI (*Western North*

Pacific Monsoon Index) didefinisikan oleh Wang dan Fan tahun 1999 (Ma'arufi, 2012) merupakan perbedaan angin zonal paras 850 milibar antara wilayah selatan (100° BT – 130° BT, 5° LU – 15° LU) dan utara (110° BT – 140° BT, 20° LU – 30° LU).

Monsun Australia Berdasarkan kriteria Ramage (dalam Kaparang dan Hermawan, 2010) yang mengandalkan perbedaan sirkulasi atmosfer antara bulan Januari dan Juli, wilayah utara 25° S di Australia dapat digambarkan sebagai monsun. Berdasarkan hasil analisis massa udara di sekitar wilayah Australia dan pola sirkulasi di Samudera Hindia Timur dan proses pemanasan Australia Utara (Wheeler dan McBride, 2005 dalam Kaparang dan Hermawan, 2010) mengelompokkan arus monsun menjadi tiga jenis, yaitu *Pseudo Monsoon*, *Quasi Monsoon* dan *True Monsoon*.

Australian Monsoon Index (AUSMI) Monsun Australia, (Kajikawa, dkk, 2009) mendefinisikan indeks monsun Australia (AUSMI) dengan rata-rata angin zonal pada level 850 milibar di atas wilayah 110° BT – 130° BT, 5° LS – 15° LS. Indeks ini dapat menggambarkan monsun Australia skala luas dalam kaitannya dengan siklus musiman dan variabilitas tahunan.

II.7 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 California, 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)

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).

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 (Mantua et al., 1997; dan Zhang et al., 1997).

II.8 Madden Julian Oscillation (MJO)

Madden Julian Oscillation (MJO) merupakan salah satu fenomena iklim dengan siklus sekitar 30-60 harian yang dominan mempengaruhi keragaman iklim dalam skala intramusiman di berbagai wilayah. Kejadian MJO menyebabkan peningkatan kejadian curah hujan ekstrem, dimana selama fase aktifnya meningkatkan kejadian ekstrim hingga 40% dibandingkan dengan saat fase pasif. Fase MJO dapat diidentifikasi menggunakan data iklim harian, seperti curah hujan dan angin di berbagai wilayah (Evana et al., 2008).

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.

Madden Julian Oscillation (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).

Madden Julian Oscillation (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 Niño dan La Niña (Gottschalck, 2008).

II.9 Model *Multiple Regression* (MR)

Secara umum metode regresi digunakan untuk meramalkan nilai harapan yang bersyarat. Persamaan regresi adalah persamaan matematika yang dapat digunakan untuk meramalkan suatu variabel terikat (dependen atau prediktan) yang berasal dari satu atau lebih variabel bebas (independen atau prediktor). Persamaan regresi juga menggambarkan hubungan antara variabel-variabel yang ada di dalamnya. Nilai variabel terikat dinyatakan dengan konotasi Y dan nilai variabel bebas dinyatakan dengan konotasi X (Kutner *et al.*, 2004).

Regresi linier adalah metode statistik yang digunakan untuk membentuk model hubungan antara variabel terikat dengan satu atau lebih variabel bebas. Ketika variabel bebas hanya satu, maka regresi linier disebut sebagai regresi linier sederhana. Sedangkan jika variabel bebas berjumlah lebih dari satu, maka regresi linier disebut sebagai regresi linier berganda atau *Multiple Regression* (MR).

Analisis regresi linier mempunyai banyak kegunaan, antara lain sebagai tujuan deskripsi dari fenomena data atau kasus yang sedang diteliti, tujuan pengendalian dan tujuan prediksi. Regresi mampu mendeskripsikan fenomena data melalui terbentuknya suatu model hubungan yang bersifat numerik. Regresi juga dapat digunakan untuk melakukan pengendalian atau kontrol terhadap suatu kasus atau hal-hal yang sedang diamati melalui penggunaan model regresi yang diperoleh. Selain itu, model regresi juga dapat dimanfaatkan untuk melakukan prediksi untuk variabel terikat. Namun yang perlu diingat, prediksi di dalam konsep regresi hanya boleh dilakukan di dalam rentang data dari variabel-variabel bebas yang digunakan untuk membentuk model regresi tersebut (Kutner *et al.*, 2004).

Multiple Regression (MR) dapat dirumuskan sebagai berikut (Kutner *et al.*, 2004):

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

Y : Variabel terikat/ Hasil Regresi

$X_1X_2X_n$: Variabel Bebas/Prediktor

a : Konstanta

$b_1b_2b_n$: Koefisien Regresi

Untuk menentukan nilai a, b_1 , b_2 digunakan metode kuadrat terkecil (*Least Square*) dapat dirumuskan sebagai berikut (Kutner *et al.*, 2004):

$$\bar{X}_1 = \frac{\sum X_1}{N} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\bar{X}_2 = \frac{\sum X_2}{n} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\bar{X}_n = \frac{\sum n}{n} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$b_1 = \frac{(\sum X_2^2)(\sum X_1Y) - (\sum X_1X_2)(\sum X_2Y)}{(\sum X_1^2)(\sum X_2^2) - (\sum X_1X_2)^2} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$b_2 = \frac{(\sum X_1^2)(\sum X_2Y) - (\sum X_1X_2)(\sum X_1Y)}{(\sum X_1^2)(\sum X_2^2) - (\sum X_1X_2)^2} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$b_n = \frac{(\sum X_n^2)(\sum X_{n+1}Y) - (\sum X_nX_{n+1})(\sum X_nY)}{(\sum X_n^2)(\sum X_{n+1}^2) - (\sum X_nX_{n+1})^2} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$a = \bar{Y} - b_1\bar{X}_1 - b_2\bar{X}_2 - b_n\bar{X}_n \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

$\bar{X}_1\bar{X}_2\bar{X}_n$: Jumlah Rata-rata Variabel Bebas

\bar{Y} : Jumlah Rata-rata Variabel Terikat

n : Jumlah Data

Untuk persamaan regresi dimana Y merupakan nilai sebenarnya (observasi), maka persamaan menyertakan kesalahan (*error term / residual*) akan menjadi:

$$Y = a + \beta_1 X_1 + e \text{ (untuk regresi linear sederhana)}$$

$$Y = a + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + e \text{ (untuk regresi linear berganda)}$$

Dimana:

$X_1 X_2 X_n$: merupakan nilai sebenarnya suatu kasus (data variabel bebas)

A : konstanta

e : error

β : merupakan koefisien regresi jika hanya ada satu prediktor dan koefisien regresi parsial jika terdapat lebih dari satu prediktor. Nilai ini juga mewakili koefisien regresi baku (*standardized*) dan koefisien regresi tidak baku (*unstandardized*). Koefisien regresi ini merupakan jumlah perubahan yang terjadi pada Y yang disebabkan oleh perubahan nilai X . Untuk menghitung perubahan ini dapat dilakukan dengan cara mengkalikan nilai prediktor sebenarnya (observasi) untuk kasus (data) tertentu dengan koefisien regresi prediktor tersebut.

II.9.1 Uji Signifikan

Pengujian dilakukan dengan uji t . Koefisien regresi signifikan jika t hitung $>$ t table (nilai kritis). Dalam IBM SPSS dapat diganti dengan menggunakan nilai signifikansi (sig) dengan ketentuan sebagai berikut:

- a) Jika $\text{sig} < 0,05$; koefisien regresi signifikan
- b) Jika $\text{sig} > 0,05$; koefisien regresi tidak signifikan

11.9.2 Koefisien regresi baku (*Standardized regression coefficient*)

Nilai beta dalam regresi linier yang menggambarkan kekuatan dan arah hubungan linier (*linear association*) antara variabel tergantung (kriteria) dan variabel bebas (prediktor). Nilai ini disebut baku karena kisaran nilainya antara -1 sampai dengan 1. Jika nilainya semakin mendekati 1 maka hal tersebut menunjukkan hubungan antara kedua variabel semakin kuat dengan mengabaikan apakah positif atau negatif. Dengan demikian variabel bebas akan semakin kuat untuk digunakan memprediksi variabel tergantung. Karena prediktor–prediktor sudah distandarisasi maka hal tersebut memungkinkan untuk membandingkan kekuatan relatif hubungan atau bobot mereka dengan variabel tergantungnya. Jika tidak terdapat tanda (positif atau negatif), maka diinterpretasikan hubungan kedua variabel positif. Hubungan positif bermakna jika nilai pada prediktor tinggi, maka nilai pada variabel tergantung juga tinggi. Sebaliknya jika terdapat tanda negatif, maka hubungan kedua variabel tersebut negatif. Hubungan negatif mempunyai makna jika jika nilai pada prediktor tinggi, maka nilai pada variabel tergantung rendah. Koefisien dengan nilai sebesar 0,50 mempunyai makna bahwa untuk setiap kenaikan simpangan baku pada nilai prediktor, maka simpangan baku pada variabel tergantungnya naik sebesar 0,5 (Sarwono, 2006).

II.10 Verifikasi Prediksi

Verifikasi adalah proses menilai kualitas suatu prediksi (*forecast*). Dalam proses ini, suatu hasil prediksi dibandingkan dengan nilai pengamatan/observasi. Sebelumnya, perlu dilakukan secara kualitatif dengan menampilkan Gambar-Gambar hasil prediksi dengan nilai observasi (data). Pengertian kualitatif di sini

adalah untuk melihat kesesuaian (*visual-“eyeball”*) antara hasil prediksi dan observasi. Kita juga dapat membandingkan hasil prediksi secara kuantitatif dengan menentukan akurasi model sekaligus kesalahannya dalam memprediksi dengan menggunakan seperangkat formulasi matematik.

Ada 3 (tiga) alasan utama mengapa sebuah verifikasi dilakukan. Pertama, untuk memantau (*monitor*) akurasi prediksi dan apakah prediksi itu semakin lama semakin baik. Kedua, untuk meningkatkan (*improve*) kualitas prediksi. Hal ini bisa dimulai dengan menyelidiki kesalahan apa yang telah kita lakukan ketika memprediksi. Ketiga untuk membandingkan (*compare*) hasil-hasil prediksi beberapa model dalam memprediksi besaran/fenomena yang sama. Dari hasil perbandingan ini, kita akan menemukan model yang unggul dibanding model-model lainnya dan mengetahui letak/alasan keunggulan model tersebut (Halide, 2009).

II.10.1 Korelasi Pearson

Korelasi pearson adalah suatu bentuk rumus yang digunakan untuk mencari dan mengukur kemampuan asosiasi atau hubungan linear antara dua variabel yaitu variabel bebas (Independen) dan variabel terikat (dependen). Koefisien korelasi dinyatakan dalam (Halide, 2009) :

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan:

n = jumlah data

r = koefisien korelasi antara prediktor dan prediktan

x_i = data prediktor

y_i = data prediksi

Korelasi digunakan untuk menyatakan hubungan variabel satu terhadap variable yang lainnya yang dinyatakan dalam persen.

Tabel 2.2 Interpretasi dari Nilai r positif (hubungan searah) (Wilks, 2006).

r	Interpretasi
0	Tidak berkorelasi
0,01 s/d 0,20	Sangat rendah
0,21 s/d 0,40	Rendah
0,41 s/d 0,60	Agak rendah
0,61 s/d 0,80	Cukup
0,81 s/d 0,99	Tinggi
1	Sangat tinggi

Tabel 2.3 Interpretasi dari Nilai r negatif (hubungan berlawanan) (Wilks, 2006)

r	Interpretasi
0	Tidak berkorelasi
-0,01 s/d -0,20	Sangat rendah
-0,21 s/d -0,40	Rendah
-0,41 s/d -0,60	Agak rendah
-0,61 s/d -0,80	Cukup
-0,81 s/d -0,99	Tinggi
-1	Sangat tinggi

II.10.2 *Root Mean Square Error (RMSE)*

Nilai *Root Mean Square Error (RMSE)* diperoleh dengan cara menghitung nilai akar dari rata – rata kuadrat dari nilai kesalahan yang menggambarkan selisih antara

data observasi dengan nilai hasil prediksi. Dapat di hitung dengan persamaan (Halide, 2009):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i Y_i)^2}{n}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan:

X_i = Data variabel terikat

Y_i = Data prediksi

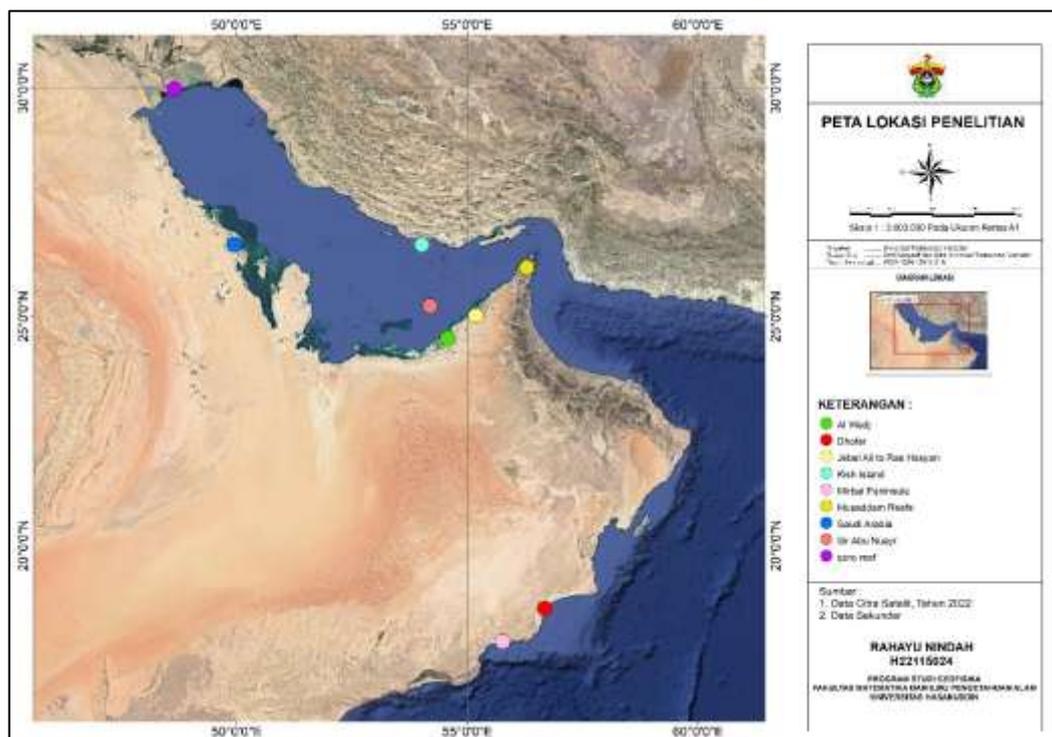
n_i = Jumlah data

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di wilayah *Arabian Gulf/Sea* yang terdiri dari 5 negara yakni Iran, Kuwait, Oman, Saudi Arabia, dan *United Arab Emirates*. Adapun titik terjadinya *coral bleaching* pada penelitian ini tersebar di 9 lokasi yaitu, Al Wadi, Dhofar, Jebel Ali to Ras Hasyan, Kish Island, Mirbat Peninsula, Musandam Reefs, Saudi Arabia, Sir Abu Nuayr, dan Quro Reef.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian