

Skripsi Geofisika

**PEMODELAN PENGARUH FAKTOR OSEAN
ATMOSFIR TERHADAP PEMUTIHAN KARANG
(*CORAL BLEACHING*) PADA TAHUN 2000-2019 DI
GREAT BARRIER REEF, AUSTRALIA**



OLEH:

NURZAKIA TRI UTARI

H221 16 018

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020



Optimized using
trial version
www.balesio.com

**PEMODELAN PENGARUH FAKTOR OSEAN ATMOSFIR
TERHADAP PEMUTIHAN KARANG (*CORAL BLEACHING*)
PADA TAHUN 2000-2019 DI GREAT BARRIER REEF,
AUSTRALIA**

Skripsi ini untuk melengkapi tugas-tugas dan memenuhi syarat untuk mencapai
gelar sarjana



OLEH:

NURZAKIA TRI UTARI

H221 16 018

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020



**PEMODELAN PENGARUH FAKTOR OSEAN ATMOSFIR TERHADAP
PEMUTIHAN KARANG (*CORAL BLEACHING*) PADA TAHUN 2000-2019
DI GREAT BARRIER REEF, AUSTRALIA**

OLEH :

NURZAKIA TRI UTARI

H221 16 018

SKRIPSI

Untuk memenuhi salah satu syarat ujian

Guna memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Pendidikan Sarjana, Departemen Geofisika ini


Telah disetujui oleh Tim Pembimbing pada tanggal

Seperti tertera di bawah ini

Makassar, 28 Agustus 2020

Disetujui Oleh:

Pembimbing Utama



**Prof Dr. Halmar Halide, M.Sc
NIP. 19630315 198710 1 001**

Pembimbing Pertama



**Drs. Hasanuddin, M.Si
NIP. 19571231 198003 1 021**



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurzakia Tri Utari

NIM : H22116018

Departemen : Geofisika

Judul TA : Pemodelan Pengaruh Faktor Osean Atmosfir Terhadap
Pemutihan Karang (*Coral Bleaching*) Pada Tahun 2000-
2019 Di Great Barrier Reef, Australia

Menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Hasanuddin atau Lembaga Penelitian lain kecuali kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang sudah lazim digunakan, karya tulis ini merupakan murni dari gagasan dan penelitian saya sendiri, kecuali arahan Tim Pembimbing dan masukan Tim Penguji.

Makassar, 28 Agustus 2020

Yang Membuat Pernyataan,



Nurzakia Tri Utari



ABSTRAK

PEMODELAN PENGARUH FAKTOR OSEAN ATMOSFIR TERHADAP PEMUTIHAN KARANG (*CORAL BLEACHING*) PADA TAHUN 2000-2019 DI GREAT BARRIER REEF, AUSTRALIA

Terumbu karang merupakan sumber daya terbarukan yang memiliki fungsi ekologis, sosial-ekonomis dan budaya yang sangat penting terutama bagi masyarakat pesisir dan pulau-pulau kecil yang mata pencahariannya bergantung pada perikanan laut dangkal. Sayangnya, terumbu karang di seluruh dunia terancam oleh serangkaian dampak yang meningkat, terutama dari perubahan iklim global yang dapat menyebabkan pemutihan karang (*coral bleaching*). Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan kejadian *coral bleaching* dengan sejumlah prediktor signifikan penyebab *coral bleaching* di Great Barrier Reef dengan menggunakan Model *Multiple Regression* (MR) dan untuk meverifikasi prediksi model tersebut. Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang terdiri dari data *Degree Heating Week* (DHW) yang digunakan untuk mendapatkan data kejadian *coral bleaching*, *Sea Surface Temperature* (SST), *Sea Surface Temperature Anomaly* (SSTA), ENSO (*Nino 3.4*), *Sunspot Serial Number* (SSN), Salinitas, dan *Pacific Decadal Oscillation* (PDO) mulai dari tahun 2000 sampai dengan tahun 2019. Metode yang digunakan yaitu metode *stepwise* untuk mengetahui prediktor osean atmosfer yang signifikan berpengaruh terhadap kejadian *coral bleaching* yang kemudian dilakukan pemodelan dan verifikasi prediksi model kejadian *coral bleaching* dengan sejumlah prediktor signifikan tersebut. Berdasarkan analisis berganda dari model kejadian *coral bleaching* menghasilkan lima prediktor yang signifikan terkait dengan kejadian *coral bleaching* yaitu diantaranya SALT 12, SSTA 2, SSTA 1, ENSO 9, dan SSTA 3 dengan nilai korelasi *pearson* sebesar 0.6448, dimana dari kelima prediktor signifikan tersebut SALT 12 merupakan prediktor yang paling berpengaruh terhadap kejadian *coral bleaching* dengan nilai koefisien standar beta tertinggi yaitu -243.015. Nilai persentase kebenaran yang diperoleh sebesar 89.97% sebagai hasil dari verifikasi model tersebut.

Kata kunci: Atmosfer; *Coral Bleaching*; Great Barrier Reef; Osean; Pemodelan; Verifikasi Prediksi.



ABSTRACT

MODELING THE EFFECT OF ATMOSPHERIC OCEAN FACTORS ON CORAL BLEACHING IN 2000-2019 IN GREAT BARRIER REEF, AUSTRALIA

Coral reefs are a renewable resource that has a very important ecological, socio-economic and cultural function, especially for coastal communities and small islands whose livelihoods depend on shallow marine fisheries. Unfortunately, coral reefs around the world are threatened by a series of increasing impacts, especially from global climate change which can cause coral bleaching. This study aims to model the incidence of coral bleaching with a number of significant predictors of coral bleaching on the Great Barrier Reef using the Multiple Regression (MR) Model and to verify the prediction of the model. The data used in this study is secondary data consisting of Degree Heating Week (DHW) data which is used to obtain data on the incidence of coral bleaching, Sea Surface Temperature (SST), Sea Surface Temperature Anomaly (SSTA), ENSO (Nino 3.4), Sunspot Serial Number (SSN), Salinity, and Pacific Decadal Oscillation (PDO) from 2000 to 2019. The method used is the stepwise method to determine predictors of ocean atmosphere which significantly affect the incidence of coral bleaching, then modeling and verifying the prediction of the coral bleaching event model with a number of these significant predictors. Based on multiple analyzes of the model for coral bleaching events, five predictors were significant related to the incidence of coral bleaching namely SALT 12, SSTA 2, SSTA 1, ENSO 9, and SSTA 3 with a Pearson correlation value is 0.6448, where of the five significant predictors SALT 12 was the predictor with the most influence on the incidence of coral bleaching with the highest standard beta coefficient value, namely - 243,015. The percentage value of truth obtained is 89.97% as a result of verifying the prediction of the model.

Key words: Atmosphere; Coral Bleaching; The Great Barrier Reef; Ocean; Modeling; Prediction Verification.



KATA PENGANTAR

“Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh”

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya yang telah diberikan kepada saya sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini yang berjudul “Pemodelan Pengaruh Faktor Osean Atmosfir Terhadap Pemutihan Karang (*Coral Bleaching*) Pada Tahun 2000-2019 Di Great Barrier Reef, Australia” sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) pada Program Sarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Geofisika Universitas Hasanuddin. Tak lupa kita panjatkan shalawat serta salam kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, yang telah menjadi suri tauladan yang baik bagi umatnya dan untuk berbuat kebaikan. Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari hambatan serta rintangan yang penulis hadapi namun pada akhirnya dapat melaluinya berkat Ridho Allah SWT dan bimbingan dari berbagai pihak baik secara moral maupun spiritual. Sebelumnya izinkan penulis untuk ucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada Orang Tua tercinta **Ayahanda Hajaruddin** dan **ibunda Endang Imit, S.Pd**, beserta kakak adik tersayang **Ika Nur Syafitri, Nur Annisa Dwiyanti, Nurul Fitri Ainun** dan juga kepada semua keluarga besar yang tak henti-hentinya mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis.



Penulis memahami tanpa bantuan, doa, dan bimbingan dari semua orang akan sulit untuk menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu penulis ingin pkan terima kasih sebesar-besarnya atas dukungan dan kontribusi dari

berbagai pihak baik moril maupun materil. Oleh karena itu dalam kesempatan ini pula, penulis menyampaikan ucapan terimakasih sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

1. Bapak **Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc** selaku Pembimbing Utama yang telah berkenan memberikan tambahan ilmu dan solusi dalam setiap permasalahan dalam penulisan skripsi ini, memberikan bimbingan, kepercayaan yang sangat berarti dan memberikan motivasi penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.
2. Bapak **Drs. Hasanuddin, M.Si** selaku pembimbing Pertama yang telah bersedia membimbing dan mengarahkan penulis selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak **Prof. Dr. Dadang Ahmad S, M.Eng** dan bapak **Dr. Eng. Amiruddin, S.Si., M.Si** selaku tim penguji yang telah memberikan kritik, saran dan masukan bersifat membangun kepada penulisan skripsi.
4. Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, S.Si., M.Si** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin sekaligus sebagai penasehat akademik yang telah memberikan masukan dan arahan terkait akademik kepada penulis.
5. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamza, M.Eng** selaku Ketua Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.



seluruh Bapak/Ibu dosen Departemen Geofisika, Staf FMIPA UNHAS, Staf Departemen Geofisika, Staf Laboratorium, Staf Perpustakaan

FMIPA UNHAS dan Staf Perpustakaan Umum atas semua bantuan dan ilmu yang telah diajarkan, pelayanan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis.

7. Kakak **Muh. Syafrizal S.Si., Marhaeni S, S.Si., dan Maghfira Sulva Salsabila, S.Si** yang telah memberikan bantuan dan motivasi kepada penulis dalam memulai penelitian ini, serta saran dan ilmunya kepada penulis.
8. **Sinar Indriani dan Abdi Nur Rajalau** selaku teman seperjuangan dalam mengerjakan tugas akhir, yang telah menjadi teman bertukar pikiran dan sama-sama memotivasi dalam pengerjaan tugas akhir.
9. Teman-teman seperjuangan di **Geofisika 2016 Hamdah, Eno, Kasma, Dian, Athaya, Khaeria, Cica, Debby, Lia, Ninda, Devi, Nurita, Diat, Ani, Santri, Sinar, Wiwi, Fara, Hira, Uni, Hasrina, Iis, Riana, Mira, Dewi, Wasti, Sadila, Marhaeni, Maghfira, Alam, Abdi, Agung, Iksan, Ayyub, Indra, Aushaf, Aso, Leo, Ulla, Adit, Mufly, Eki, Shabran, Fazrul, Ervin, Ari, Syarwan, Oland, William** yang telah memberikan dukungan dan berbagi ilmu selama perkuliahan.
10. Teman-teman seperjuangan di **HIMAFI FMIPA UNHAS 2016 dan KM FMIPA UNHAS 2016**, yang memberikan dukungan kepada penulis.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis namun tidak sempat penulis sebutkan dalam skripsi ini, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga Allah SWT membalas segala perbuatan baik saudara(i) dan menjadi amal ibadah disisi-Nya.



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PENUNJUK SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Ruang Lingkup.....	2
I.3 Rumusan Masalah.....	3
I.4 Tujuan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
II.1 <i>Coral Bleaching</i>	4
II.1.1 Defenisi <i>Coral Bleaching</i>	4
II.1.2 Peristiwa <i>Coral Bleaching</i> Great Barrier Reef.....	5
II.1.3 Faktor Penyebab <i>Bleaching</i>	8
.2 <i>El Niño Southern Oscillation</i> (ENSO).....	10
II.2.1 Defenisi ENSO.....	10
II.2.2 Indikator ENSO.....	13



II.2.3 Dampak ENSO.....	14
II.3 <i>Degree Heating Weeks</i> (DHW).....	16
II.4 Sea Surface Temperature (SST).....	18
II.5 Sunspot.....	19
II.6 Salinitas.....	20
II.7 <i>Pacific Decadal Oscillation</i> (PDO).....	20
II.8 Model <i>Multiple Regression</i> (MR).....	21
II.9 Verifikasi Prediksi.....	23
II.9 Metode Regresi <i>Stepwise</i>	23
II.10 Korelasi <i>Pearson</i>	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	26
III.1 Lokasi Penelitian.....	26
III.2 Data Penelitian.....	27
III.2.1 Data <i>Coral Bleaching</i>	27
III.2.2 Data SST (<i>Sea Surface Temperature</i>).....	27
III.2.3 Data ENSO (<i>Niño 3.4</i>).....	28
III.2.4 Data Sunspot Serial Number.....	28
III.2.5 Data Salinitas.....	28
III.2.6 Data PDO.....	28
III.3 Prosedur Penelitian.....	29
III.3.1 Tahap Persiapan dan pengumpulan Data.....	29
III.3.2 Tahap Pengolahan Data.....	29
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
7.1 Hasil.....	32



IV.1.1 Grafik Jumlah Kejadian <i>Coral Bleaching</i>	32
IV.1.2 Prediktor Signifikan Penyebab <i>Coral Bleaching</i>	34
IV.1.3 Model Klasifikasi <i>Coral Bleaching</i> Berdasarkan Kejadian dan Kategori <i>Bleaching</i>	36
IV.1.4 Diagram Tebar Data Observasi dan Data Prediksi Kejadian <i>Coral Bleaching</i>	37
IV.1.5 Pengaruh <i>Crown Of Thorns Starship</i> (COTS) Terhadap Kejadian <i>Coral Bleaching</i>	39
IV.1.6 Verifikasi Prediksi Model Statistik.....	41
IV.1.6.1 Korelasi <i>Pearson</i>	41
IV.1.6.2 <i>Standardized Coefficients</i> (Beta).....	41
IV.2 Pembahasan.....	43
IV.2.1 Model Klasifikasi <i>Coral Bleaching</i> Berdasarkan Kejadian dan Kategori <i>Bleaching</i>	43
IV.2.2 Verifikasi Prediksi Model Klasifikasi <i>Coral Bleaching</i> Berdasarkan Kejadian dan Kategori <i>Bleaching</i>	46
BAB V PENUTUP	47
V.1 Kesimpulan.....	47
V.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	54



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Interpretasi dari Nilai R positif (hubungan searah).....	25
Tabel 2.2 Interpretasi dari Nilai R negatif (hubungan berlawanan).....	25
Tabel 4.1 Nilai Koefisien dan Signifikan Beberapa Prediktor.....	34
Tabel 4.2 Kesesuaian Data Observasi Terhadap Data Prediksi	38



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Terumbu Karang Memutih.....	4
Gambar 2.2 Kondisi Terumbu Karang di Great Barrier Reef Saat Memasuki Masa Pemutihan (Bleaching).....	6
Gambar 2.3 Peristiwa Bleaching di Kawasan Australia dan Great Barrier Reef.....	7
Gambar 2.4 (A) Karang yang memutih di lereng terumbu utara Moorea, Polinesia Prancis, 1994. (B) Tampilan dekat pemutihan karang dari Pulau Lizard, Great Barrier Reef tengah; perhatikan polip yang sepenuhnya melebar meskipun tidak ada <i>zooxanthellae</i>	10
Gambar 2.5 Pola Sirkulasi Walker Keadaan Normal dan Keadaan <i>El-Nino</i>	11
Gambar 2.6 Dampak wilayah <i>El Niño</i>	15
Gambar 2.7 Bintik matahari (sunspot).....	19
Gambar 3.1 Lokasi Kejadian <i>Coral Bleaching</i> di Great Barrier Reef Periode 2000-2019. Jumlah Kejadian <i>Bleaching</i> Sebanyak 459 pada 15 Titik Lokasi.....	26
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian.....	31
Gambar 4.1 Grafik Jumlah Kejadian <i>Coral Bleaching</i> Tahunan.....	32
Gambar 4.2 Grafik Jumlah Kejadian <i>Coral Bleaching</i> Bulanan.....	33
Gambar 4.3 Klasifikasi <i>Coral Bleaching</i> berdasarkan kejadian dan kategori <i>bleaching</i>	36
Gambar 4.4 Diagram Tebar Hasil Prediksi Terhadap Observasi.....	38
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Jumlah Populasi Bintang Laut Mahkota Duri dengan Kejadian <i>Coral Bleaching</i> di Great Barrier Reef Tahun 2000-2019.....	40



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1.** Data Observasi Kejadian Coral Bleaching (titik lokasi Agincourt Reef sebagai perwakilan data untuk semua titik lokasi)
- Lampiran 2.** Data *Sea Surface Temperature* (SST)
- Lampiran 3.** Data *Sea Surface Temperature Anomaly* (SSTA)
- Lampiran 4.** Data Salinitas
- Lampiran 5.** Data *Pacific Decadal Oscillation* (PDO)
- Lampiran 6.** Data *Sunspot Serial Number* (SSN)
- Lampiran 7.** Data *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) (*Nino 3.4*)
- Lampiran 8.** Jumlah Kejadian Coral Bleaching Tahunan
- Lampiran 9.** Jumlah Kejadian Coral Bleaching Bulanan



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Terumbu karang adalah sekumpulan hewan karang yang bersimbiosis dengan sejenis tumbuhan alga yang disebut *zooxanthellae*. Terumbu karang termasuk dalam jenis filum *Cnidaria* kelas *Anthozoa* yang memiliki tentakel (aziz salam., 2013). Terumbu karang merupakan sumber daya terbarukan yang memiliki fungsi ekologis, sosial-ekonomis dan budaya yang sangat penting terutama bagi masyarakat pesisir dan pulau-pulau kecil yang mata pencahariannya bergantung pada perikanan laut dangkal (Ayyub *et al.*, 2018). Sayangnya, terumbu di seluruh dunia terancam oleh serangkaian dampak yang meningkat, terutama dari perubahan iklim global, praktik penangkapan ikan yang tidak berkelanjutan, dan polusi berbasis lahan (NOAA, 2020), khususnya di Great Barrier Reef (GBR) yang merupakan sistem terumbu karang terbesar di dunia dan menyediakan habitat bagi ekosistem laut tropis yang sangat beragam (Hancock *et al.*, 2006).

Great Barrier Reef (GBR) merupakan studi kasus yang sangat relevan untuk menginvestigasi lintasan ekosistem dan mitigasi potensial, karena ini adalah ekosistem terumbu karang terbesar di dunia, yang mengandung ~3.000 terumbu karang individu dalam area seluas 345.000 km². Nilai-nilai universalnya yang luar biasa diakui oleh daftar Warisan Dunia pada tahun 1981. (De'ath *et al.*, 2012). Di Great Barrier Reef, perubahan iklim diperkirakan akan meningkatkan frekuensi dan keparahan kejadian pemutihan karang.



Perubahan iklim menyebabkan peningkatan suhu global yang berdampak negatif terhadap terumbu karang, menghasilkan peningkatan frekuensi pemutihan skala besar. Karang hidup di habitat tertentu, membutuhkan kisaran salinitas, nutrisi, dan suhu yang terbatas. Bahkan fluktuasi kecil 1°C (selama beberapa minggu) di atas kisaran ini dapat menekan karang, yang kemudian mengeluarkan *zooxanthellae* simbiosis intraselulernya yang menyebabkan pemutihan karang (Monroe *et al.*, 2018). Peningkatan suhu permukaan laut yang memecahkan rekor membawa pemutihan karang massal terburuk yang tercatat di Taman Laut Great Barrier Reef (GBR) pada musim panas tahun 2015-2016 di Australia. Hal ini menyebabkan sekitar 29% kematian terkait pemutihan semua karang air dangkal di GBR, dengan >75% dari kehilangan karang ini terjadi di bagian paling utara (Frade *et al.*, 2018).

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan yang sebelumnya telah dilakukan oleh (Marhaeni, 2019) untuk data tahun 1996-2010. Dalam penelitian ini penulis menggunakan analisis model statistik dengan menggunakan Model *Multiple Regression* (MR) untuk memodelkan kejadian *coral bleaching*.

I.2 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi oleh analisis data *bleaching* (pemutihan) pada terumbu karang dalam rentang waktu tahun 2000 sampai dengan tahun 2019 yang dipengaruhi oleh faktor osean atmosfer di kawasan Great Barrier Reef. Analisis



statistik yang digunakan pada penelitian ini yaitu Model *Multiple Regression* (MR) untuk mengidentifikasi sejumlah prediktor signifikan yang berkaitan dengan kejadian *coral bleaching* di Great Barrier Reef, dan untuk

mengukur akurasi prediksi model kejadian *coral bleaching* menggunakan korelasi *pearson* dan persentase kebenaran.

I.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana membuat model kejadian *coral bleaching* dengan sejumlah prediktor signifikan yang terkait dengan kejadian *coral bleaching* di Great Barrier Reef menggunakan model *Multiple Regression* (MR)?
2. Bagaimana memverifikasi prediksi model kejadian *coral bleaching* di Great Barrier Reef menggunakan korelasi *pearson* dan persentase kebenaran?

I.4 Tujuan

Adapun tujuan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Untuk membuat model kejadian *coral bleaching* dengan sejumlah prediktor signifikan yang terkait dengan kejadian *coral bleaching* di Great Barrier Reef menggunakan model *Multiple Regression* (MR).
2. Untuk memverifikasi prediksi model kejadian *coral bleaching* di Great Barrier Reef menggunakan korelasi *pearson* dan persentase kebenaran.



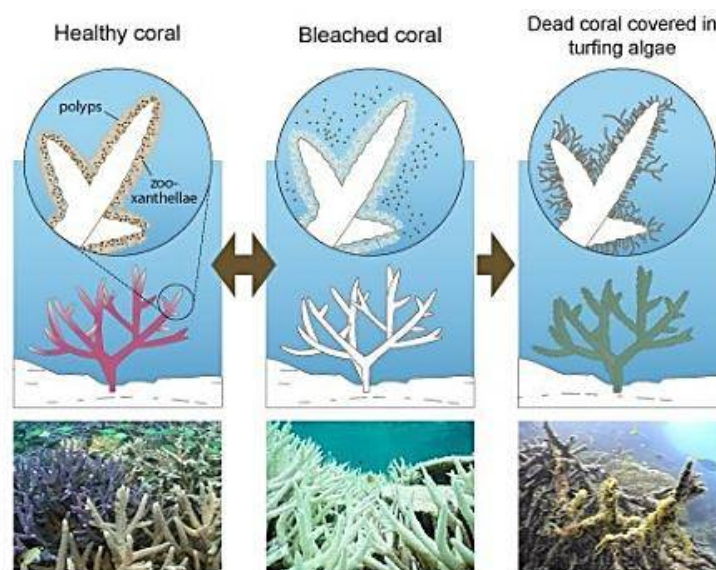
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 *Coral Bleaching*

II.1.1 Defenisi *Coral Bleaching*

Pemutihan karang merupakan respon yang biasa terjadi terhadap karang *scleractinia* dan *alcyonaria*, kima, dan *anemon* yang menyebabkan populasi *symbiodinium* (alga *zooxanthellae*) keluar/terdegradasi meninggalkan jaringan karang yang menyebabkan pucat atau putih. Kejadian pemutihan karang massal terjadi melibatkan banyak spesies karang yang cenderung menggambarkan stress lingkungan yang ekstrim. Pemutihan karang massal bisa dikorelasikan dengan gangguan spesifik seperti temperatur air yang ekstrim tinggi atau rendah, radiasi matahari, sedimentasi, masukan air tawar, kontaminasi/toksik dan penyakit (Setiawan *et al.*, 2017).



ambar 2.1 Mekanisme Terumbu Karang Memutih ([Fernandez](#), 2016)

Faktor peningkatan suhu air laut seringkali diasosiasikan dengan pemanasan global dimana karang termasuk fauna dengan toleransi suhu yang rendah dikarenakan peningkatan suhu sebesar $1^{\circ}\text{C} - 1,5^{\circ}\text{C}$ diatas rata-rata diketahui sudah dapat memicu terjadinya pemutihan karang. Meskipun batas toleransi karang terhadap suhu bervariasi antar spesies atau antar daerah pada spesies yang sama, tetapi hewan karang dan organisme terumbu karang hidup dengan suhu yang dekat batas atas toleransinya (Setiawan *et al.*, 2017).

Pemutihan karang adalah masalah serius yang mengancam sistem terumbu karang dunia, dipicu oleh suhu permukaan laut yang tinggi (SST) yang menjadi lebih umum sebagai akibat dari pemanasan global (Spilman dan Alves., 2009).

II.1.2 Peristiwa *Coral Bleaching* di Great Barrier Reef

Peristiwa pemutihan karang merupakan indikator yang bagus akan adanya tekanan lingkungan seperti peningkatan suhu permukaan laut selama El Nino (Setiawan *et al.*, 2017). Pemutihan karang juga terjadi selama fase dingin ENSO (La Nina) pada area-area yang cenderung mengalami peningkatan suhu (Buddemeier *et al.*, 2004). Empat peristiwa pemutihan massal telah direkam di Great Barrier Reef (GBR) yang ikonis di Australia dan semuanya telah dikaitkan dengan SST yang sangat tinggi. Musim panas 1997-1998 adalah, pada saat itu, peristiwa pemutihan paling luas yang diamati pada GBR, dengan ~42% terumbu menunjukkan tanda-tanda pemutihan. GBR mengalami peristiwa pemutihan skala

1 hanya 4 tahun kemudian pada tahun 2002, yang mempengaruhi ~54%
Dalam kedua kasus, pemutihan yang parah sebagian besar diamati pada
pantai (Berkelmans *et al.*, 2004)



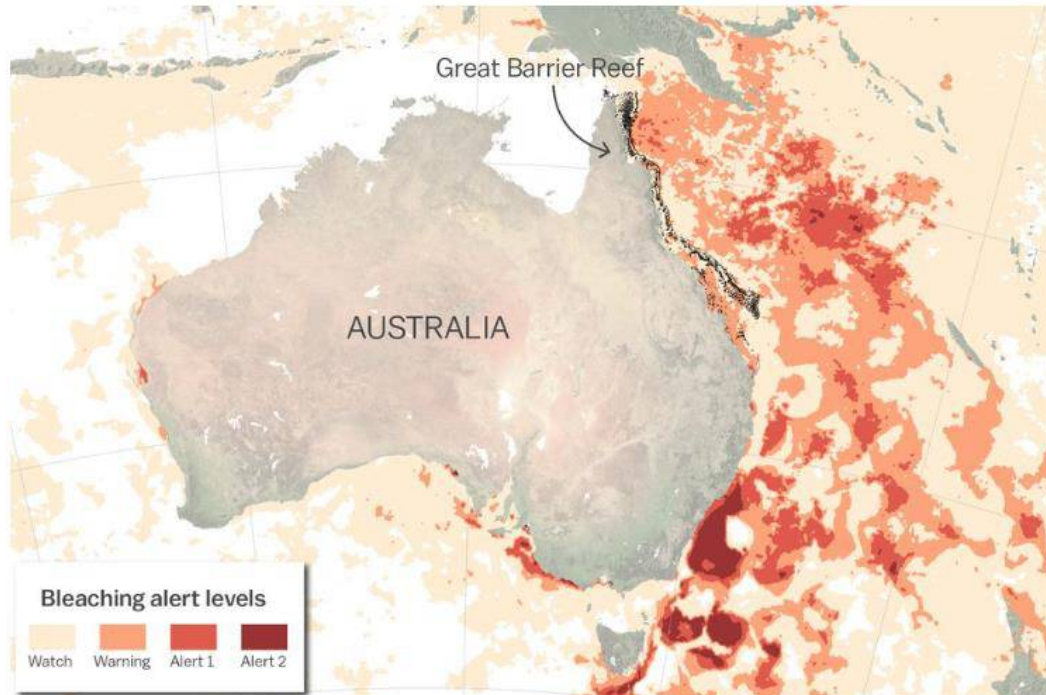


Gambar 2.2 Kondisi Terumbu Karang di Great Barrier Reef Saat Memasuki Masa Pemutihan (Bleaching) (Adams, 2017).

Pemutihan yang paling parah dan meluas pada GBR terjadi pada tahun 2016, ketika survei komparatif menunjukkan sekitar 91% terumbu menunjukkan tanda-tanda pemutihan, dengan pemutihan parah yang menyebabkan kematian luas di sepertiga utara GBR. Ini diikuti oleh pemutihan *back-to-back* tercatat pertama pada tahun 2017, yang mempengaruhi setidaknya sepertiga dari GBR dan atol terpencil di Laut Koral (Hughes & Kerry, 2017). Namun, baik data satelit dan studi lapangan lokal menunjukkan bahwa tidak semua terumbu karang sama-sama terpapar pada peristiwa tekanan suhu yang hebat. Bahkan di mana pun mereka berada, karang menunjukkan variasi lokal dan regional serta respons spesifik spesies terhadap stres termal (Sully *et al.*, 2019). Dalam setiap kasus, jejak geografis pemutihan pada GBR sangat berkorelasi dengan intensitas dan durasi

SST, sebuah pola yang mencerminkan respons karang terhadap anomali global (DeCarlo & Harrison, 2019).





Gambar 2.3 Peristiwa Bleaching di Kawasan Australia dan Great Barrier Reef (NOAA's Coral Reef Watch, 2016).

Peristiwa pemutihan karang massal, terbukti sebagai episode stres skala regional di terumbu karang, telah terjadi setidaknya selama dua dekade terakhir. Peristiwa pemutihan telah terjadi sebelum tahun 1980-an, tetapi sulit untuk mengukur tingkat spasial atau intensitas relatif dari episode ini karena kurangnya pelaporan, dokumentasi, dan pemahaman. Peristiwa pemutihan termal yang dilaporkan pertama kali terjadi pada tahun 1911 di Bird Key Reef di Florida Keys ketika sejumlah besar karang 'terluka' selama kondisi cuaca yang sangat panas dan tenang, yang juga menewaskan banyak ikan, Diadema, dan moluska (Mayer dalam Berkelmans et al., 2004). Pada tahun 1929, peristiwa pemutihan tercatat di s di GBR, juga selama kondisi yang panas dan tenang, yang membunuh dataran terumbu (Yonge dan Nicholls dalam Berkelmans *et al.*, 2004).



Sejak 1979, jumlah, skala, dan intensitas kejadian pemutihan karang yang dilaporkan telah tumbuh secara dramatis dan tren ini telah dikaitkan dengan perubahan iklim (Hoegh-Guldberg, 1999). Peristiwa pemutihan karang massal tidak selalu mempengaruhi semua terumbu di provinsi terumbu selama episode pemutihan dan jarang terumbu yang memutih yang sama-sama sangat parah. Sebuah survei udara pemutihan karang di Great Barrier Reef selama peristiwa tahun 1998, yang terburuk dalam catatan hingga saat itu, menunjukkan bahwa hingga 72% dari terumbu karang yang disurvei di pantai dan 13% daratan tidak tersentuh. Selain itu, tingkat keparahan pemutihan berkisar dari sedang (1-10% dari tutupan) hingga ekstrim (> 60% dari tutupan) dengan semua terumbu dalam kategori terakhir terjadi di tepi pantai dan menambal karang dan tidak ada yang terjadi di lepas pantai (Berkelmans *et al.*, 2004).

II.1.3 Faktor Penyebab *Bleaching*

Pemutihan karang terjadi karena suhu permukaan laut dan tingkat sinar ultraviolet matahari yang tinggi, sehingga mempengaruhi psikologi karang dan menimbulkan efek pemutihan yang disebut *bleaching* (Salim, 2012). Peningkatan suhu air dan kejadian pemutihan massal sebagian besar bukti menunjukkan bahwa suhu yang meningkat adalah penyebab terjadinya pemutihan massal. Peningkatan suhu air dengan cepat menyebabkan *zooxanthellae* meninggalkan jaringan karang, pembangun karang dan invertebrata lainnya yang mengakibatkan berkurangnya jumlah *zooxanthellae* di jaringan inang (Hoegh-Guldberg, 1999). Dimana alga simbiosis (*zooxanthella*) merupakan tempat bergantungnya *polip* karang mendapatkan makanan.



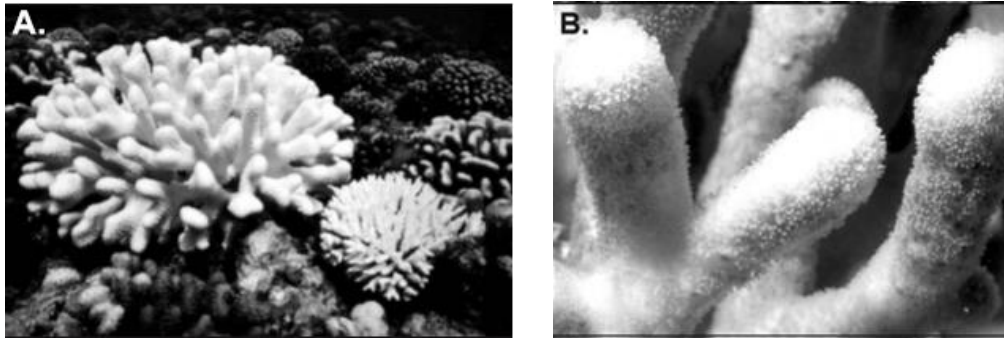
Keadaan pemutihan karang yang terlalu lama (lebih dari 10 minggu) dapat menyebabkan kematian *polip* karang pada akhirnya. Kenaikan suhu permukaan laut merupakan isu global yang harus di sikapi dengan bijaksana. Diperkirakan kenaikan suhu permukaan air laut antara 1°C – 2°C hingga satu abad mendatang, kejadian pemutihan karang akan menjadi peristiwa yang biasa pada waktu 30-50 tahun mendatang (Salim, 2012).

Dampak lainnya terus mengancam kelangsungan terumbu karang adalah adanya sedimentasi dan pencemaran perairan laut, penggunaan lahan yang tak terencana, eksploitasi sumber daya laut yang berlebihan dan metode penangkapan ikan yang merusak, juga pembuangan limbah dan polusi dari kapal-kapal, pengerukan, reklamasi, penambangan pasir, semuanya dapat mengurangi pertumbuhan karang bahkan menyebabkan pemutihan karang dalam kasus-kasus yang berat (Salim, 2012).

Faktor-faktor lain seperti berkurangnya salinitas dapat menyebabkan hilangnya warna pada karang. Sebagai contoh, dalam beberapa kasus pemutihan disebabkan oleh berkurangnya salinitas, hilangnya jaringan karang dapat dikacaukan dengan hilangnya *zooxanthellae* yang merupakan karakteristik dari pemutihan massal. Karang bertahan hidup dari salinitas hingga 23 (dua pertiga kekuatan air laut) tetapi kemudian mati, dengan jaringan mengelupas untuk mengungkapkan kerangka putih di bawahnya. Karakteristik utama dari peristiwa pemutihan massal



adalah bahwa jaringan inang tetap pada kerangka tetapi relatif bebas dari *ellae* (Gbr. B). (Hoegh-Guldberg, 1999).



Gambar 2.4 (A) Karang yang memutih di lereng terumbu utara Moorea, Polinesia Prancis, 1994. (Fotografer: R. Grace/Greenpeace International.) (B) Tampilan dekat pemutihan karang dari Pulau Lizard, Great Barrier Reef tengah; perhatikan polip yang sepenuhnya melebar meskipun tidak ada *zooxanthellae*. (Fotografer: O. Hoegh-Guldberg) (Hoegh-Guldberg, 1999).

Pemutihan karang juga terjadi selama fase dingin ENSO (*La Niña*) pada area-area yang cenderung mengalami peningkatan suhu. Kejadian El Nino terakhir yaitu tahun 2015-2016 dimana merupakan kejadian terkuat yang pernah didata yang memicu terjadinya pemutihan karang massal yang ke empat dalam sejarah terumbu karang dunia. *El Niño* yang terjadi tahun 2015-2016 menyebabkan kematian dan pemutihan karang yang signifikan di seluruh dunia (Hoegh-Guldberg, 1999).

II.2 *El Niño Southern Oscillation* (ENSO)

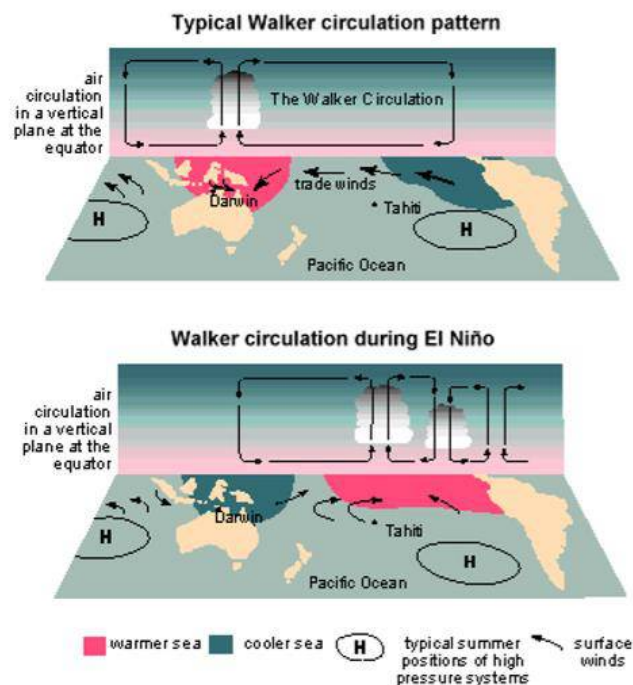
II.2.1 Definisi ENSO

El Niño Southern Oscillation (ENSO) merupakan pola berulang dari variabilitas iklim di bagian timur samudera Pasifik yang ditandai dengan anomali temperatur permukaan laut (penghangatan permukaan laut menggambarkan kejadian *El Niño*

dan pendinginan permukaan laut menggambarkan kejadian *La Niña*) dan *Sea level pressure* (*Southern Oscillation*) (Naylor, dkk, 2001 dalam As-



syakur, 2010). Pada tahun-tahun normal, suhu muka laut di sebelah Utara dan Timur Laut Australia bernilai ≥ 28 °C sedangkan suhu muka laut di Samudera Pasifik sekitar Amerika Selatan bernilai ± 20 °C (Tongkukut, 2011). Dalam kondisi normal tersebut, angin equatorial berhembus ke arah barat membantu proses konveksi di Pasifik Barat dan subsidensi di Pasifik Timur (Yananto dan Dewi, 2016).



Gambar 2.5 Pola Sirkulasi *Walker* Keadaan Normal dan Keadaan *El-Niño* (Tongkukut, 2011).

Sel sirkulasi vertikal tersebut disebut sebagai sirkulasi *Walker* (Gambar 2.5 bagian atas), dimana terjadi gerak naik di bagian Barat dan turun di Timur Samudera Pasifik Tropis dengan pergerakan ke arah Timur di Troposfer atas dan Dewi, 2016). Pada Gambar 2.5 memperlihatkan suhu muka laut di Pasifik Barat yang lebih dingin menyebabkan tekanan udara di atasnya tinggi dan udarapun cenderung bergerak turun lalu bergerak ke daerah



dengan tekanan lebih rendah artinya di atas permukaan laut di Pasifik Barat equator angin akan bergerak ke timur (Sarachik, 2010 dalam Tongkukut, 2011). Hal ini menyebabkan massa udara yang mengandung uap air di atas Australia, Indonesia dan sekitarnya akan terdorong ke timur sehingga secara langsung akan mengurangi potensi hujan (Tongkukut, 2011).

ENSO adalah unik di antara fenomena iklim dalam kekuatan, prediktabilitas, dan pengaruh globalnya, yang diproyeksikan melampaui Pasifik tropis melalui telekoneksi atmosfer yang memengaruhi pola variabilitas cuaca di seluruh dunia (McPhaden *et al.*, 2006). ENSO menggambarkan variasi aperiodik dalam iklim atmosfer lautan Pasifik tropis, yang karena hubungan yang beroperasi melalui sirkulasi atmosfer berskala besar yang disebut *teleconnections*, menyebabkan anomali iklim di banyak bagian tropis dan ekstra-tropis (Lough, 2007).

Selama peristiwa-peristiwa *El Niño* yang khas, sirkulasi musim panas lebih lemah dari biasanya terkait dengan tekanan permukaan laut yang lebih tinggi dan lebih banyak angin selatan-timur. Jumlah awan berkurang dengan akibat radiasi yang lebih tinggi dan curah hujan dan aliran sungai jauh lebih rendah dari normal. Selama acara *La Niña* yang khas, sirkulasi musim panas lebih kuat dari biasanya dengan tekanan permukaan laut yang lebih rendah dan lebih banyak angin barat laut. Jumlah awan, curah hujan, dan aliran sungai lebih tinggi dari rata-rata (Lough, 2007).



II.2.2 Indikator ENSO

The *Southern Oscillation* adalah komponen atmosfer *El Niño*. Kekuatan *Southern Oscillation* diukur oleh *Southern Oscillation Index* (SOI). SOI dihitung dari fluktuasi perbedaan tekanan udara permukaan antara Tahiti (di Pasifik) dan Darwin, Australia (Samudera Hindia).

1. Ketika SOI positif (+) merupakan indikasi terjadinya *La Niña*. Tandanya adalah SLP (Sea Level Pressure) di daerah sekitar Darwin berada lebih rendah dari pada normalnya, sedangkan di Tahiti SLP lebih tinggi dibanding normalnya. Gerakan Timuran akan menguat dan membuat kolam panas mengumpul di Darwin. Kondisi inilah yang disebut sebagai *La Niña* (Allan *et al.*, 1991).
2. Sedangkan jika indeks SOI negatif (-) merupakan indikasi terjadi *El Niño*, yang dimana kondisi SLP di Darwin lebih besar dibandingkan normalnya, sedangkan SLP di daerah Tahiti lebih rendah dibanding normalnya. Sementara kondisi SLP di Tahiti jauh lebih besar dibanding SLP di daerah timur Pasifik. Gerakan timuran yang melemah akan mendukung kolam panas mengumpul di daerah timur Pasifik. Kondisi inilah yang disebut dengan *El Niño* (Allan *et al.*, 1991).
3. *El Niño* ditandai dengan ONI positif lebih besar dari atau sama dengan + 0,5 °C. *La Niña* ditandai dengan ONI negatif kurang dari atau sama dengan -0,5 °C. Menurut standar historis, untuk diklasifikasikan sebagai episode *El Niño* atau *La Niña* yang lengkap, ambang ini harus dilampaui



untuk periode setidaknya 5 musim 3 bulan berturut-turut yang tumpang tindih (NOAA, 2020).

II.2.3 Dampak ENSO

El Niño terkait erat dengan osilasi atmosfer global yang dikenal sebagai Southern Oscillation (SO). Selama episode *El Niño*, tekanan yang lebih rendah dari normal diamati di Pasifik tropis timur dan tekanan lebih tinggi dari normal ditemukan di Indonesia dan Australia utara. Pola tekanan ini dikaitkan dengan angin timur khatulistiwa yang lebih lemah dari normal dekat-permukaan (timur-ke-barat). Fitur-fitur ini mencirikan fase hangat dari SO, yang sering disebut sebagai episode *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) (CPC, 2012).

Terkadang suhu permukaan laut di Pasifik ekuatorial lebih dingin dari biasanya. Episode dingin ini, kadang-kadang disebut sebagai episode *La Niña*, ditandai oleh tekanan yang lebih rendah dari normal di Indonesia dan Australia utara dan lebih tinggi dari tekanan normal di Pasifik tropis timur. Pola tekanan ini dikaitkan dengan peningkatan angin timur khatulistiwa dekat permukaan di atas Pasifik khatulistiwa tengah dan timur (CPC, 2012).

Nilai ENSO dapat ditunjukkan dengan Oceanic Nino Index (ONI) serta perubahan suhu permukaan laut (Nabilah *et al.*, 2017). Anomali suhu permukaan laut sangat mempengaruhi ekosistem di laut salah satunya terumbu karang. Adanya fenomena seperti ENSO menjadi faktor lain yang menyebabkan SPL (Suhu Permukaan Laut)

airan meningkat atau menurun (Sugianto *et al.*, 2018). Saat terjadinya *El Niño*, airan panas dari perairan Pasifik bagian barat menuju ke daerah perairan



Pasifik bagian timur yang lebih dingin yang mengakibatkan peningkatan suhu permukaan laut secara signifikan (Setiawan *et al.*, 2017). Kejadian *El Niño* terakhir yaitu tahun 2015-2016 dimana merupakan kejadian terkuat yang pernah didata yang memicu terjadinya pemutihan karang massal yang keempat dalam sejarah terumbu karang dunia (Schiemeier, 2015).



Gambar 2.6 Dampak wilayah *El Niño* (CPC, 2012)

Pada kejadian *El Niño*, warna merah menunjukkan kondisi hangat, warna biru menunjukkan kondisi basah dan hangat, warna cokelat menunjukkan kondisi kering. Warna kuning menunjukkan kondisi kering dan hangat. Warna biru tua yaitu kondisi basah dan sejuk (CPC, 2012).

Perbedaan kekuatan sirkulasi monsun musim panas dengan ENSO juga menghasilkan perbedaan nyata dalam terjadinya siklon tropis di sepanjang GBR dengan aktivitas yang jauh lebih sedikit selama tahun-tahun *El Niño*. Secara keseluruhan, tingkat gangguan pada GBR tampaknya lebih besar selama peristiwa *La Niña* ketika sirkulasi musim panas yang lebih kuat dan aktivitas siklon tropis

tingkat menyebabkan peningkatan curah hujan dan aliran sungai. Hal ini inan menyebabkan berkurangnya salinitas dan kekeruhan air GBR yang gi dan meningkatnya tingkat gangguan fisik (Lough, 2007).



II.3 Degree Heating Weeks (DHW)

Degree Heating Weeks (DHW) adalah akumulasi anomali suhu yang melebihi maksimum rata-rata SST bulanan untuk wilayah tertentu selama periode 12 minggu bergulir. Hanya anomali ≥ 1 °C yang digunakan berdasarkan asumsi bahwa anomali < 1 °C SST tidak cukup untuk menyebabkan tekanan yang terlihat pada karang. Dua DHW setara dengan dua minggu SST anomali konstan pada 1 °C, satu minggu pada 2 °C, dan sebagainya. Nilai-nilai DHW $> 4,0$ °C-minggu dianggap menginduksi pemutihan, dan nilai-nilai DHW $> 8,0$ °C-minggu diperkirakan menghasilkan pemutihan yang meluas dan beberapa kematian (Kayanne, 2016).

Nilai ambang batas DHW divalidasi oleh peristiwa pemutihan yang terjadi di Great Barrier Reef pada tahun 1998 dan 2002, Kepulauan Hawaii barat laut pada tahun 2002, dan Bermuda pada tahun 2003, di Kepulauan Ryukyu pada tahun 2001, dan di Karibia pada tahun 2005 (Kayanne, 2017). Derajat Pemanasan Mingguan (DHW) telah menjadi prediktor global standar pemutihan, dengan 1 DHW didefinisikan sebagai 1 °C di atas klimatologi jangka panjang untuk bulan terhangat di lokasi tertentu. Pemutihan parah umumnya terjadi pada 8 DHW dan di atas 16 (Sully *et al.*, 2019).

Melalui program Coral Reef Watch (CRW) oleh NOAA yang mengembangkan metode untuk mengestimasi potensi pemutihan karang menggunakan suhu



an laut diperoleh produk *Hotspot* (HS) dan *Degree Heating Week*. *Hotspot* adalah daerah dimana SPL naik hingga melebihi maksimal tahunan (suhu tertinggi pertahun dari rata-rata selama 10 tahun) di

lokasi tersebut. Apabila *Hotspot* 1 °C diatas maksimal tahunan bertahan selama 10 minggu atau lebih, maka fenomena pemutihan pasti terjadi (NOAA, dalam Westmacott *et al.*, 2000). Dampak gabungan dari tingginya SPL dan tingginya tingkat sinar matahari (pada gelombang panjang ultraviolet) dapat mempercepat proses pemutihan dengan mengalahkan mekanisme alami karang untuk melindungi dirinya sendiri dari sinar matahari yang berlebihan (Sjafrie, 2014).

Kejadian pemutihan karang diperoleh dari analisis spasial dan temporal terhadap nilai HS dan DHW. HS diperoleh dari selisih antara SPL harian dan SPL rata-rata harian. Nilai HS digunakan untuk menghitung DHW yang menunjukkan lama tinggal HS (°C-minggu), semakin tinggi nilai DHW menunjukkan semakin lama $HS \geq 1^\circ C$ mendiami suatu perairan atau wilayah. DHW dihitung apabila nilai $HS \geq 1^\circ C$ di atas kondisi normal (Sugianto *et al.*, 2018). DHW di suatu titik (pixel) dihitung menggunakan persamaan berikut (Wouthuyzen *et al.*, 2015):

$$DHW_{Feb-Jul 2010} = (HS_{Feb} + HS_{Mar} + HS_{Apr} + HS_{Mei} + HS_{Jun} + HS_{Jul}) \times 4$$

Angka 4 diperoleh dari 1 bulan = 4 minggu. $DHW \leq 4$ menandakan koral mengalami akumulasi stres karena suhu laut naik 1 °C selama 4 minggu. DHW berkisar 4-8 menandakan koral mengalami pemutihan karang yang cukup nyata, sedangkan $DHW > 8$ koral mengalami pemutihan dengan sebaran yang luas dan dapat mematikan koral. Nilai DHW bisa disebut juga sebagai indeks pemutihan karang dan digunakan untuk mengungkapkan kejadian *bleaching*.



II.4 Sea Surface Temperature (SST)

Suhu permukaan laut (SST) adalah variabel penting yang dapat lebih memahami interaksi antara laut dan atmosfer. Suhu permukaan air laut biasanya berkisar 27 °C – 29 °C di daerah tropis dan 15 °C – 20 °C di daerah subtropis. Suhu ini menurun secara teratur menurut kedalaman (Smith dan Reynolds, 2003). Pemutihan terumbu karang yang baru-baru ini terjadi telah diamati di Great Barrier Reef, pantai Pasifik Panama, dan di Laut Karibia telah berkorelasi dengan suhu permukaan laut anomali tinggi yang diduga menyebabkan pengusiran *zooxanthellae* dari inangnya (Lesser *et al.*, 1990).

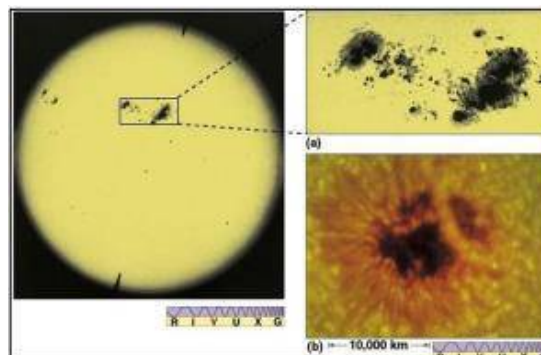
Pada kondisi yang tertekan, seperti kenaikan suhu dan intensitas cahaya, akan lebih banyak berpengaruh terhadap alga, terutama dalam proses fotosintesa. Berkaitan dengan tampilan warna, karang dan alga merupakan bentuk simbiosis yang obligat. Artinya, bahwa karang tidak akan dapat nampak berwarna tanpa adanya alga. Alga memiliki beberapa jenis *klorofil*, seperti *klorofil a*, *b*, *c*, dan *d* juga berbagai macam pigmen, misalnya *fikosianin*, *karoten*, dan *xantofil* pada alga hijau, *fikoeritrin* pada alga merah (*Rhodophyta*) dan *fukoksantin* pada alga cokelat (Sjafrie, 2014).

Dampak gabungan dari tingginya SPL dan tingginya tingkat sinar matahari (pada gelombang panjang ultraviolet) juga dapat mempercepat proses pemutihan dengan mengalahkan mekanisme alami karang untuk melindungi dirinya sendiri dari sinar yang berlebihan (Sjafrie, 2014).



II.5 Sunspot

Sunspot (bintik/noda matahari) adalah daerah di lapisan fotosfer yang temperaturnya lebih rendah (4000–4500 °K) daripada daerah di sekelilingnya (6000 °K). Itu disebabkan oleh turunnya suhu di permukaan matahari. Sunspot terbentuk akibat adanya aktivitas magnetik di dalam matahari. Rotasi matahari di khatulistiwa lebih cepat daripada di daerah kutub, sehingga garis magnetik mengalami pembelokan akibat adanya gaya koriolis. Dengan terjadinya pembelokan garis magnetik tersebut maka akan terbentuk sebuah bidang magnetik yang lebih besar. Bidang magnetik ini menyebabkan peredaran panas terhambat dan memunculkan bintik pada matahari. Secara skematis, struktur sunspot diperlihatkan pada gambar berikut (Subgan, 2013).



Gambar 2.7 Bintik matahari (sunspot)

Banyaknya noda matahari berubah secara periodik, ada yang 11 tahunan, 22 tahunan (daur *Hale*), dan 80 tahunan (daur *Gleisberg*). Perubahan noda matahari atau perubahan suhu matahari menimbulkan perubahan medan magnet bumi dan

dan sistem peredaran atmosfer (Subgan, 2013).



II.6 Salinitas

Salinitas adalah kadar garam terlarut dalam air. Salinitas merupakan bagian dari sifat fisik dan kimia suatu perairan, selain suhu, pH, substrat dan lain-lain. Salinitas menggambarkan padatan total di dalam air. Salinitas perairan menggambarkan kandungan garam dalam suatu perairan. Garam yang dimaksud adalah berbagai ion yang terlarut dalam air termasuk garam dapur (NaCl). Pada umumnya salinitas disebabkan oleh 7 ion utama yaitu natrium (Na), klorida (Cl), kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), sulfat (SO₄) dan bikarbonat (HCO₃) (Effendi, 2004 dalam Armis *et al*, 2017).

Salinitas diukur berdasarkan jumlah garam yang terkandung dalam satu kilogram air. Contoh perbandingan nyata, air tawar mempunyai salinitas < 0,5 ‰ dan air minum maksimal 0,2 ‰. Sumber literatur lain menyebutkan standar air tawar mempunyai salinitas maksimal 1 ‰ dan salinitas air minum 0,5 ‰, sedangkan air laut rata-rata mempunyai salinitas 35 ‰ (Jamali dkk., 2007 dalam Armis, 2017).

II.7 Pacific Decadal Oscillation (PDO)

Pacific Decadal Oscillation (PDO) adalah pola variabilitas iklim Pasifik mirip *El Niño* yang berumur panjang yang dihasilkan oleh interaksi atmosfer-laut yang digabungkan di Samudra Pasifik Utara. Cara terbaik untuk mendapatkan sinyal bukti PDO adalah dengan menentukan indeks PDO (Lubis, 2011). Siklus PDO



oleh adanya air permukaan yang hangat dan dingin di Samudra Pasifik bergeser dari hangat (fase positif) ke dingin (fase negatif) dalam skala dekadal (Mantua dan Hare, 2002). PDO hampir mirip dengan *El Niño*

Southern Oscillation (ENSO) dan beberapa menyebutnya sebagai pola variabilitas iklim pasif seperti *El Niño* yang berumur panjang. PDO memiliki fase pergeseran setidaknya pada skala waktu antar-dekadal, bertahan sekitar 20 hingga 30 tahun. Sementara ENSO umumnya dikenal sebagai variabilitas iklim antar-tahunan, bertahan selama 6 hingga 18 bulan (Lubis, 2011).

II.8 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. Regresi dikatakan linier, apabila hubungan antara variabel bebas dan variabel terikatnya adalah linier. Regresi dikatakan non linier, apabila hubungan antara variabel bebas dan variabel terikatnya tidak linier (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



disebut sebagai regresi linier berganda atau *Multiple Regression* (MR). Regresi linier mempunyai banyak kegunaan, antara lain sebagai tujuan dari fenomena data atau kasus yang sedang diteliti, tujuan pengendalian

dan tujuan prediksi. Regresi mampu mendeskripsikan fenomena data melalui terbentuknya suatu model hubungan yang bersifatnya 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

X₁, X₂ : Variabel Bebas / Prediktor

a : Konstanta

b₁, b₂ : Koefisien Regresi

Untuk menentukan nilai a, b₁, b₂ digunakan metode kuadrat terkecil (*Least Square*)

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

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

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

$$r_{xy} \dots \dots \dots (2.4)$$



$$\frac{x_2^2)(\sum x_1Y) - (\sum x_1X_2)(\sum x_2Y)}{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1X_2)^2} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$b_2 = \frac{(\sum X_1^2)(\sum X_2 Y) - (\sum X_1 X_2)(\sum X_1 Y)}{(\sum X_1^2)(\sum X_2^2) - (\sum X_1 X_2)^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$a = \bar{Y} - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

\bar{X}_1, \bar{X}_2 : Jumlah Rata-rata Variabel Bebas/Prediktor

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

N : Jumlah Data

II.9 Metode Regresi *Stepwise*

Metode *Stepwise* adalah metode regresi berganda, yang secara sekaligus menghapus variabel-variabel bebas yang tidak penting. Metode *stepwise* pada dasarnya menjalankan regresi berganda beberapa kali, setiap kali menghapus variabel berkorelasi lemah. Hingga pada akhirnya tersisa variabel-variabel yang menjelaskan distribusi yang terbaik. Satu-satunya persyaratan adalah bahwa data terdistribusi secara normal dan bahwa tidak ada korelasi antara variabel independen (dikenal sebagai kolinieritas). Dalam penggunaannya, metode ini memungkinkan variabel bebas untuk masuk dan keluar dari model regresi, membuat langkah-langkah pembentukan model cukup banyak (Hanum dalam Hanif, 2018).

II.10 Verifikasi Prediksi

Verifikasi adalah proses menilai kualitas suatu prediksi (*forecast*). Dalam proses u hasil prediksi dibandingkan dengan nilai pengamatan/observasi. nya, perlu dilakukan secara kualitatif dengan menampilkan 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 (Halide, 2009).

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 yaitu 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.11 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) :

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan:



- $\sum_{i=1}^n x_i$: jumlah data
- $\sum_{i=1}^n x_i^2$: kuadrat koefisien korelasi antara data observasi dan data prediksi
- $\sum_{i=1}^n y_i$: jumlah data observasi

y_i = data prediksi

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

Tabel 2.1 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 2.2 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

