

Skripsi Geofisika

**PEMODELAN PENGARUH FAKTOR LINGKUNGAN TERHADAP
PEMUTIHAN KARANG (*CORAL BLEACHING*) PADA TAHUN 1983-2006
DI PANAMA**



OLEH:

DOMINIKUS MANGOPO PALANGDA

H061191042

PROGRAM STUDI S1 GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023



HALAMAN JUDUL

**PEMODELAN PENGARUH FAKTOR LINGKUNGAN TERHADAP
PEMUTIHAN KARANG (*CORAL BLEACHING*) PADA TAHUN 1983-2006**

DI PANAMA

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh

Gelar Sarjana Sains Pada Program Studi Geofisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

OLEH:

DOMINIKUS MANGOPO PALANGDA

H061191042

PROGRAM STUDI S1 GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023



HALAMAN PENGESAHAN

**PEMODELAN PENGARUH FAKTOR LINGKUNGAN TERHADAP
PEMUTIHAN KARANG (*CORAL BLEACHING*)
PADA TAHUN 1983-2006 DI PANAMA**

Disusun dan Diajukan Oleh:

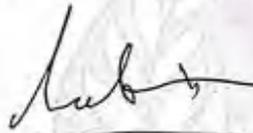
**DOMINIKUS MANGOPO PALANGDA
H061191042**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada 22 September 2023
Dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc.
NIP. 196303151987101001

Pembimbing Pertama



Saaduddin, M.Sc.
NIP. 198903202022043001

**Ketua Departemen Geofisika
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin**



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



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dominikus Mangopo Palangda

NIM : H061191042

Departemen : Geofisika

Judul TA : Pemodelan Pengaruh Faktor Lingkungan Terhadap Pemutihan
Karang (*Coral Bleaching*) Pada Tahun 1983-2006 di Panama

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 dengan kutipan yang mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang sudah lazim digunakan. Karya tulis ini merupakan murni gagasan dan penelitian saya sendiri, kecuali arahan Tim Pembimbing dan masukan Tim Penguji.

Makassar, 22 September 2023

Yang membuat pernyataan,


D429AKX703811108
Dominikus Mangopoo Palangda



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, bimbingan dan pertolongan-Nya, yang telah dan senantiasa Ia limpahkan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “Pemodelan Pengaruh Faktor Lingkungan Terhadap Pemutihan Karang (*Coral Bleaching*) pada tahun 1983-2006 di Panama” sebagai syarat dalam menyelesaikan Program Sarjana (S1) pada Program Sarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Geofisika Universitas Hasanuddin. Puji dan Syukur selalu senantiasa terkirim kepada Tuhan Yang Maha Esa. Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari hambatan serta rintangan yang penulis hadapi, namun pada akhirnya penulis dapat melaluinya karena tuntunan Tuhan Yang Maha Esa dan bimbingan dari berbagai pihak baik secara moral maupun spiritual. Izinkan pula penulis mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada Orang Tua tercinta Ayahanda **Marthen Ruruk** dan Ibunda **Katarina Ita**, kakak **Marconi, Theo, Cici, dan Rian**, serta seluruh keluarga besar yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis.

Panulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak baik moril maupun materil. Oleh karen itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada yang terhormat:



Terimakasih kepada **Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc** selaku pembimbing Utama yang telah berkenan memberikan ilmu dan solusi dalam setiap permasalahan dalam penulisan skripsi, memberikan bimbingan, kepercayaan yang sangat berarti

serta motivasi kepada penulis sehingga terselesaikannya skripsi ini dengan baik.

2. Bapak **Saaduddin, M.Sc** selaku pembimbing Pertama yang selalu dan telah bersedia membimbing dan mengarahkan penulis selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak **Dr. Muhammad Hamzah, S.Si., M.Si** dan Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, S.Si, M.Si** selaku tim penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang bersifat membangun kepada penulisan skripsi.
4. Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, S.Si., M.Si** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
5. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** selaku Ketua Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. .
6. Seluruh **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. Kepada seluruh Guru-guru **SMAN 1 Tana Toraja, SMPN 2 Sangalla,** dan **SDN No. 120 Buntu Masakke'** yang telah menanamkan pendidikan dan ilmu moral kepada penulis.
8. Terima kasih juga untuk kawan-kawan Smansa Panama yang terus mendukung dan tetap kompak hingga saat ini.



9. Teruntuk kawan *Coral Bleaching* **Riman, Muji, Fatihah, Mey, dan Pipit** sebagai teman seperjuangan dalam bertukar pikiran selama mengerjakan tugas akhir
10. Teruntuk teman-teman seperjuangan di Geofisika 2019 terima kasih atas segala kebersamaan dan bantuannya mulai dari maba hingga saat ini,
11. Teruntuk kawan-kawan di NTI FH7 yang selalu membantu dan memberi dukungan dalam proses pengerjaan penelitian baik secara moral maupun materil.
12. Teruntuk Trifen Septi Padolo yang selalu menemani dan memberi dukungan selama proses revisi hingga selesainya skripsi ini.



DAFTAR ISI

JUDUL	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Ruang Lingkup.....	3
I.3 Rumusan Masalah	3
I.4 Tujuan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
<i>Coral Bleaching</i>	5
1 Defenisi <i>Coral Bleaching</i>	5



II.1.2	Peristiwa <i>Coral Bleaching</i> di Panama.....	7
II.1.3	Faktor penyebab <i>Bleaching</i>	8
II.2	<i>Distance To Shore</i>	11
II.3	<i>Turbidity</i>	12
II.4	<i>Exposure</i>	13
II.5	<i>Cyclone Frequency</i>	14
II.6	<i>Wind Speed</i>	15
II.7	<i>Sea Surface Temperature (SST)</i>	15
II.8	<i>Depth</i>	16
II.9	TSA	17
II.10	<i>Severity Code</i> (Kategori Tingkat Keparahan <i>Coral Bleaching</i>)	19
II.11	Model <i>Multiple Regression (MR)</i>	19
II.12	Metode <i>Stepwise</i>	22
II.13	Verifikasi Prediksi	23
II.14	Taraf Signifikansi	22
II.15	Korelasi <i>Pearson</i>	24
II.16	Root Mean Square Error (RMSE)	25
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	27
	Lokasi Penelitian	27
	Prosedur Penelitian.....	29



III.2.1	Tahap Persiapan dan Pengumpulan Data.....	29
III.2.2	Tahap Pengolahan Data.....	30
III.3	Bagan Alir Penelitian	32
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	33
IV.1	Prediktor Signifikan dan Model Prediksi Keparahan <i>Coral Bleaching</i> .	33
IV.1.1	Prediktor Signifikan	33
IV.1.2	Nilai Konstanta (<i>a</i>) dan Koefisien (<i>b</i>)	34
IV.1.3	Nilai Koefisien Standar (<i>β</i>)	34
IV.1.4	Model Prediksi Keparahan <i>Coral Bleaching</i>	37
IV.1.5	Grafik Hasil Prediksi.....	38
IV.2	Verifikasi Prediksi	38
IV.2.1	Nilai Korelasi <i>Pearson</i> (<i>r</i>) dan RMSE	38
IV.2.2	Diagram Tebar Data Observasi dan Data Predisi	39
BAB V	PENUTUP	42
V.1	Kesimpulan.....	42
V.2	Saran	42
	DAFTAR PUSTAKA	43
	LAMPIRAN.....	51



ABSTRAK

Terumbu karang merupakan ekosistem yang sangat penting karena memiliki fungsi ekologis bagi biota laut serta fungsi ekonomi bagi manusia di sekitar pesisir pantai. Karang sangat sensitif dan rentan terhadap perubahan lingkungan. Salah satu penyebab kematian karang di Panama yaitu karena pemutihan karang (*coral bleaching*). Pemutihan karang (*coral bleaching*) adalah peristiwa hilangnya warna pada karang akibat hilangnya sebagian atau seluruh *Zooxanthellae*. Penelitian ini mengarah pada pemodelan faktor lingkungan signifikan pada kejadian pemutihan karang (*coral bleaching*) di Panama dengan menggunakan *Multiple Regression* (MR) metode *Stepwise* dan kemudian memverifikasi keakuratan model dengan *korelasi pearson* dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Data kejadian pemutihan (*bleaching*) yang digunakan yaitu data *severity code* (observasi) dan data faktor lingkungan (prediktor) dalam kurun waktu 1983-2006. Dari hasil penelitian diperoleh sejumlah prediktor signifikan pada kejadian *coral bleaching* di Panama yaitu *SSTA Freq Min*, *SSTA DHW Max*, dan *TSA Freq* dan model prediksi yaitu $\hat{Y} = 1,6588 + 0,37 \times SSTA Freq Min - 0,11 \times SSTA DHW Max - 0,09 \times TSA Freq$. Hasil verifikasi prediksi didapatkan nilai *Korelasi Pearson* sebesar 0,6183 dan nilai RMSE yaitu sebesar 0,5303. Dari tiga prediktor, diperoleh prediktor paling signifikan yaitu *Thermal Stress Anomaly Frequency Minimum* (*TSA Freq Min*) dengan nilai koefisien standar (beta) 0,1950.



nci: Pemodelan; Faktor Lingkungan; *Coral Bleaching*; Panama

ABSTRACT

Coral reefs are very important ecosystems because they have ecological functions for marine life and economic functions for humans around the coast. Corals are very sensitive and vulnerable to environmental changes. One of the causes of coral death in Panama is due to coral bleaching. Coral bleaching is an event of loss of color in corals due to the loss of part or all of Zooxanthellae. This research led to modeling significant environmental factors on coral bleaching events in Panama using the Stepwise Multiple Regression (MR) method and then verifying the model's wrinkles with pearson correlation and Root Mean Square Error (RMSE). The bleaching event data used were severity code data (observation) and environmental factor data (predictors) in the period 1983-2006. From the results of the study obtained a number of significant predictors on the incidence of coral bleaching in Panama, namely SSTA Freq Min, SSTA DHW Max, and TSA Freq and the prediction model was $\hat{Y} = 1,6588 + 0,37 \times SSTA_{FMin} - 0,11 \times SSTA_{DHWMax} - 0,09 \times TSA_{F}$. The results of the prediction verification obtained a Pearson Correlation value of 0.6183 and an RMSE value of 0.5303. Of the three predictors, the most significant predictor was obtained namely Thermal Stress Anomaly Frequency Minimum (TSA Freq Min) with a standard coefficient value (β) of 0.1950.

Keywords: Modeling; Environmental factors; Coral Bleaching; Panama



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Interpretasi dari nilai r positif (hubungan searah).....	23
Tabel 2.2 Interpretasi dari nilai r negatif (hubungan berlawanan).....	24
Tabel 4.1 Prediktor signifikan beserta nilai koefisien dan signifikansi.....	31
Tabel 4.2 Prediktor signifikan beserta nilai Konstanta (a) dan Koefisien (b).....	32
Tabel 4.3 Nilai Koefisien Standar (β).....	32
Tabel 4.4 Perbandingan Data Prediksi Terhadap Data Observasi.....	38



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme terumbu karang memutih dan contoh karang sehat, memutih dan karang mati.....	6
Gambar 2.2 Gambar bawah laut karang yang terkena dampak pemutihan di teluk Chiriqui, Panama 1983.....	8
Gambar 2.3 (A) Koloni tunggal <i>Pocillopora</i> menunjukkan pemutihan berbintik-bintik yang berbeda, dengan sebagian koloni muncul sangat memutih dan sisa koloni tidak terpengaruh dari radiasi. (B) Koloni <i>Pavona clavus</i> (kiri) menunjukkan hubungan cahaya yang jelas pola pemutihan, dengan permukaan atas (terang terang) secara signifikan lebih memutih daripada sisi (redupmenyala) permukaan. Koloni <i>Pocillopora</i> (kanan) benar-benar memutih di semua permukaan. (C) Dua koloni dari <i>Pocillopora</i> . Koloni kiri tampaknya seluruhnya tidak terpengaruh; koloni kanan sangat memutih seluruhnya.....	10
Gambar 3.1 Wilayah Penelitian (Panama).....	25
Gambar 4.1 Diagram hasil Prediksi Keparahan <i>Coral Bleaching</i> di Panama.....	36
Gambar 4.2 Diagram Tebar Data Prediksi dan Data Observasi <i>Coral Bleaching</i>	37



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Kejadian <i>Coral Bleaching</i> di Panama dan Data <i>Severity Code</i>	49
Lampiran 2. Data Prediktor.....	50
Lampiran 3. Perhitungan prediksi Tingkat Keparahan (Y) berdasarkan empat prediktor signifikan.....	52
Lampiran 4. Data Observasi dan Data Prediksi Tingkat Keparahan <i>Coral Bleaching</i>	55
Lampiran 5. Gambar hasil pengolahan pada <i>Software</i>	56



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Coral atau terumbu karang merupakan kelompok biota laut yang termasuk kedalam Filum *Coelenterata* disebut polip (polip merupakan satu individu karang) yang berbentuk tabung kecil, dengan hasil sekresi berupa Kalsium Karbonat (CaCO_3) (Suharsono., 2010). Terumbu karang merupakan ekosistem yang sangat vital karena memiliki fungsi ekologis yang penting diantaranya sebagai tempat mencari makan biota-biota laut, 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 (Obura & Grimsditch, 2009). Saat ini terumbu karang menghadapi ancaman yang semakin besar dengan adanya dampak perubahan iklim global. Suhu laut global diperkirakan telah meningkat $0.6\text{ }^\circ\text{C}$ pada pertengahan tahun 1950- 1990. Beberapa penelitian memprediksi peningkatan suhu laut di masa yang akan datang mencapai $1.40\text{-}5.80\text{ }^\circ\text{C}$ pada tahun 2100 (IPCC 2001). Peningkatan suhu tersebut dapat mengakibatkan terjadinya fenomena pemutihan karang jika terjadi anomali suhu permukaan air laut $1\text{-}2\text{ }^\circ\text{C}$ di atas 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).



n berskala besar dan kematian karang pembentuk terumbu telah terjadi di
tai Pasifik Panama. Pemutihan karang tampaknya semakin meluas sampai

di Teluk Chiriqui, Panama yang telah mulai pada awal tahun 1983 dan akan terus berlanjut. Selama periode ini, multispecies yang besar, populasi karang yang besar dan seluruh terumbu telah mengalami pemutihan dan banyak yang telah mati (Glynn, 1983).

Sejak penelitian kerusakan terumbu di pertengahan 1990-an, yang menekankan peran dominan dari faktor tekanan antropogenik yang langsung seperti polusi nutrisi, sedimentasi dan eksploitasi berlebihan (Smith & Buddemeier, 1992). Kerusakan karang ini merupakan efek pemanasan laut yang terus meningkat telah mengubah pendapat beberapa peneliti yang sekarang mempertahankan bahwa perubahan iklim global merupakan ancaman terbesar bagi terumbu karang (Hoegh-Guldberg, 1999). Kontribusi ini terutama berkaitan dengan efek dari peristiwa ENSO 1997-98 pada karang *zooxanthellate* Pasifik timur di Panama, Kejadian dan perkembangan anomali *Sea Surface Temperature* (SST) dalam kaitannya dengan pemutihan dan kematian karang *zooxanthellate* diperiksa. Perbandingan kuantitatif dibuat dari berbagai spesies karang yang terkena dampak di daerah *nonupwelling* (Teluk Chiriqui) dan *upwelling* (Teluk Panama) di Panama (Rowan & Powers, 1991).

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Utari (2020) pada wilayah Great Barrier Reef, dan Indriani (2020) pada wilayah Karibia. 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 tingkat keparahan kejadian *coral bleaching* di Panama dalam rentang waktu tahun 1983 sampai dengan tahun 2006 dengan menggunakan data *severity code* (kategori keparahan pemutihan) dan data faktor lingkungan untuk melihat pengaruh faktor lingkungan terhadap keparahan *coral bleaching* di Panama. Analisis model statistik yang digunakan pada penelitian ini yaitu Model *Multiple Regression* (MR) metode *Stepwise* untuk mengidentifikasi sejumlah faktor lingkungan signifikan yang terkait dengan keparahan *coral bleaching* di Panama. Untuk mengukur keakuratan model, dilakukan perhitungan nilai akurasi prediksi menggunakan Korelasi *Pearson* dan *Root Mean Square Error* (RMSE).

I.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana membuat pemodelan prediksi keparahan *coral bleaching* di Panama dengan sejumlah prediktor signifikan menggunakan *Multiple Regression* (MR) metode *Stepwise*?
2. Bagaimana memverifikasi prediksi model keparahan *coral bleaching* yang dihasilkan menggunakan nilai korelasi *Pearson* dan RMSE?

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini, yaitu:



1. Untuk membuat pemodelan prediksi keparahan *coral bleaching* di Panama dengan sejumlah prediktor signifikan menggunakan *Multiple Regression* (MR) metode *Stepwise*.

2. Untuk memverifikasi prediksi model keparahan *coral bleaching* yang dihasilkan menggunakan nilai Korelasi *Pearson* dan RMSE.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 *Coral Bleaching*

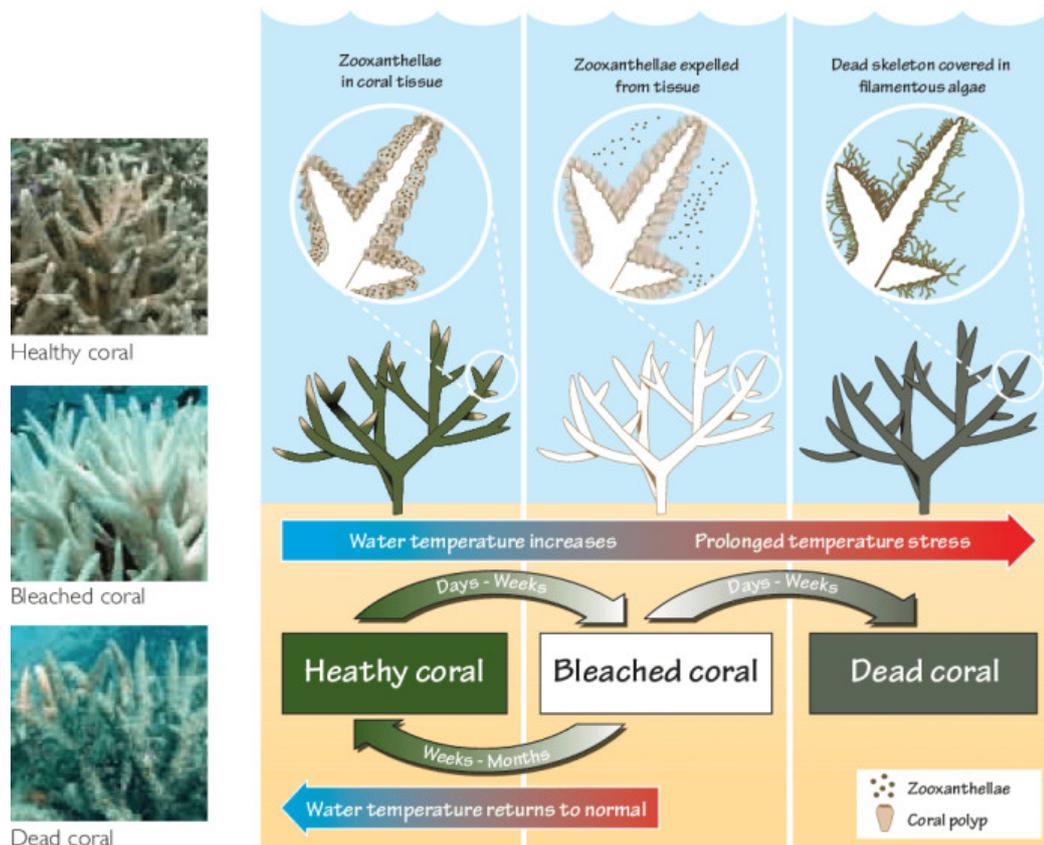
II.1.1 Defenisi *Coral Bleaching*

Pemutihan didefinisikan sebagai hilangnya warna, yang timbul dari eliminasi parsial hingga terdegradasinya pigmen alga (Douglas, 2003). Hilangnya alga ini menyebabkan karang menjadi transparan sehingga kerangka karang yang berwarna putih akan terlihat. *Zooxanthellae* adalah alga dari genus *Symbiodinium* yang bersimbiosis dengan karang dan hidup dalam jaringannya (Rosenberg et al., 2009). *Zooxanthellae* hidup dalam jaringan setiap polip dengan jumlah yang sangat banyak dan memberikan warna pada polip. *Zooxanthellae* menyediakan 95% energi hasil fotosintesis dan sekitar 90% senyawa karbon yang dibutuhkan oleh polip. Di sisi lain, karang juga menyediakan nutrisi-nutrisi penting yang dibutuhkan *zooxanthellae* (Coles dan Brown, 2003).

Kejadian *bleaching* merupakan fenomena umum pada suatu terumbu karang, namun *bleaching massal* merupakan gejala yang tidak umum terjadi. Biasanya hal ini dipicu oleh naiknya suhu air laut secara tiba-tiba (Marshall dan Baird, 2000). Peristiwa *coral bleaching* dalam jumlah besar dipengaruhi oleh naik turunnya suhu permukaan laut (SPL), berbeda dengan pemutihan karang dalam skala kecil yang seringkali disebabkan karena tekanan langsung dari manusia seperti polusi yang berpengaruh pada karang dalam skala kecil yang terlokalisir. Apabila suhu rata-rata terus naik karena perubahan iklim dunia, karang hampir dapat dipastikan



menjadi subjek pemutihan yang lebih sering dan ekstrim ke depannya (Edi Rudi, 2012).



Gambar 2.1 Mekanisme terumbu karang memutih dan contoh karang sehat, memutih dan karang mati (Marshall et al., 2017).

Terumbu karang merupakan salah satu ekosistem penting wilayah pesisir yang dapat memberikan produk dan jasa lingkungan berharga bagi kehidupan masyarakat pesisir. Belakangan ini, ekosistem ini mendapat berbagai tekanan berat yang menyebabkan fungsi dan perannya berkurang. Salah satunya diakibatkan pemanasan global, yaitu naiknya suhu air laut, sehingga menyebabkan kerusakan

terumbu karang yang dikenal sebagai pemutihan karang (Wouthuyzen Sam et

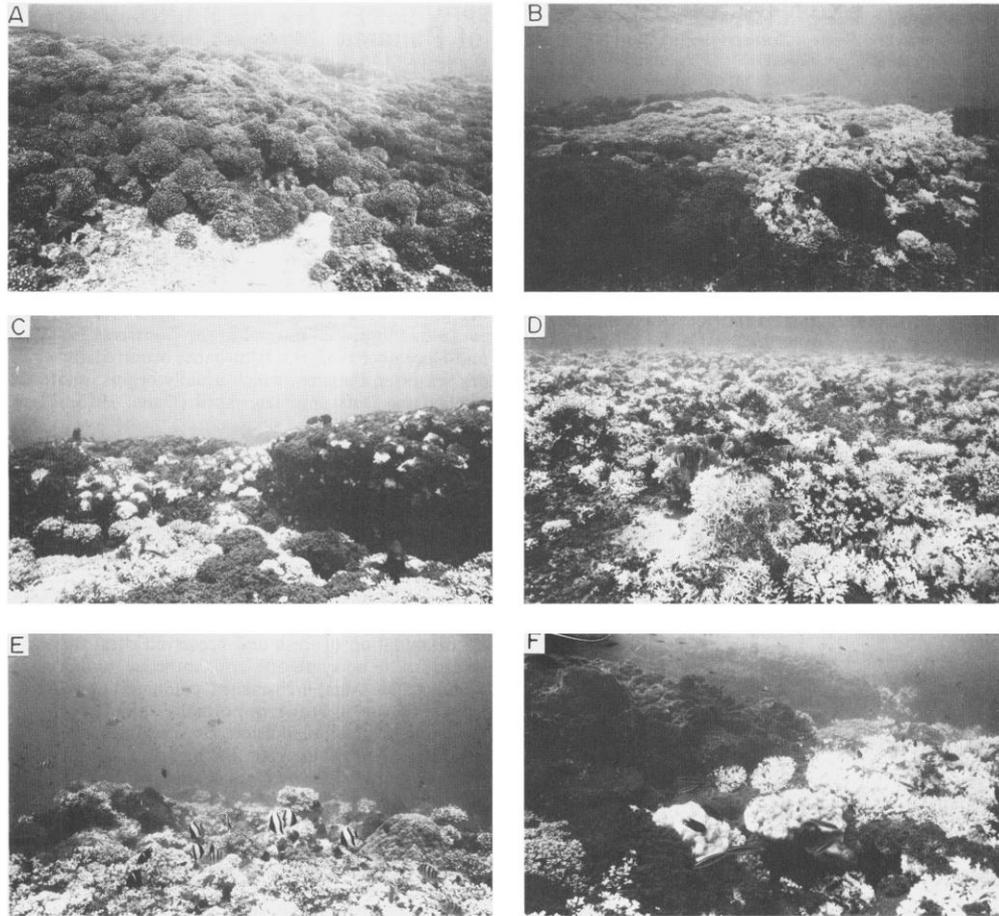


II.1.2 Peristiwa *Coral Bleaching* di Panama

Pemutihan skala besar dan kematian banyak karang pembentuk terumbu, yang terjadi di lepas pantai Pasifik Panama. Awal pemutihan terjadi pada awal tahun 1983 pada awal Januari dan terus berlanjut sampai akhir bulan April 1983. Selama periode ini, multispesies populasi karang dan seluruh terumbu telah mengalami pemutihan, telah mati, dan selanjutnya ditumbuhi oleh Alga makrofit. Tidak ada koloni hidup dari genus hidrokoral *Millepora* dapat ditemukan pada akhir bulan April, yang menunjukkan bahwa spesies lokal ini mungkin punah atau setidaknya sangat berkurang jumlah populasi dari karang ini (Glynn, 1983). Peristiwa pemutihan karang merupakan indikator akan adanya tekanan lingkungan seperti peningkatan suhu permukaan laut selama El Nino (Setiawan et al., 2017).

Secara keseluruhan, ENSO pada tahun 1997-1998 dan 1982-1983 yang sangat kuat, menghasilkan pola yang berbeda dari tekanan suhu laut tinggi dan respons karang selama dua periode gangguan. Dua periode *bleaching* terjadi di Teluk Chiriqui, masing-masing bertepatan dengan suhu in situ yang tinggi ($>30^{\circ}\text{C}$) dan filamen air hangat yang tercatat. Kematian karang berbeda, secara signifikan di antara lokasi: Kepulauan Galapagos (26,2%) > Teluk Chiriqui (13,1%) > pesisir Ekuador (7,0%) > Teluk Panama (0%). Kematian karang lebih tinggi (52-97%) di Pasifik ekuator timur pada tahun 1982-1983 dibandingkan tahun 1997-1998. Kematian karang tertinggi terjadi di lepas dekat pantai di Panama, dan di Kepulauan Galapagos (Glynn et al., 2001).





Gambar 2.2 Gambar bawah laut karang yang terkena dampak pemutihan di teluk Chiriqui, Panama 1983 (Glynn 1983).

Gangguan terhadap karang di Panama dan Kepulauan Galapagos memiliki penyebab yang sama, disebabkan karena peristiwa *El Nino* yang kuat yang terjadi di Pasifik timur pada tahun 1983 (Philander, 1983).

II.1.3 Faktor penyebab *Bleaching*

Pemutihan karang disebabkan karena suhu permukaan laut (SPL) dan tingkat intensitas ultraviolet matahari yang sangat tinggi, sehingga mempengaruhi kesehatan karang dan menimbulkan efek pemutihan yang disebut *bleaching* (Salim, 2010). Peningkatan suhu air dan kejadian pemutihan massal, sebagian besar bukti



menunjukkan 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). Perubahan kualitas perairan akan mempengaruhi kondisi pada terumbu karang disekitarnya. Ekosistem terumbu karang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan hidup terutama suhu, salinitas, sedimentasi, eutrofikasi (peningkatan kadar mineral dan nutrient) dan memerlukan kualitas perairan alami (*pristine*) (Susanto et al., 2018).

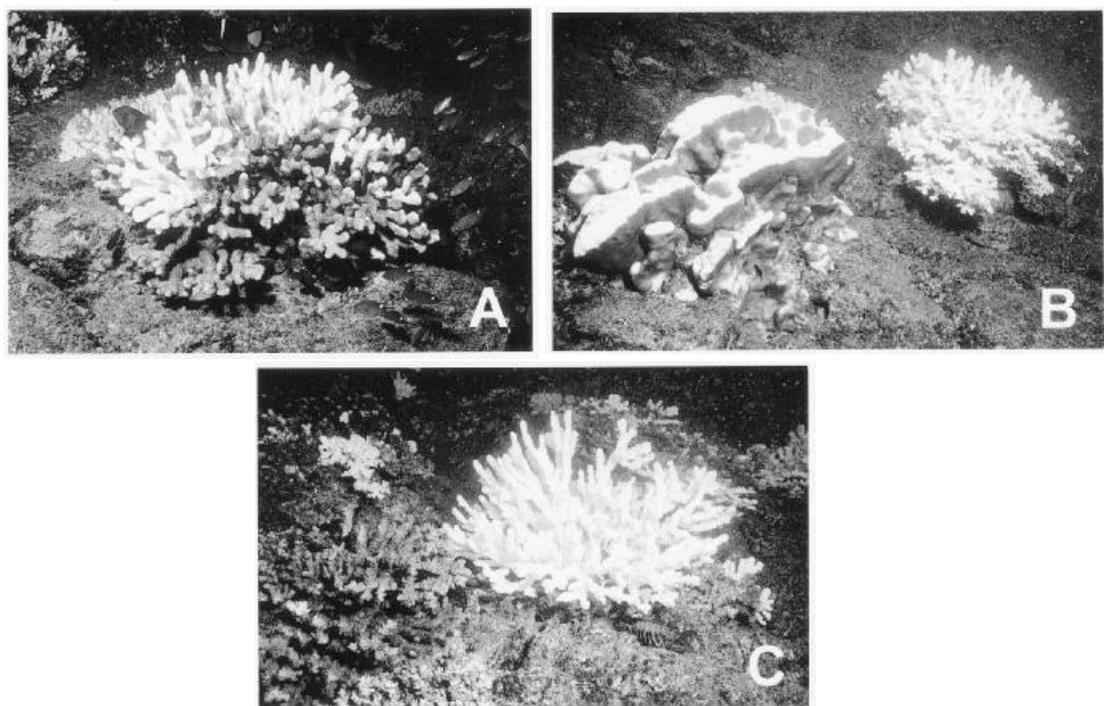
Pada skala lokal, banyak faktor (*stressor*) yang menyebabkan pemutihan karang seperti penyakit, meledaknya populasi predator (bintang berduri, *Acanthaster planci*, keong *Drupella* spp.) sedimentasi berat, penangkapan ikan memakai potassium sianida, herbisida, logam berat, dan perubahan drastis salinitas serta suhu laut (Hoegh-Guldberg, 1999). Pada skala regional, kejadian pemutiham karang disebabkan naiknya suhu laut akibat pemanasan global. Kenaikan suhu sebesar 1-2°C saja (suhu anomali) selama 2-4 minggu di atas suhu maksimum rata-rata jangka panjang (suhu normal) bisa menyebabkan pemutihan karang, dan dalam waktu yang lebih panjang akan menyebabkan koral mati. Selain itu, intensitas cahaya matahari yang terlalu kuat juga bisa menyebabkan pemutihan karang karena mengganggu sistem fotosintesis zooxanthela (Brown, 1997).

Faktor-faktor lain seperti berkurangnya salinitas dapat menyebabkan hilangnya



da karang. Sebagai contoh, dalam beberapa kasus pemutihan disebabkan urangnya salinitas, hilangnya jaringan karang dapat dikacaukan dengan

hilangnya *zooxanthellae* yang merupakan karakteristik dari pemutihan massal. Karang bertahan hidup dari salinitas hingga 2/3 (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 *zooxanthellae* (Hoegh-Guldberg, 1999).



Gambar 2.3 (A) Koloni tunggal *Pocillopora* menunjukkan pemutihan berbintik-bintik yang berbeda, dengan sebagian koloni muncul sangat memutih dan sisa koloni tidak terpengaruh dari radiasi. (B) Koloni *Pavona clavus* (kiri) menunjukkan hubungan cahaya yang jelas pola pemutihan, dengan permukaan atas (terang terang) secara signifikan lebih memutih daripada sisi (redupmenyala) permukaan. Koloni *Pocillopora* (kanan) benar-benar memutih di semua permukaan. (C) Dua koloni dari *Pocillopora*. Koloni kiri tampaknya seluruhnya tidak terpengaruh; koloni kanan sangat memutih seluruhnya (Glynn et al., 2001).

Suhu merupakan faktor penting yang mempengaruhi stabilitas dari simbiosis

ada tingkat individu dan dalam lingkup yang lebih luas, yaitu terumbu
Percobaan dan pengamatan menunjukkan bahwa pemutihan karang



terutama hasil dari peningkatan suhu air laut dan di bawah kondisi cahaya yang tinggi, akan meningkatkan tingkat reaksi biokimia yang berhubungan dengan fotosintesis *zooxanthellae*. Reaksi tersebut akan menghasilkan bentuk oksigen beracun yang mengganggu proses seluler (Douglass, 2003). Kenaikan suhu akan mengganggu kemampuan *zooxantellae* untuk berfotosintesis dan dapat memicu produksi senyawa kimia berbahaya yang akhirnya merusak sel-sel mereka. Akibat dari kehilangan *zooxantellae* dan penurunan pigmen fotosintesis menyebabkan penurunan dan efisiensi fotosintesis pada *zooxantellae* (Brown, 1997).

II.2 *Distance To Shore*

Penurunan kondisi populasi karang umumnya terkait dengan sumber stress, berdasarkan lokasi yang memengaruhi gradien kualitas air, dan jarak ke sumber stress biasanya digunakan sebagai sumber untuk memprediksi kerentanan dan status keberlangsungan sumber daya terumbu karang (Diego dan Fong, 2007). Studi penilaian kerusakan karang, baik lokal dan regional yang memberi nilai kerentanan terumbu karang, utamanya didasarkan pada jarak antara terumbu karang dan potensi sumber gangguan tersebut (Bryant et al., 1998).

Mengingat potensi dampak dari gangguan di sekitar pesisir, maka dapat dibuat skenario di mana aktivitas manusia membuat gradien spasial pengaruh di mana tingkat gangguan lebih tinggi untuk komunitas terumbu karang yang lebih dekat dengan pantai dan daerah yang berhubungan langsung dengan sekitar teluk pesisir.

Selain itu, contoh-contoh dari daerah lain di dunia di mana pembangunan manusia yang zona pantai mengakibatkan peningkatan faktor secara drastis seperti asasi dan konsentrasi nutrisi dengan dampak buruk pada kondisi karang (Hill



dan Wilkinson, 2004). Pengendapan sedimen, limbah, dan materi terlarut dari darat ke laut dapat merubah sifat air dan berdampak pada pemutihan karang. Sedimen tersuspensi dapat mengurangi paparan sinar ultraviolet matahari selama peristiwa pemutihan karang (Morgan et al., 2016).

II.3 Turbidity

Kekeruhan adalah indikator bahan organik yang terlarut, polusi udara, dan zooplankton di dalam air, yang dapat mengganggu karang, kumpulan karbon tetap heterotrofik selama proses pemutihan, mengkompensasi kehilangan karang selama proses fotosintesis. Kekeruhan paling sering dianggap merusak karang karena berkurangnya cahaya dan abrasi jaringan, dengan kelebihan kekeruhan menyebabkan berkurangnya zona eufotik dan penutupan terumbu dalam kondisi ekstrim (Tomascik, Suharsono, & Mah, 1993). Studi terbaru menunjukkan bahwa pengurangan cahaya, relatif ke sedimen itu sendiri, merupakan pendorong kuat kematian karang; dalam satu percobaan, karang yang diperlakukan dengan sedimen tersuspensi tidak ada pengurangan cahaya tidak menunjukkan perubahan signifikan, sedangkan karang diperlakukan dengan cahaya rendah menunjukkan penurunan klorofil a dan peningkatan pemutihan (Bessell-Browne et al., 2017). Kekeruhan seringkali berkorelasi dengan input nitrat yang tinggi, yang telah terjadi ditemukan memperburuk pemutihan pada beberapa tingkat tekanan suhu tertentu (Donovan et al., 2020).



Sedimentasi dan kekeruhan (baik yang terjadi secara alami atau akibat manusia) n karang karena berbagai faktor. Karang *hermatypic* membutuhkan sampai batas tertentu untuk pertumbuhan dan perkembangannya.

Kekeruhan, akibat hamburan cahaya dari partikel sedimen di kolom air, mengurangi pencahayaan dan menghambat sumber energi yang vital bagi karang. Selain itu, penolakan partikel sedimen oleh karang membutuhkan waktu dan energi, yang dapat digunakan untuk mendapatkan makanan, pertumbuhan, perbaikan kerangka, atau reproduksi. Efisiensi proses penghilangan, setidaknya untuk karang *hemispherical*, bergantung pada ukuran karang. Karang menghilangkan partikel sedimen kasar dengan menggabungkan *coenosarc* (jaringan hidup dalam karang) dengan air, sehingga memungkinkan sedimen untuk mengelupas. Butiran kecil dihilangkan dengan silia secara langsung (Hubbard dan Pocock, 1972).

II.4 *Exposure*

Exposure ditentukan berdasarkan potensi paparan yang mendominasi pada lokasi pemutihan seperti angin, gelombang besar, sedimen, paparan sinar UV dan faktor lainnya (Robert & Chelsey, 2022). Ada beberapa variasi tingkat paparan dari sedimen yang terendapkan dan tersuspensi, yang karang dapat terima, yang dapat dihasilkan dari perbedaan takson, letak geografis, tipe sedimen, dan tingkat paparan, durasi, dan frekuensi paparan. Sedimen dapat mempengaruhi karang sepanjang siklus hidupnya. Paparan sedimen secara terus menerus dapat mengganggu kesehatan, kondisi, dan kelangsungan hidup karang secara signifikan. Atenuasi cahaya mengurangi fotosintesis dari symbiosis dengan alga, sehingga membatasi sumber energi utama yang di butuhkan karang. Serta karang mengalihkan energi yang tersedia untuk membersihkan sedimen, aktivitas seperti



lendir dan gerakan tentakel, dapat terganggu karena kurangnya energi. Demikian, sedimen dapat menyebabkan respon sublethal, seperti penurunan

tingkat pertumbuhan, produktivitas, dan kalsifikasi, serta pemutihan, kerentanan terkena penyakit, kerusakan fisik dan ketidakmampuan untuk beregenerasi setelah kerusakan jaringan. Stress berlebihan akibat terpapar sedimen, karang dapat mengalami efek mematikan termasuk nekrosis jaringan dan kematian koloni, yang jika meluas, dapat menyebabkan perubahan dalam komunitas terumbu karang struktur dan kerusakan ekosistem karang itu sendiri (Lillian & Megan, 2022).

II.5 Cyclone Frequency

Bencana alam skala besar, yaitu siklon tropis, terus-menerus mengganggu ekosistem terumbu karang. Selain itu, siklon tropis juga berdampak pada suhu air laut di sekitar terumbu karang (Sousa, 1984). Umumnya, siklon tropis diikuti oleh penurunan suhu air laut yang signifikan, yang dapat menyebabkan bleaching pada terumbu karang. Dalam jangka waktu yang lama, frekuensi siklon tropis dapat mengurangi keanekaragaman hayati pada terumbu karang karena beberapa jenis karang rentan terhadap kerusakan akibat siklon tropis. (Van Woesik dan Kratochwill, 2022).

Perkembangan badai bergantung pada suhu laut yang hangat, kira-kira sekitar 26°C, dan dapat berkorelasi dengan pemutihan yang meluas. Salah satu efek fisik yang umum terjadi saat badai adalah penurunan suhu laut yang disebabkan oleh pergerakan angin. Diketahui bahwa badai dapat menyebabkan kerusakan fisik pada ekosistem terumbu karang, meskipun dampak kerusakan tersebut dapat bervariasi di antara dan di dalam terumbu yang terkena dampak. Kerusakan parah pada

karang telah diamati dan diperkirakan terjadi dalam radius 30-90 km dari dai. Dengan mempertimbangkan korelasi spasial dan temporal antara



pemutihan karang dan badai, dapat disimpulkan bahwa badai dapat menjadi salah satu faktor penyebab pemutihan pada karang yang terdampak (Manzello et al., 2007).

II.6 *Wind Speed*

Wind speed (kecepatan angin) merupakan salah satu faktor lingkungan yang umum dilibatkan dalam penelitian mengenai peristiwa *coral bleaching* akibat tekanan suhu (Zhang *et al.*, 2013). Kecepatan angin dapat mempengaruhi penyebaran panas pada suatu perairan, dimana distribusi suhu pada lokasi yang terbuka lebih baik dari lokasi yang tertutup (Daniel & Wahyu Santosa, n.d.). Kecepatan angin yang rendah merupakan salah satu faktor meteorologi yang dianggap dapat mendorong terjadinya pemutihan ketika berbarengan dengan suhu laut yang tinggi (Hendee & Berkelmans, 2000). Ketika kecepatan angin rendah, gelombang laut yang berperan membiaskan cahaya yang masuk ke dalam air akan lebih sedikit, mengakibatkan tingginya penetrasi cahaya matahari (Hendee *et al.*, 2001). Sebaliknya, ketika kecepatan angin tinggi, jumlah partikel-partikel dalam air akan meningkat, yang mana akan mengurangi penetrasi cahaya matahari (Baker et al. dalam Lucas *et al.*, 2023). Kecepatan angin yang tinggi dapat menyebabkan hilangnya awan dan meningkatkan intensitas radiasi cahaya matahari (Mumby *et al.*, 2001). Selain itu, peningkatan kecepatan angin juga dapat menyebabkan peningkatan kekeruhan pada kawasan pesisir (Knoppers *et al.* dalam Lucas *et al.*, 2023).

II.7 *Sea Surface Temperature (SST)*



ktor yang membatasi kelangsungan hidup karang sebagai organisme
ik terumbu meliputi beberapa faktor, salah satunya adalah faktor

lingkungan seperti suhu permukaan laut (SPL). Kondisi perairan yang menjadi lingkungan karang sangat dipengaruhi oleh iklim global. Peningkatan suhu permukaan laut rata-rata secara global terjadi akibat fenomena pemanasan global. SPL yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya pemutihan karang. Pemutihan karang telah menjadi salah satu faktor utama dalam degradasi terumbu karang (Wilkinson, 2008). Ketika SPL naik melebihi kondisi normal, proses fotosintesis mikroalga simbiotik (*zooxanthellae*) yang hidup di jaringan karang dapat terhambat bahkan mengalami kematian, sehingga menyebabkan penurunan kepadatan sel atau hilangnya *zooxanthellae*. Akibatnya, karang kehilangan pigmen warna dan tampak berwarna putih pada kerangka karang. Keadaan ini dikenal sebagai pemutihan karang (*coral bleaching*) (Burke et al., 2012).

Mayoritas pemutihan karang secara global terkait dengan peningkatan suhu permukaan laut (SPL), terutama di daerah yang disebut *HotSpot*. *HotSpot* adalah daerah di mana SPL naik di atas maksimum perkiraan tahunan (yaitu suhu tertinggi dalam setahun) di lokasi tersebut. Jika *HotSpot* memiliki peningkatan suhu sebesar 1°C di atas maksimum tahunan dan bertahan selama 10 minggu atau lebih, maka pemutihan karang pasti terjadi. Tingginya SPL yang dikombinasikan dengan tingkat sinar matahari yang tinggi, terutama pada gelombang panjang *ultraviolet*, dapat mempercepat proses pemutihan dengan menghambat mekanisme alami karang untuk melindungi diri dari paparan sinar matahari berlebihan. (Arif 2006).

II.8 Depth



obal, ekosistem karang yang lebih dalam yang bergantung pada cahaya un terlalu rentan terhadap pemutihan karang karena penurunan suhu,

penyinaran, dan efek atmosfer dengan bertambahnya kedalaman (Glynn 1996). Untuk sementara pemutihan dapat terjadi hingga kedalaman lebih dari 50 m persentase koloni terumbu karang yang terkena pemutihan biasanya menurun dengan kedalaman dan populasi yang lebih dalam, karang yang lebih dalam dapat mengurangi kepunahan local, seperti beberapa spesies yang telah menghilang dari perairan dangkal setelah peristiwa pemutihan yang parah (Glynn et al., 2001).

Beberapa penelitian yang telah meneliti pola kematian karang di kedalaman umumnya menunjukkan penurunan mortalitas (angka kematian) di kedalaman, meskipun polanya tidak terjadi pada semua karang dan kemungkinan bersifat spesifik pada takson tertentu. Peran kedalaman sebagai tempat berlindung bagi karang juga bervariasi berdasarkan sifat dan tingkat keparahan suatu peristiwa pemutihan, serta tergantung lokasi karang. Sebagai contoh, *upwelling* menyebabkan perubahan suhu (termoklin) yang kuat yang dapat mengurangi efek pemutihan pada kedalaman yang lebih dalam. Namun, dalam kasus lain terumbu yang lebih dalam mungkin lebih rentan terhadap pemutihan karena faktor adaptasi lokal terhadap suhu yang lebih rendah atau di perairan yang sangat jernih di mana faktor cahaya UV dapat menembus hingga kedalaman yang sangat dalam. Peran kedalaman, baik sebagai tempat perlindungan juga sangat bervariasi berdasarkan sifat dan tingkat keparahan suatu peristiwa pemutihan serta lokasi letak karang (Frade et al. 2018).



II.0. TSA
Stress Anomaly (TSA) didefinisikan sebagai perbedaan suhu rata-rata dari suhu musim panas yang umum terjadi (Selig et al., 2010). Hal ini

terjadi ketika suhu rata-rata mingguan melebihi 1°C dari suhu minggu terpanas dalam jangka waktu yang lama. Frekuensi TSA adalah jumlah kejadian ketika TSA mencapai atau melebihi 1°C dalam 52 minggu sebelumnya (NOAA, 2016). Karang tropis hidup di dekat batas termal mereka sehingga sangat rentan terhadap suhu laut yang tinggi pada musim panas. Tekanan panas yang dihasilkan dapat menyebabkan kerusakan pada simbiosis antara karang dan alga, yang sangat penting bagi pertumbuhan terumbu karang, dan mengakibatkan pemutihan karang (Lough et al., 2018).

Peristiwa *Thermal Stress Anomaly* (TSA) sangat terkait dengan perubahan iklim yang menyebabkan pemutihan karang dan ancaman terhadap kelangsungan hidup terumbu karang secara global. Pemutihan karang sering terjadi di daerah yang mengalami anomali tekanan panas dengan intensitas dan frekuensi yang tinggi. *Degree Heating Weeks* (DHW) telah menjadi indikator standar untuk memprediksi pemutihan global, di mana 1 DHW didefinisikan sebagai peningkatan suhu 1°C selama bulan terpanas di lokasi tertentu. Pemutihan yang parah biasanya terjadi ketika DHW mencapai angka 8 atau lebih (Sully et al., 2019).

Beberapa faktor *stress* dapat bergabung untuk mempengaruhi respons karang terhadap gangguan, termasuk pengurangan tekanan termal akibat pendinginan permukaan laut yang disebabkan oleh angin topan. Sebagai contoh, air yang lebih dingin pada kedalaman yang lebih dalam atau fenomena *upwelling* berkala dapat mempengaruhi efek suhu panas yang berlebihan dan menghasilkan respons yang

pada karang (Manzello et al., 2007).



Pengukuran anomali *thermal stress* didasarkan pada frekuensi anomali suhu 1°C atau lebih tinggi, karena peningkatan suhu yang singkat pada tingkat tersebut dapat menyebabkan stres fisiologis pada karang. Anomali suhu yang terjadi sepanjang tahun, termasuk anomali musim dingin, juga dapat mempengaruhi kerentanan karang terhadap penyakit. Anomali suhu pada musim panas juga dapat meningkatkan kemampuan patogen untuk merusak inang (virulensi) dengan memicu faktor virulensi atau meningkatkan pertumbuhan patogen pada suhu musim panas yang normal di bawah suhu optimal (Bruno et al., 2007).

II.10 Severity Code (Kategori Tingkat Keparahan Coral Bleaching)

Tingkat keparahan pada terumbu karang yang mengalami *bleaching* dipengaruhi oleh faktor lingkungannya. Misalnya dalam hal fenomena pemanasan global, jika fenomena ini terus berlanjut maka terumbu karang akan menghadapi *bleaching* yang lebih sering dan bersifat parah. Tingkat keparahan kejadian coral bleaching terbagi menjadi kategori 1 (*bleaching* ringan, yaitu 1-10% dari tutupan karang memutih), kategori 2 (*bleaching* sedang, yaitu 11-50% dari tutupan karang memutih), dan kategori 3 (*bleaching* parah, lebih dari 50% dari tutupan karang memutih) (Oliver et al., 2009).

II.11 Model Multiple Regression (MR)

Persamaan regresi adalah persamaan matematika yang digunakan untuk meramalkan suatu variabel terikat (prediktan atau dependen) yang berasal dari



bebas (prediktor atau independen) yang berjumlah satu atau lebih. Nilai dari antara variabel-variabel digambarkan dalam persamaan ini. Nilai dari terikat dinyatakan dengan konotasi Y, sedangkan nilai variabel bebas

dengan konotasi X. Jika hubungan antara variabel terikat dan variabel bebas adalah linier, maka regresi tersebut dikatakan linier. Sebaliknya, jika hubungan antara variabel terikat dan variabel bebas tidak linier, maka regresi tersebut dikatakan non linier (Kutner *et al.*, 2004).

Regresi linier merupakan metode statistik untuk membentuk model hubungan antara variabel terikat dengan satu maupun lebih variabel bebas. Regresi linier yang variabel bebasnya hanya satu disebut regresi linier sederhana. Sedangkan, regresi linier yang variabel bebasnya lebih dari satu disebut *Multiple Regression* (MR). Beberapa kegunaan dari metode regresi linier yaitu: sebagai tujuan deskripsi dari fenomena data atau kasus yang diteliti, tujuan pengendalian, dan tujuan prediksi. Regresi mampu menggambarkan fenomena data lewat terbentuknya model hubungan yang bersifat numerik. Selain itu, regresi juga bisa digunakan dalam hal pengendalian atau kontrol terhadap suatu kasus yang tengah diamati melalui penggunaan model regresi yang didapatkan. Model regresi juga bisa dimanfaatkan untuk memprediksi variabel terikat. Namun, perlu dicatat bahwa prediksi dalam konsep regresi hanya boleh dilakukan dalam rentang data dari variabel-variabel bebas yang digunakan untuk membentuk model regresi tersebut (Kutner *et al.*, 2004). *Multiple Regression* (MR) dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut (Kutner *et al.* dalam Marhaeni, 2019):

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



: Prediksi

: Konstanta

X_1, X_2, X_n : Prediktor

b_1, b_2, b_n : Koefisien

Nilai Konstanta (a) dan Koefisien (b) dapat ditentukan dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*Least Square*) dengan persamaan sebagai berikut (Kutner *et al.* dalam Marhaeni, 2019):

$$a = \bar{Y} - b_1\bar{X}_1 - b_2\bar{X}_2 \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\bar{X}_1 = \frac{\sum X_1}{n} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\bar{X}_2 = \frac{\sum X_2}{n} \dots \dots \dots (2.5)$$

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

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

dengan:

\bar{X}_1, \bar{X}_2 : Nilai Rata-Rata Prediktor

\bar{Y} : Nilai Rata-Rata Data Observasi

n : Jumlah Data Observasi

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh setiap prediktor dalam memprediksi, dilakukan perhitungan nilai Koefisien Standar (β). Berdasarkan nilai ini, dapat

n prediktor manakah yang memiliki pengaruh paling dominan di antara -prediktor lain (Kisnawati, 2018). Nilai Koefisien Standar (β) tidak



dimasukkan kedalam model regresi, melainkan hanya digunakan untuk mengetahui besaran pengaruh prediktor (Sugiyono, 2018). Koefisien Standar (β) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Rencher dalam Jones & Waller, 2013):

$$\beta_i = b_i \frac{\sigma X_i}{\sigma Y_i} \dots \dots \dots (2.8)$$

dengan:

β_i : Koefisien Standar (β)

b_i : Koefisien (b)

σX_i : Standar Deviasi Prediktor

σY_i : Standar Deviasi Data Observasi

II.12 Metode *Stepwise*

Regresi *Stepwise* merupakan metode *Multiple Regression* (MR) yang sekaligus menghilangkan variabel-variabel bebas yang tidak diperlukan. Pada dasarnya, regresi *Stepwise* menjalankan regresi berganda beberapa kali, dan menghilangkan variabel dengan korelasi lemah. Sehingga, yang tersisa merupakan variabel-variabel yang menjelaskan distribusi terbaik. Dalam penerapannya, metode *stepwise* memungkinkan variabel bebas untuk masuk dan keluar dari model regresi, membuat langkah-langkah pembentukan model menjadi relatif banyak (Hanum dalam Hanif, 2018).

II.13 Taraf Signifikansi

Dalam penggunaan teknik statistik, terdapat dua jenis kesalahan yang dapat terjadi
 erima atau menolak H_0 (hipotesis nihil), yaitu kesalahan tipe I dan tipe II.
 n tipe I terjadi ketika H_0 seharusnya diterima tetapi ditolak, sedangkan



kesalahan tipe II terjadi ketika H_0 seharusnya ditolak tetapi diterima. Probabilitas untuk melakukan kesalahan dalam menolak H_0 (kesalahan tipe I) disebut tingkat signifikansi (Azwar, 2005). Sementara itu, kemungkinan untuk berhasil menolak H_0 mengacu pada konsep *statistical power* (Bartoš & Maier, 2022).

Secara umum, taraf signifikansi yang sering digunakan adalah 0,05 atau 5% untuk membedakan hasil yang signifikan dengan yang tidak (Di Leo & Sardanelli, 2020).

Namun, untuk membuat pengujian signifikansi lebih ketat, ada kemungkinan untuk menurunkan taraf signifikansi menjadi 0,01 atau 1% (Dahiru, 2008). Penurunan taraf signifikansi ini bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan tipe I, meskipun juga akan mengurangi *statistical power* (Maier & Lakens, 2022). Penting untuk mencatat bahwa Bartoš & Maier (2022) menekankan pentingnya menjaga *statistical power* yang tinggi. Ini dikarenakan *statistical power* yang tinggi sangat krusial dalam menghindari kesalahan tipe II, yang dalam beberapa situasi dapat menjadi lebih berdampak daripada kesalahan tipe I (Fiedler et al. seperti yang dibahas dalam Bartoš & Maier, 2022). Oleh karena itu, memiliki *statistical power* yang tinggi menjadi sangat penting dalam usaha untuk menghindari kesalahan tipe II (Bartoš & Maier, 2022).

Penelitian ini, menggunakan taraf signifikansi sebesar 0,05 daripada 0,01, dengan tujuan untuk tetap menjaga *statistical power* dalam pengujian dan mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan tipe II.

II.14 Verifikasi Prediksi



Verifikasi merupakan proses untuk menilai kualitas dari suatu prediksi (*forecast*). Nilai prediksi akan dibandingkan dengan nilai pengamatan atau observasi

dalam proses ini (Halide dalam Andika *et al.*, 2017). Verifikasi dilakukan guna mengetahui kesesuaian antara data dan model. Keluaran (*output*) model akan dibandingkan dengan data observasi (Arifin *et al.*, 2013).

Untuk memverifikasi suatu prediksi, pada penelitian ini dilakukan perhitungan nilai akurasi prediksi menggunakan Korelasi *Pearson* dan *Root Mean Square Error* (RMSE).

II.15 Korelasi *Pearson*

Korelasi *Pearson* adalah rumus untuk mencari dan mengukur kemampuan asosiasi atau hubungan linear antara dua variabel, yakni variabel independen (bebas) dan variabel dependen (terikat) (Arifin *et al.*, 2013). Koefisien korelasi dinyatakan dalam (Andika *et al.*, 2017):

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n Y_i \hat{Y}_i - (\sum_{i=1}^n Y_i)(\sum_{i=1}^n \hat{Y}_i)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i^2 - (\sum_{i=1}^n \hat{Y}_i)^2}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan:

n = Jumlah Data

r = Koefisien Korelasi antara Data Observasi dan Data Prediksi

X_i = Data Observasi

Y_i = Data Prediksi

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



el 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

II.16 Root Mean Square Error (RMSE)

Nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dapat diperoleh dengan menghitung nilai akar dari rata-rata kuadrat dari nilai kesalahan yang menggambarkan selisih antara data pengamatan (observasi) dengan nilai hasil prediksi (Arifin *et al.*, 2013). Nilai

dapat dihitung dengan persamaan (Febriana, 2016):



$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan:

Y_i = Data Observasi

\hat{Y}_i = Data Prediksi

n = Jumlah Data

