

Skripsi Geofisika

**PEMODELAN PENGARUH FAKTOR OSEAN ATMOSFIR TERHADAP
PEMUTIHAN KARANG (*CORAL BLEACHING*) PADA TAHUN 2000-2019
DI KARIBIA**



DISUSUN OLEH:

SINAR INDRIANI

H221 16 519

**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 KARIBIA**

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



SINAR INDRIANI

H221 16 519

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 KARIBIA

OLEH :

SINAR INDRIANI

H221 16 519

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, Juli 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 : Sinar Indriani
NIM : H22116519
Departemen : Geofisika
Judul TA : Pemodelan Pengaruh Faktor Osean Atmosfir Terhadap Pemutihan Karang (*Coral Bleaching*) Pada Tahun 2000-2019 Di Karibia

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, Juli 2020

Yang Membuat Pernyataan

Sinar Indriani

ABSTRAK

PEMODELAN PENGARUH FAKTOR OSEAN ATMOSFIR TERHADAP PEMUTIHAN KARANG (*CORAL BLEACHING*) PADA TAHUN 2000-2019 DI KARIBIA

Pemutihan karang merupakan suatu ancaman bagi kehidupan terumbu karang yang disebabkan oleh pemanasan laut yang berhubungan dengan perubahan iklim. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan mengidentifikasi prediktor paling signifikan penyebab Pemutihan Karang di Karibia dengan menggunakan *Multiple Regression* (MR). Data *Degree Heating Weeks* (DHW) digunakan untuk melihat data observasi dan data prediksi yang digunakan terdiri dari ENSO, *Sea Surface Temperature* (SST), *Sunspot Number* (SSN), *Pacific Decadal Oscillation* (PDO), dan Salinitas (Salt) data yang digunakan mulai tahun 2000 sampai dengan 2019 dengan 1334 data pada 23 titik lokasi. Data diolah menggunakan *software Matlab* untuk mengetahui prediktor Osean dan Atmosfir yang paling signifikan kemudian melakukan verifikasi prediksi. Hasil yang diperoleh berupa tabel yang menunjukkan koefisien standar (beta) dan nilai signifikan prediktor dan model prediktor terbaik. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa terdapat 7 prediktor signifikan yaitu SSN8 SALT8 SALT7 PDO5 PDO8 PDO10 dan SSTA1. SSN8 merupakan prediktor dengan nilai koefisien beta tertinggi yaitu 321,92 dengan nilai korelasi sebesar 0,5787 dan presentase kebenaran sebesar 78,48%.

Kata Kunci: DHW; Karibia; Pemutihan Karang; Pemodelan

ABSTRACT

MODELING OF ATMOSPHERIC OCEAN FACTORS INFLUENCE ON CORAL BLEACHING IN 2000-2019 IN THE CARIBBEAN

Coral bleaching is a challenge to coral reef life caused by sea warming which is related to the changing of time. This study aims to model and identify the most significant predictors of *Coral bleaching* in the Caribbean by using *Multiple Regression* (MR). The Data Degree Heating Weeks (DHW) is used to view the observation data and predictive data used consists of ENSO, Sea Surface Temperature (SST), Sunspot Number (SSN), Pacific Decadal Oscillation (PDO), and salinity (Salt) data used from 2000 to 2019 with 1334 data at 23 location points. The data is processed using Matlab software to determine the most significant Ocean and Atmospheric predictors then verify the predictions. The results are a table indicating the standard coefficient (beta) and the significant value of predictors and the best predictor models. Based on the results obtained, it can be concluded that there are 7 significant predictors, namely SSN8 SALT8 SALT7 PDO5 PDO8 PDO10 and SSTA1. SSN8 is the predictor with the highest value of beta coefficient of 321.92 with a correlation value of 0.5787 and a percentage of truth of 78.48%.

Keywords: DHW; Caribbean; *Coral Bleaching*; Modeling

KATA PENGANTAR

“Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarajatuh”

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya yang senantiasa dilimpahkan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Pemodelan Pengaruh Faktor Osean Atmosfir Terhadap Pemutihan Karang (*Coral Bleaching*) di Karibia pada tahun 2000-2019”** sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) pada Program Sarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Geofisika Universitas Hasanuddin. Shalawat beserta salam semoga senantiasa terlimpah kepada Rasulullah SAW. 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 Amiruddin** dan **ibunda Sumiarti**, beserta adik Tersayang **Nurwahidah** dan juga kepada semua keluarga besar yang tak henti-hentinya mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak baik moral maupun materil. Oleh karena itu dalam kesempatan ini pula, penulis menyampaikan ucapan terimakasih sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Bapak **Prof. Dr. H. 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 terselesaikanya skripsi ini.
2. Bapak **Drs. Hasanuddin, M.Si** selaku pembimbing Pertama yang telah bersedia membimbing dan mengarahkan penulis selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak **Dr. Sakka, M.Si** dan Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, S.Si., M.Si** selaku tim penguji yang telah memberkan 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.
5. Bapak Dr. Muh. Alimuddin Hamza, 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 Takalar, SMPN 2 Bontonompo Selatan, SDN Tindang dan TK Paud Sipakalabbiri yang telah menanamkan Pendidikan dan ilmu kepada penulis.

8. Kepada Ibu **Nur Hasanah, S.Si, M.Si** dan Bapak **Muhammad Fawzy Ismullah Massinai, S.Si, MT** selaku penasehat akademik yang telah memberikan masukan dan arahan terkait akademik kepada penulis.
9. Kakak **Muh. Syafrizal S.Si** Geofisika 2015 yang telah memberikan motivasi dan membantu penulis dalam memulai penelitian ini, telah memberkan saran dan ilmunya kepada penulis.
10. Teruntuk **Nurzakia Tri Utari** dan **Abdi Nur Rajalau** teman seperjuangan dalam mengerjakan tugas akhir, yang telah menjadi teman bertukar pikiran dan sama-sama memotivasi dalam pengerjaan Tugas akhir.
11. Sahabatku selama SMA **Suharti, Nugrah, Ramlah, Virda, Muliana** dan **Phina** yang telah memberi semangat kepada penulis.
12. Untuk **Sri Wahyuni** Partner dalam segala hal, yang telah banyak membantu penulis sejak maba sampai saat ini, menjadi pendengar yang baik, teman seperjuangan Kerja Praktik, teman bertukar pikiran dan banyak pengalaman hidup yang telah diberikan kepada penulis.
13. Sahabat-sahabatku di kampus **Wiwi, Fara, Hira, Winda, Lili, Mute, Ekky, Hamdah, Widy** yang selalu menemani dan membantu penulis, mendengarkan setiap keluh kesah dan memberikan dukungan apapun hal baik yang dilakukan oleh penulis.
14. Teruntuk teman-teman seperjuangan di **Geofisika 2016** **Eno, Kasma, Dian, Athaya, Ria, Cica, Debby, Lia, Ninda, Devi, Nurita, Diat, Ani, Santri, Hasrina, Iis, Riana, Mira, Dewi, Wasti, Sadila, Marhaeni, Maghfira, Alam, Agung, Iksan, Ayyub, Indra, Aushaf, Aso, Leo, Ulla,**

Adit, Mufly, Eki, Sabran, Fazrul, Ervin, Ari, Syarwan, Oland, William

yang telah memberikan dukungan dan berbagi ilmu selama perkuliahan.

15. Teruntuk **Amin Nur Syafitri** yang telah banyak memberikan dukungan, motivasi dan bantuan kepada penulis selama menyelesaikan skripsi ini.
16. Teman-teman **HIMAFI FMIPA UNHAS 2016** dan **KM FMIPA UNHAS 2016** yang selalu mendukung dan memberikan bantuan kepada penulis.
17. Untuk teman-teman KKN UNHAS Gel 103 Posko Kelurahan Takalar **Fatia, Indah, Gina, Resky, Fahmi, Fatur, dan Yusril** yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis.
18. Serta kepada 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 SAMBUL.....	i
HALAMAN PENUNJUK SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB 1 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
II.1 <i>Coral Bleaching</i>	5
II.2 <i>Gegree Heating Weeks (DHW)</i>	9
II.3 Salinitas.....	11
II.4 Sea Surface Temperature (SST).....	12
II.5 <i>Pacifik Decadel Oscillation (PDO)</i>	15
II.6 Sunspot Number.....	16
II.7 <i>El Niño Southern Oscillation (ENSO)</i>	17

II.8 Model <i>Multiple Regression</i> (MR).....	19
II.9 Verifikasi Prediksi.....	22
II.9.1 Korelasi <i>Pearson</i>	22
II.9.2 <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE).....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	24
III.1 Lokasi Penelitian.....	24
III.2 Data Penelitian.....	25
III.2.1 Data <i>Degree Heating Weeks</i>	25
III.2.2 Data SST (<i>Sea Surface Temperature</i>).....	25
III.2.3 Data Sunspot Number.....	25
III.2.4 Data Salinitas.....	25
III.2.5 Data <i>Pacific Decadel Oscillation</i> (PDO).....	26
III.2.6 Data ENSO.....	26
III.3 Alat Penelitian.....	26
III.4 Prosedur Penelitian.....	26
III.4.1 Tahap Persiapan dan pengumpulan Data.....	26
III.4.2 Tahap Pengolahan Data.....	27
III.5 Bagan Alir Penelitian.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
IV.1 Hasil.....	30
IV.1.1 Grafik Presentase Kejadian Pemutihan Karang.....	30
IV.1.2 Model Klasifikasi Coral bleaching Berdasarkan Kejadian Dan Kategori Persentase Bleaching.....	35

IV.1.3 Diagram Tebar Data Observasi dan Data Prediksi Kejadian Coral bleaching.....	36
IV.1.4 Verifikasi Prediksi Model Statistik.....	38
IV.1.4.1 Korelasi <i>Pearson</i>	38
IV.1.4.2 <i>Standardized Coefficients</i> (Beta).....	38
IV.2 Pembahasan.....	39
BAB V PENUTUP.....	41
V.1 Kesimpulan.....	41
V.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA.....	42
LAMPIRAN.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Nilai Koefisien dan Signifikan Prediktor.....	34
Tabel 4.2 Nilai Koefisien Observasi dengan Prediktor Model Terbaik.....	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sebelum dan Setelah Peristiwa Pemutihan Karang.....	7
Gambar 2.2 Pemutihan Karang di Karibia.....	10
Gambar 3.1 Wilayah Penelitian (Laut Karibia).....	26
Gambar 4.1 Grafik Kejadian Pemutihan Karang di Karibia.....	32
Gambar 4.2 Grafik Bulanan Jumlah Kejadian Pemutihan Karang di Karibia.....	33
Gambar 4.3 Model Klasifikasi Berdasarkan Observasi dan Prediksi Kejadian Pemutihan Karang Untuk Semua Prediktor.....	37
Gambar 4.4 Diagram Tebar Hasil Prediksi Terhadap Observasi Untuk Model Terbaik.....	38

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Data Degree Heating Weeks.....	48
LAMPIRAN 2 Data Observasi Tahunan.....	52
LAMPIRAN 3 Data Observasi Bulanan.....	53
LAMPIRAN 4 Data Prediktor.....	55

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Terumbu karang merupakan suatu keunikan yang terdapat dalam lautan di antara asosiasi atau komunitas laut yang seluruhnya dibentuk oleh kegiatan biologis dan hidup di dasar perairan laut dangkal, disusun oleh karang jenis *Anthozoa* dari kelas *Scleroctinia*, termasuk jenis karang yang mampu membuat bangunan atau kerangka karang dari kalsium karbonat (Prasetya,2003). Terumbu karang dikenal sebagai ekosistem yang sangat kompleks dan produktif dengan keanekaragaman biota tinggi seperti moluska, crustacea dan ikan karang. Biota yang hidup di terumbu karang merupakan suatu kesatuan komunitas yang meliputi kumpulan kelompok biota dari berbagai tingkat trofik, dimana masing-masing komponen dalam komunitas terumbu karang ini mempunyai ketergantungan yang erat satu sama lain (Rizal *et al.*, 2016). Namun dibalik keanekaragaman, nyatanya terumbu karang termasuk salah satu ekosistem yang terancam. Karang mendapat makanan dengan dua acara yaitu menggunakan tentakel dalam menangkap makanan dan melalui *Zoonxanthellae* yang hidup di jaringan karang, biasanya ditemukan dalam jumlah besar dalam setiap polip hidup secara symbiosis. *Zoonxanthellae* berfungsi memberikan warna pada polip, energi dari fotosintesis dan 90% kebutuhan karbon polip, *Zoonxanthellae* menerima nutrisi-nutrisi penting dari karang dan memberikan sebanyak 95% dari hasil fotosintesis berupa energi dan nutrisi kepada karang (Prasetya,2003).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*. Penyebabnya adalah hilangnya alga yang bersimbiosis (*Zooxanthella*) yang merupakan tempat bergantungnya polip karang untuk mendapatkan makanan. Keadaan pemutihan karang yang terlalu lama (lebih dari 10 minggu) dapat menyebabkan kematian polip karang pada akhirnya (Salim,2012). Selama proses pemutihan sekitar 60-90% *Zooxanthella* pada karang akan hilang (Coles & Brown, 2003). Kondisi terumbu karang dunia mengalami penurunan akibat beberapa faktor salah satunya adalah perubahan iklim global secara drastis. Pada tahun 1997 terjadi kematian massal karang yang diakibatkan oleh kenaikan suhu permukaan air laut yang drastis, sekitar 48 negara menerima dampak dari perubahan iklim tersebut. Pengaruh terbesar terjadinya *Coral Bleaching* seperti perubahan temperatur secara drastis (sangat panas atau sangat dingin), radiasi yang tinggi, pencemaran logam berat, dan mikro organisme yang bersifat patogen (Muttakin *et al.*, 2011).

Pada tahun 2005 di Karibia tercatat sebagai tahun terpanas karena suhu permukaan laut yang sangat tinggi dan mengakibatkan peristiwa pemutihan karang lebih dari 42% karang mengalami pemutihan total dan 95% mengalami beberapa jenis pemutihan. Karibia menjadi salah satu daerah pariwisata dan banyak dikunjungi yang diperkirakan mengandung 14% terumbu karang dunia. Oleh karena pemanasan laut yang berhubungan dengan perubahan iklim menjadi salah satu ancaman paling mendesak bagi terumbu karang di seluruh dunia (Wilkson & Souter, 2008). Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan yang sebelumnya telah dilakukan oleh Maghfira Sulva Salsabila untuk data tahun 1982-2010.

I.2 Ruang Lingkup

Pada penelitian ini dibatasi oleh analisis data kejadian pemutihan (*Bleaching*) pada terumbu karang dengan menggunakan data *Degree Heating Weeks* (DHW) dan data Osean Atmosfir untuk melihat pengaruh faktor osean atmosfer di kawasan Karibia. Analisis model statistik yang digunakan pada penelitian ini yaitu Metode *Multiple Regression* (MR) untuk melihat keakuratan model dan prediktor yang paling dominan mempengaruhi pemutihan karang (*Coral Bleaching*) di Karibia.

I.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana memodelkan kejadian pada saat terjadinya Pemutihan Karang (*Coral Bleaching*) berdasarkan data DHW di Karibia dengan menggunakan Model *Multiple Regression* (MR)?
2. Bagaimana verifikasi prediksi untuk melihat prediktor yang paling berpengaruh terhadap kejadian Pemutihan Karang (*coral bleaching*) menggunakan data osean dan data atmosfer global?

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Untuk memodelkan kejadian pada saat terjadinya Pemutihan Karang (*Coral Bleaching*) berdasarkan data DHW di Karibia dengan menggunakan Model *Multiple Regression* (MR).

2. Untuk memverifikasi prediksi dan melihat prediktor yang paling berpengaruh terhadap kejadian Pemutihan Karang (*Coral Bleaching*) menggunakan osean dan data atmosfer global.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 *Coral Bleaching*

Karang merupakan anggota filum Cnidaria jenis karang ini dapat menghasilkan kerangka luar dari kalsium karbonat, selain itu karang merupakan komunitas lautan yang seluruhnya dibentuk oleh kegiatan biologis. Cara hidup karang dapat secara berkoloni atau sendiri namun kebanyakan karang hidup secara berkoloni dengan berbagai individu hewan karang atau polip yang menempati mangkuk kecil dalam kerangka yang massif. Karang mendapat makanan dengan dua cara yaitu menggunakan tentakel dalam menangkap makanan dan melalui *Zooxanthella* yang hidup di jaringan karang. Karang biasanya berwarna warni, ini disebabkan oleh adanya *Zooxanthella* serta energi dari fotosintesis dan karbon pada polip. *Zooxanthella* menerima nutrisi-nutrisi penting dari karang dan memberikan sebanyak 95% dari hasil fotosintesis berupa energi dan nutrisi kepada karang (Prasetya,2003).



Gambar 2.1 Sebelum dan setelah peristiwa pemutihan karang (Climate and Environment)

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 (Rudi,2012). *Coral Bleaching* pertama kali dikenalkan oleh Yone dan Nicholls pada tahun 1931, yang merupakan hilangnya sebagian besar *Zooxanthella* simbiotik yang terdapat dalam jaringan karang (Coles & Brown, 2003).

Koral sangat tergantung pada simbiotiknya itu, karena simbion dapat menghasilkan lebih dari 90% energi yang dibutuhkan koral. Namun, dalam kondisi tertekan, hubungan antara simbion dan koral rusak, sehingga densitas *Zooxanthella* menurun, lalu dilepas oleh koral. Hal ini menyebabkan warna-warni koral yang sangat bervariasi dan indah berubah menjadi putih sesuai dengan warna kerangka koral, yaitu kapur (CaCO_3) yang berwarna putih. Fenomena ini didefinisikan sebagai pemutihan karang atau *Coral Bleaching* (Wouthuyzen et al.,2015). 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 (Brown, 1997; 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 *Zooxanthella* (Wouthuyzen I.,2015).

Peristiwa pemutihan karang menyebabkan populasi *Zooxanthella* keluar atau terdegradasi dan meninggalkan jaringan karang sehingga menyebabkan karang pucat atau putih. Pemutihan karang menggambarkan kondisi stress lingkungan yang ekstrim, kejadian pemutihan massal biasa dikorelasikan dengan gangguan spesifik seperti temperatur air yang ekstrim tinggi atau rendah, radiasi matahari, sedimentasi, masukan air tawar, kontaminasi dan penyakit. Terumbu karang memiliki batas toleransi suhu yang bervariasi dengan suhu yang rendah jika mengalami peningkatan 1 – 1,5 derajat Celsius maka akan memicu terjadinya pemutihan karang. Pemutihan karang menjadi salah satu indikator terjadinya *El Niño*, Fenomena *El Niño* terakhir kali terjadi yaitu pada tahun 2015-2016 yang memicu kejadian pemutihan massal terkuat yang pernah tercatat. Pemutihan karang massal terjadi pada tahun 1982, 1983, 1998 dan 2010 (Setiawam *et al.*, 2017).

Ditinjau berdasarkan aspek biologinya, selama peristiwa pemutihan karang akan menyebabkan karang kehilangan 60-90% dari jumlah *Zooxanthella* dan *Zooxanthella* yang masih tersisa dapat kehilangan 50-80% pigmen fotosintesisnya (Glynn, 1996). Karang dapat bertahan hidup jika tekanan hanya berlangsung dalam waktu yang singkat namun akan mati jika dalam waktu yang lama, tekanan akan membuat karang sangat peka terhadap infeksi oleh berbagai macam penyakit (Pomerance *et al.*, 1999). Peristiwa kematian karang yang meningkat dapat ditentukan oleh peningkatan suhu rata-rata maksimum musim panas, karang dan organisme terumbu hidup pada suhu dekat dengan batas atas toleransinya (Rani, 2001). Saat terumbu karang mengalami pemutihan, terumbu karang akan mati dan berubah secara cepat menjadi abu-abu kecokelatan yang pupus seiring

dengan perkembangan alga yang menutupi mereka, dampak yang parah akan menyebabkan alga berkembang secara luas dan dapat mencegah rekolonisasi karang-karang baru dan akan merubah pola keanekaragaman jenis karang dan restrukturisasi komunitas terumbu (Rani,2001).

Terumbu karang yang telah mengalami pemutihan dapat pulih kembali secara alami, pada tahun 1990 Brown dan Suharsono melakukan penelitian dan menunjukkan pulihnya struktur komunitas secara signifikan pada lokasi yang sebelumnya telah terjadi pemutihan yang disertai kematian 80-90%. Hewan karang dapat pulih kembali dengan merekrut *Zooxanthella* dari lingkungan perairan ketika kondisi membaik (Nybakken,1992). Secara alami, respon terumbu karang perubahan dan tekanan lingkungan adalah berusaha bertahan, pulih hingga resiliensi atau membentuk kembali komunitas yang stabil setelah mengalami gangguan, pemulihan kembali terumbu karang dapat dilihat dari peningkatan tutupan karang keras sebagai komponen utama pembentuk terumbu (Obura & Grimsditch, 2009).



Acropora intermedia

Porites lobata



Gambar 2.2 Pemutihan karang di Karibia (Anthony *et al.*, 2008)

konsentrasi CO₂ atmosfer yang diprediksi untuk abad ini menghadirkan dua tantangan besar bagi organisme pembangun terumbu karang. Pertama, kenaikan suhu udara yang terkait dengan peningkatan CO₂ akan menyebabkan peningkatan frekuensi dan tingkat keparahan peristiwa pemutihan karang (disintegrasi besar-besaran dari karang yang sangat penting) dengan konsekuensi negatif untuk ketahanan hidup, pertumbuhan, dan reproduksi. Kedua, 30% CO₂ yang dipancarkan ke atmosfer oleh aktivitas manusia diambil oleh laut, menurunkan pH air permukaan ke level yang berpotensi membahayakan atau mencegah pertambahan kalsium karbonat oleh organisme termasuk terumbu karang, alga pengapur, dan beragam organisme lain (Anthony *et al.*, 2008).

Pada tahun 2005 di Karibia tercatat sebagai tahun terpanas karena suhu permukaan laut yang sangat tinggi dan mengakibatkan peristiwa pemutihan karang (Wilkinson & Souther, 2008). Lebih dari 42% karang mengalami pemutihan total dan 95% mengalami beberapa jenis pemutihan. Karibia menjadi salah satu daerah pariwisata dan banyak dikunjungi yang diperkirakan mengandung 14% terumbu karang dunia. Oleh karena pemanasan laut yang berhubungan dengan perubahan iklim menjadi salah satu ancaman paling mendesak bagi terumbu karang di seluruh dunia. (Stella *et al.*, 2016).

II.2 Degree Heating Weeks (DHW)

Kenaikan kondisi suhu air laut di atas kondisi normal akan merusak fotosintesis mikroalga simbiotik yang hidup pada jaringan karang sehingga menyebabkan

pemutihan karang (Burke *et al.*, 2012). *Degree heating weeks* atau DHW merupakan indeks pemutihan karang yang digunakan untuk mengungkapkan kejadian pemutihan. *National Ocean Atmospheric Administrations* (NOAA) melalui *program Coral Reef Watch* (CRW) telah memproduksi peta potensi pemutihan karang yang disebut dengan Hotspot (Liu, *et al.*, 2014). Hot Spot merupakan daerah di mana SPL naik hingga melebihi maksimal perkiraan tahunan (suhu tertinggi pertahun dari rata-rata selama 10 tahun) di lokasi tersebut. Apabila Hot Spot IOC di atas maksimal tahunan bertahan selama 10 minggu atau lebih, maka fenomena pemutihan pasti terjadi (NOAA, dalam Westmaeott *et al.*, 2000). Lamanya sebuah Hotspot mendiami suatu perairan diketahui dengan nilai *Degree Heating Weeks* (DHW), nilai Hotspot dan DHW ini biasa digunakan dalam memetakan pemutihan terumbu karang (Liu, *et al.*, 2014).

$DHW \leq 4$ 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 tersebut di seluruh pengungkapan Kejadian Pemutihan Karang (Wouthuyzen *et al.*, 2015). Apabila sebuah data memiliki hotspot $> 1^{\circ}\text{C}$ maka untuk mengetahui kejadian *bleaching* adalah dengan menghitung lama waktu (minggu) Hotspot mendiami suatu perairan disimbolkan dengan DHW memiliki satuan $^{\circ}\text{C}$ -minggu. DHW di suatu titik (pixel) dihitung menggunakan persamaan berikut (Wouthuyzen *et al.*, 2015) :

$$DHW_{\text{Feb-Jul 2010}} = (HS_{\text{Feb}} + HS_{\text{Mar}} + HS_{\text{Apr}} + HS_{\text{Mei}} + HS_{\text{Jun}} + HS_{\text{Jul}}) \times 4 \dots \dots \dots (1)$$

Stres panas yang berkepanjangan menyebabkan pemutihan karang. Oleh karena itu, diasumsikan bahwa produk DHW yang mengalami Titik Panas lebih besar dari 1 °C yang terjadi selama 12 minggu akan menghasilkan kondisi stres bagi terumbu karang yang mengarah ke pemutihan. DHW 4-8 ° C-minggu menggambarkan "Alert Level-1" dan ini telah terbukti menyebabkan pemutihan karang yang signifikan. DHW di atas 8 ° C-minggu menggambarkan "Alert Level-2" dan ini dapat menyebabkan pemutihan yang meluas (Mohanty *et al*, 2013). Status peringatan pemutihan karang diperkirakan berdasarkan tingkat stres termal menggunakan nilai ambang batas HotSpot dan DHW (Mohanty *et al.*,2013).

DHW adalah indeks tegangan termal untuk lokasi tertentu dan sering digunakan untuk mengidentifikasi area pemutihan, DHW diperoleh dari dua sumber, pertama langsung dari peta citra satelit NOAA dan yang kedua dihitung secara tidak langsung dari situs web JCOMM. Saat ini, DHW NOAA dihitung sebagai anomali positif kumulatif dari rata-rata klimatologi SST dari bulan terpanas secara klimatologis di suatu lokasi (Liu et al. 2005).

Kejadian pemutihan karang yang disebabkan oleh nilai ambang batas DHW tercatat terjadi di Great Barrier Reef pada tahun 1998 dan 2002, Kepulauan Hawaii barat laut pada tahun 2002, Bermuda pada tahun 2003 di Kepulauan Ryukyu pada tahun 2001, dan di Karibia pada 2005 (Kayanne, 2016).

II.3 Salinitas

Suhu dan salinitas merupakan variabel utama yang mempengaruhi kelangsungan hidup dan aktifitas organisme laut (Kinne,1964). Organisme-organism laut memiliki batasan toleransi terhadap suhu dan salinitas (Islami,2013) Salinitas menjadi salah satu besaran yang berperan penting dalam sistem ekologi laut, beberapa jenis organisme ada yang tahan terhadap perubahan nilai salinitas yang besar ada pula yang hanya bertahan jika nilai salinitas mengalami perubahan yang kecil (Arief,1984).

Salinitas sering di artikan sebagai kadar garam dari air laut, Definsi salinitas pertama kali di kemukakan oleh C. Forch; M.Knudsen dan S.PX. Sorensen pada tahun 1902, Salinitas didefinisikan sebagai berat dalam gram dari semua zat padat yang terlarut dalam 1 kilo gram air laut jikalau semua brom dan yodium digantikan dengan khlor dalam jumlah yang setara; semua karbonat diubah menjadi oksidanya dan semua zat organik dioksidasikan. Nilai salinitas dinyatakan dalam g/kg yang umumnya dituliskan dalam ‰ atau ppt yaitu singkatan dari part-per-thousand. Diperkirakan 0,14‰ salinitas air laut lebih kecil dibandingkan dengan kadar garam sesungguhnya yang ada di air laut (Mamayev,1975). Air laut mempunyai perbandingan komposisi garam yang sama untuk hampir semua perairan di dunia (Arief,1984).

II.4 *Sea Surface Temperature (SST)*

Suhu permukaan laut (SST) adalah suhu air dekat dengan permukaan laut, suhu permukaan air laut merupakan indikator untuk memahami interaksi osean dan atmosfer. Berbagai studi telah mengukur data SST dari pelampung, kapal intake dan dengan teknik lain, tetapi catatan pengamatan ini memberikan cakupan spasial yang

tidak memadai, terutama di daerah tropis (Ochoa et al.,2012). Samudra Pasifik khatulistiwa di dominasi laut tropis karena ukurannya, karena itu meliputi wilayah terhangat di lautan, laut hangat Pasifik barat itu adalah sumber utama uap air ke atmosfer dan itu mempengaruhi osilasi antar-tahunan dalam iklim (Lea et al., 2000). Pemanasan lebih cepat di musim dingin di daerah *Loop Current* dan Caribbean tenggara (Iliana C, et al, 2012). Suhu air laut bergantung pada jumlah cahaya yang diterima dari sinar matahari. Daerah-daerah yang menerima sinar matahari terbanyak adalah daerah yang berada pada lintang 0 oleh karena itu suhu air laut tertinggi adalah di equator (Weyl 1970 dalam Pardede 2001). Suhu permukaan air laut biasanya berkisar 27°C–29°C di daerah tropis dan 15°C–20°C di daerah subtropis (Smith dan Reynolds 2003).

Pemanasan yang cukup besar disebabkan oleh angin darat bahkan di daerah yang peningkatannya cukup konstan, seperti pantai barat laut Amerika Selatan. Nilai-nilainya yang penting dalam memprediksi cuaca SST sebagai pengaruh atmosfer atas, seperti dalam pembentukan angin laut. Hal ini juga digunakan untuk mengkalibrasi pengukuran dari satelit cuaca (Hadiwijoyo, Ereko. 2012). Laut Caribbean merupakan salah satu laut terbesar dan memiliki luas wilayah sekitar 2.754.000 km² (1.063.000 mil persegi). Titik terdalam laut ini adalah Palung Cayman, antara Kuba dan Jamaika, dengan kedalaman 7.500m (250.000 kaki) di bawah permukaan laut. Sejumlah penelitian sebelumnya telah meneliti hubungan antara suhu permukaan laut (SST) anomali (SSTA) di cekungan tropis dan Atlantik tropis dan curah hujan di Caribbean. Hastenrath (1978, 1984), Ropelewski (1987, 1989), Ropelewski dan Halpert (1986), Rogers (1988) dan Enfield (1996) semua

point untuk hubungan antara peristiwa El Niño-osilasi selatan (ENSO) dan curah hujan Caribbean. Demikian pula, Enfield (1996), Chen et al (1997), Giannini et al (2000), Chen dan Taylor (2002), menunjukkan bahwa ada hubungan antara anomali curah hujan Caribbean dan variasi di Utara tropis SST Atlantik. Namun, pada tahun 1999 Enfield dan Alfaro melakukan penelitian, yang mengusulkan agar anomali curah hujan di Caribbean juga terjadi tergantung pada bagaimana anomali di kedua samudera tropis bergabung. SST Anomali merupakan penyimpangan dari kondisi rata-rata suhu permukaan laut, beberapa anomali suhu permukaan laut hanyalah peristiwa sementara, bukan bagian dari pola atau tren tertentu. Suhu permukaan air laut di Samudra Pasifik di sepanjang khatulistiwa menjadi lebih hangat atau lebih dingin dari biasanya. Anomali ini adalah ciri khas siklus iklim *El Niño* dan *La Niña*, yang dapat mempengaruhi pola cuaca di seluruh dunia. Pada daerah pantai, suhu anomali (baik hangat atau dingin) dapat mendukung satu organisme dalam suatu ekosistem lebih dari yang lain, menyebabkan populasi satu jenis bakteri, ganggang, atau ikan tumbuh atau menurun. Anomali permukaan laut yang hangat juga dapat mempengaruhi pengelola sumber daya alam di mana terumbu karang berada dalam bahaya pemutihan (Earth Observatory.nasa)

Variasi tahunan dalam suhu air rata-rata bulanan di permukaan tidak melebihi 3°C (5,4°F). Selama lima puluh tahun terakhir Caribbean telah melalui tiga tahap: pendinginan hingga 1974; fase dingin dengan puncak selama 1974–1976 dan 1984–1986 lalu; fase pemanasan dengan peningkatan suhu 0,6 ° C (1,1 ° F) per tahun. Hampir semua suhu ekstrem dikaitkan dengan fenomena *El Niño* dan *La Niña*. Salinitas air laut sekitar 3,6% (Caribbean Sea, 2019).

II.5 *Pacific Decadal Oscillation (PDO)*

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

Ketika terjadi PDO fase panas, suhu permukaan air laut (SST) di wilayah Pasifik Tengah bagian utara cenderung dingin, bertepatan dengan anomaly kenaikan SST di sepanjang pantai barat Amerika. Pada bulan oktober, hingga maret, anomaly tekanan permukaan laut/sea level pressure (SLP) panas ini menjelma menjadi pola osilasi. Tekanan rendah di Amerika Utara bagian barat, dan Pasifik Subtropis memperkuat intensitas angin serarah jarum jam di wilayah ini. Anomali akibat fenomena PDO ini dapat meluas ke seluruh bagian troposfer, hingga mengakibatkan pola telekoneksi Pasifik – Amerika Utara/Pacific North America (PNA) Anomali PDO fase dingin merupakan fenomena yang berkebalikan dengan PDO fase panas (Wallace dan Gutzler (1981).

Terdapat tiga karakteristik utama yang membedakan PDO dari *El Niño Southern Oscillation (ENSO)*. Pertama, kejadian PDO pada abad ke – 20 berlangsung selama

kurun waktu 20 – 30 tahun, sementara kejadian ENSO umumnya berlangsung selama kurun waktu 6 – 18 bulan; Kedua, jejak fenomena iklim akibat PDO terutama tampak pada wilayah Amerika Utara, dan Pasifik Utara, sementara gejala meteorologis akibat ENSO lebih nampak di wilayah Pasifik Tropis; Ketiga, mekanisme terjadinya PDO hingga saat ini masih belum diketahui, sementara mekanisme ENSO relatif lebih dikenali oleh para ahli (Mantua et al., 1997; dan Zhang et al., 1997). Anomali iklim Amerika Utara yang diakibatkan oleh PDO memiliki kemiripan dengan anomali iklim yang ditimbulkan oleh ENSO, meskipun tidak begitu ekstrem (Latif, dan Barnett, 1996).

II.6 Sunspot Number

Sinar matahari yang sampai di bumi merupakan sumber utama energi yang terkait dengan kegiatan atmosfer seperti hujan, angin, siklon tropis, musim panas, musim dingin, pola iklim di suatu wilayah. Sunspot (bintik/noda matahari) adalah daerah di lapisan fotosfer yang temperaturnya lebih rendah (4000 – 4500 K) dari pada daerah di sekelilingnya (6000 K) hal tersebut disebabkan oleh turunnya suhu di permukaan matahari. Sunspot terbentuk akibat adanya aktivitas magnetik di dalam matahari. Rotasi matahari di khatulistiwa lebih cepat dari pada 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 (Subgan, 2013). Ada dua jenis pengelompokan sunspot, yaitu klasifikasi Zurich dan klasifikasi Mount Wilson. Pada dasarnya sunspot dikelompokkan berdasarkan polaritasnya

(unipolar/bipolar) dan kekompleksannya (apakah mempunyai penumbra atau tidak, banyak/sedikitnya titik sunspot dalam satu grup) (Basyruddin,2008).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC,2001) mencatat proses pemanasan global yang berlangsung telah mempengaruhi sedikitnya 420 lokasi hidup binatang dan tanaman di seantero Bumi. Terumbu karang laut makin banyak yang mati, karena suhu laut yang makin panas. Kekeringan juga menjadi hal biasa di beberapa wilayah Asia-Afrika, dan *El Niño* yang menyebabkan cuaca buruk di sebelah timur Pasifik, makin kerap muncul. Daratan es kutub juga mulai mencair. Pola-pola migrasi binatang seperti beruang kutub, atau kupu-kupu, berubah secara drastis. Menurut IPCC (2001), manusia lewat industrialisasi dan upaya memperoleh kenyamanan hidup telah meningkatkan konsentrasi gas karbondioksida hingga 30% lebih banyak dari masa sebelum revolusi industri. Malah setiap tahun, angka peningkatan penambahan karbondioksida ini makin tinggi, sehingga diduga dapat menaikkan temperatur global

II.7 *El Niño Southern Oscillation (ENSO)*

Fenomena ENSO adalah suatu fenomena yang terdiri atas dua fase yaitu *El Niño* dan *La Niña* (Philander,1990). Fenomena ENSO merupakan suatu kondisi permukaan laut di wilayah Samudera Pasifik Ekuatorial mengalami kenaikan atau penurunan suhu permukaan laut (Nabilah,2017). ENSO merupakan pola berulang dari variabilitas iklim di bagian timur samudera Pasifik yang ditandai dengan anomali temperatur permukaan laut (pemanasan permukaan laut menggambarkan kejadian *El Niño* sedangkan pendinginan permukaan laut menggambarkan kejadian *La Niña*) dan anomali Sea level pressure (Southern

Oscillation) (Naylor *et al.*, 2001 dalam Asyakur A,R.2010). Nilai ENSO dapat ditunjukkan dengan *Oceanic Nino Index (ONI)*.

El Niño diartikan sebagai fenomena adanya perbedaan positif antara suhu muka laut yang teramati dibandingkan keadaan normalnya di wilayah Samudera Pasifik ekuatorial. *El Niño* merupakan fenomena lautan-atmosfer skala global (Philander, 1990 dalam Septicorini, E. P. 2009). Kondisi demikian terjadi secara berulang dalam setiap periode 3-8 tahun dan biasanya berkaitan dengan indeks osilasi selatan yang bernilai negatif. Kejadian umum dari pemanasan semacam itu selalu terjadi pada bulan Desember menjelang natal sehingga mereka terinspirasi untuk menamainya *El Niño* artinya anak laki – laki (bahasa Spanyol). Fenomena ini terjadi dimulai pada tahun 1970-an (Diaz dan Mark graf, 1993; Glantz *et al.*, 1991).

Peristiwa *La Niña* dikaitkan dengan peningkatan curah hujan di sebagian besar Australia utara dan timur, peristiwa *La Niña* tidak dapat dilihat secara pasifik, periodenya pun tidak tetap. Rata-rata *La Niña* terjadi secara 3 tahun hingga 7 tahun sekali. Dan dapat berlangsung 12 bulan hingga 36 bulan, *La Niña* tidak mempunyai periode yang tetap sehingga semua diperkirakan kejadiannya pada 6 bulan hingga 9 bulan sebelumnya. Pada saat kondisi *La Niña*, suhu muka laut di Pasifik Ekuator Timur lebih rendah dari pada kondisi normalnya. Sedangkan suhu muka laut di wilayah Indonesia menjadi lebih hangat. Sehingga terjadi banyak konveksi dan mengakibatkan massa udara berkumpul di wilayah Indonesia, termasuk massa udara dari Pasifik Ekuator Timur. Hal tersebut menunjang pembentukan awan dan hujan. Sehingga fenomena *La Niña* sering mengakibatkan curah hujan jauh di atas

normal yang bisa menimbulkan banjir dan tanah longsor, bahkan sering diikuti angin kencang (Avia & Hidayati, 2001). *El Niño* merupakan salah satu bentuk penyimpangan iklim Samudera Pasifik yang ditandai dengan kenaikan SST (*Sea Surface Temperature*) di daerah khatulistiwa bagian tengah dan timur, Anomali positif mengindikasikan terjadinya *El Niño*. Kenaikan anomaly SST diikuti dengan melemahnya angin pasat yang mengakibatkan pergeseran konveksi pembentuk awan-awan hujan. Pada kondisi normal, daerah konveksi berada di daerah barat Samudera Pasifik. Namun, pada saat kondisi *El Niño* zona konveksi bergeser ke tengah-tengah Samudera Pasifik. Fenomena *La Niña* ditandai dengan menurunnya Suhu permukaan air laut (anmali negatif) sehingga sering disebut fase dingin (Jamili *et all*, 2018).

Kejadian ENSO yang kuat dapat menyebabkan perubahan iklim pada daerah tropis pasifik yang mempengaruhi sirkulasi atmosfer global (Trenberth *et al.*, 1998). Indikator untuk menentukan terjadinya *El Niño* maupun *La Niña* adalah SST (Sea Surface Temperature), SOI (*Southern Oscillation Index*) dan MEI (Multivariate ENSO Index) (Mulyanti,2012).

II.8 Model *Multiple Regression* (MR)

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). Persamaa ini 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 linier disebut sebagai regresi linier berganda atau *Multiple Regression (MR)*. Metode Regresi Linear mempunyai beberapa kegunaan seperti : sebagai tujuan deskripsi dari fenomena data atau kasus yang sedang diteliti, tujuan pengendalian dan tujuan prediksi. Regresi mampu mendeskripsikan fenomena data melalui terbentuknya suatu model hubungan yang 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):

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_nX_n \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

Y : Variabel Terikat / Hasil Regresi

X_1X_2 : Variabel Bebas / Prediktor

a : Konstanta

b_1b_2 : Koefisien Regresi

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

$$\bar{X}_1 = \frac{\sum X_1}{n} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\bar{X}_2 = \frac{\sum X_2}{n} \dots\dots\dots(2.4)$$

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

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

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

$$a = \bar{Y} - b_1\bar{X}_1 - b_2\bar{X}_2 \dots\dots\dots(2.8)$$

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 Verifikasi Prediksi

Verifikasi adalah proses menilai kualitas suatu prediksi (*forecast*). Dalam proses ini, suatu hasil prediksi dibandingkan dengan nilai pengamatan/observasi. Sebelumnya, perlu dilakukan secara kualitatif dengan menampilkan gambar-gambar hasil prediksi dengan nilai observasi (data). Pengertian kualitatif di sini adalah untuk melihat kesesuaian (*visual-“eyeball”*) antara hasil prediksi dan observasi.

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

II.9.1 Korelasi *Pearson*

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

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \dots\dots\dots(2.9)$$

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 variabel yang lainnya yang dinyatakan dalam persen.

II.9.2 Root Mean Square Error (RMSE)

Nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) diperoleh dengan cara menghitung nilai akar dari rata – rata kuadrat dari nilai kesalahan yang menggambarkan selisih antara data observasi dengan nilai hasil prediksi. Dapat dihitung dengan persamaan (Halide, 2009) :

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

Dengan:

X_i = Data observasi

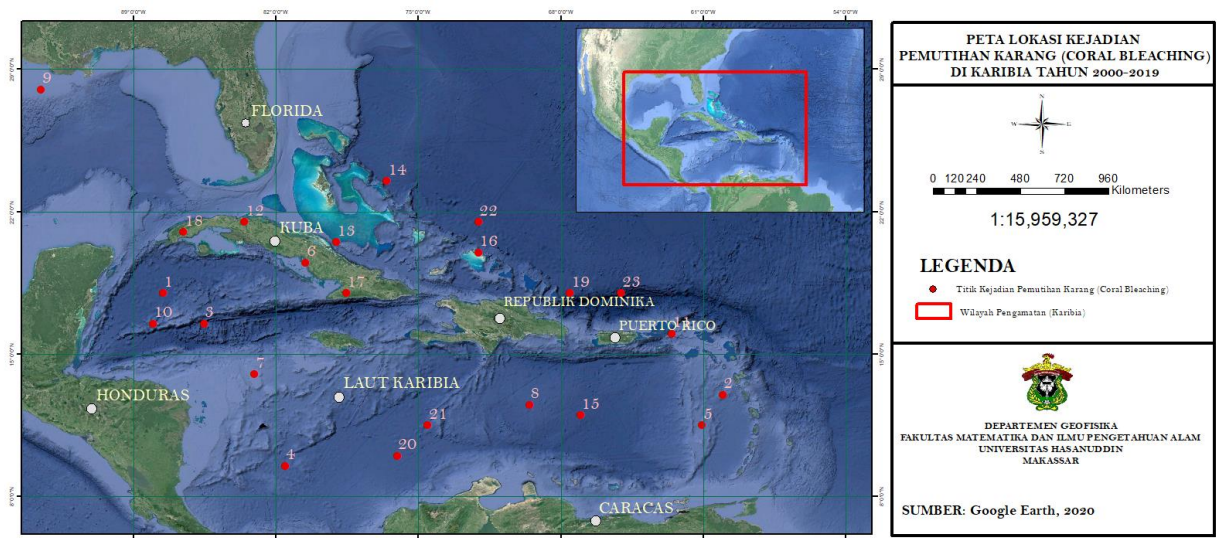
Y_i = Data prediksi

n_i = Jumlah data

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Lokasi Penelitian



Gambar 3.1 Wilayah Penelitian (Laut Karibia)

Laut Karibia adalah sebuah laut tropis terletak di Samudra Atlantik Utara dan bersebelahan dengan tenggara Teluk Meksiko. Laut Karibia mencakup seluruh lempengan Karibia dan di selatan dibatasi oleh Venezuela, Kolombia, dan Panama. Di barat dibatasi oleh Kosta Rik, Nikaragua, Honduras, Guatemala, Belize dan semenanjung Yucatan Meksiko. Di utara oleh kepulauan Antilles Besar, Kuba, Hispaniola, Jamaika, dan Puerto Riko serta di timur oleh Antilles Kecil. Laut Karibia merupakan salah satu laut terbesar dan memiliki luas wilayah sekitar 2.754.000 km² (1.063.000 mil persegi). Titik terdalam laut ini adalah Palung Cayman, antara Kuba dan Jamaika, dengan kedalaman 7.500m (250.000 kaki) di bawah permukaan laut. Seluruh wilayah Laut Karibia, terutama pulau-pulunya, dikenal sebagai Kepulauan Karibia. Karibia atau Hindia Barat adalah sekelompok

pulau yang terdapat di Laut Karibia. Pulau-pulau ini terbentang menuju selatan dari bawah Florida ke barat laut Venezuela di Amerika Selatan. Paling tidak terdiri dari 7000 pulau, pulau kecil, karang, dan *caye*. Kepulauan ini dikelompokkan menjadi dua puluh lima wilayah termasuk negara merdeka, departemen luar negeri, dan daerah administratif lainnya.

III.2 Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang meliputi data dependen dan independen dimana data dependen merupakan data observasi yaitu DHW dan data independen merupakan data prediktor yang terdiri dari 6 jenis prediktor. Langkah pertama adalah mengumpulkan dan mengolah data-data tersebut. Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya:

III.2.1 Data *Degree Heating Weeks*

Data DHW tahun 2000 sampai dengan 2019 diperoleh dari situs NOAA:

<https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/vs/docs/list>

III.2.2 Data SST (Sea Surface Temperature)

Data bulanan SST (Sea Surface Temperatur) dari tahun 1982 sampai tahun 2019 yang diperoleh dari situs NOAA:

<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html>

III.2.3 Data Sunspot Number

Data Sunspot tahun 1986 sampai tahun 2017 yang diperoleh dari situs KNMI Climate Explorer (<https://climexp.knmi.nl/getindices.cgi?SIDCData/sunspots>).

III.2.4 Data Salinitas

Data Hotspot tahun 2000 sampai dengan tahun 2019 yang diperoleh pada situs NOAA:https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/db_search/

III.2.5 Data Pacific Decadel Oscillation (PDO)

Data PDO tahun 1850 sampai dengan tahun 2019 yang diperoleh pada situs KNMI *Climate Explorer*: (https://climexp.knmi.nl/data/ipdo_hadsst3_a.txt)

III.2.6 Data ENSO

Data ENSO 3.4 diperoleh pada situs KNMI *Climat Explorer*:
(https://climexp.knmi.nl/data/ipdo_hadsst3_a.txt)

III.3 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Software Matlab R2017a*

III.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian terbagi menjadi beberapa tahap, diantaranya tahap persiapan data (pengumpulan data) dan tahap pengolahan data.

III.4.1 Tahap Persiapan dan Pengumpulan Data

Langkah pertama yang dilakukan ialah mempersiapkan penelitian, mengumpulkan informasi-informasi terkait penelitian dan melakukan studi literatur untuk mendapat teori yang mendukung kegiatan penelitian, dapat diperoleh melalui buku-buku dan jurnal. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder meliputi data *Degree Heating Weeks* di Karibia, data atmosfer global

dan oseanik (*SST Anomali, Sunspot, PDO, Salinitas* dan *SST (Sea Surface Temperature)*)

III.4.2 Tahap Pengolahan Data

Adapun tahapan pengolahan data dalam penelitian ini, yaitu:

1. Menyiapkan data yang telah diperoleh kemudian melakukan koreksi atau penyesuaian data secara manual pada *Microsoft Excel*. Selanjutnya meratakan data *Degree Heating Weeks, dan SST Anomali* pada *Microsoft Excel* kemudian mengolah data atmosfer global dan oseanik dengan data *Degree Heating Weeks* yang telah dirata-ratakan pada *Software Matlab R2017a* menggunakan analisis *multiple regression* untuk mengetahui prediktor atmosfer dan oseanik yang paling signifikan berpengaruh terhadap terjadinya Pemutihan Karang.

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

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_nX_n \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana :

Y : Hasil prediksi suhu pada saat terjadinya coral bleaching

X_1X_2 : prediktor atmosfer Global dan oseanik

a : Konstanta

b_1b_2 : Koefisien Regresi

2. Verifikasi prediksi, pada tahap ini data kejadian *Coral bleaching* diverifikasi menggunakan beberapa kategori (rendah sedang dan parah) untuk setiap jumlah prediktor yang signifikan menggunakan kemampuan deterministik yaitu dengan menghitung nilai korelasi pearson dan presentasi kebenaran pada model.

III.5 Bagan Alir Penelitian

