

PENGARUH FAKTOR *GLOBAL OCEAN* TERHADAP POPULASI *CROWN OF THORNS STARFISH* DI GREAT BARRIER REEF, AUSTRALIA

AINI SUCI FEBRIANTI

H042221003



**PROGRAM STUDI MAGISTER GEOFISIKA
DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

2024

**PENGARUH FAKTOR TERHADAP POPULASI *CROWN OF THORNS*
STARFISH DI GREAT BARRIER REEF, AUSTRALIA**

Tesis

sebagai salah satu syarat untuk mncapai gelai magister

Program Studi Magister Geofisika

Disusun dan diajukan oleh

AINI SUCI FEBRIANTI

H042221003

kepada

**PROGRAM STUDI MAGISTER GEOFISIKA
DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2024**

TESIS

**PENGARUH FAKTOR GLOBAL OCEAN TERHADAP POPULASI
CROWN OF THORNS STARFISH DI GREAT BARRIER REEF,
AUSTRALIA**

AINI SUCI FEBRIANTI

NIM: H042221003

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam
rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
pada tanggal Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

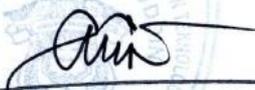
Pembimbing Utama


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

Ketua Program Studi
Geofisika S2


Dr. Sakka, M.Si.
NIP. 19620320 198711 2 001

Dekan Fakultss MIPA
Universitas Hasanuddin


Dr. Eng. Amiruddin, M.Si.
NIP. 19720515 199702 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis berjudul "Pengaruh Faktor *Global Ocean* Terhadap Populasi *Crown of Thorns Starfish* di Great Barrier Reef, Australia" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc. sebagai Pembimbing Utama. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di *Journal Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation – International Journal of the Bioflux Society (AACL Society)*. Sebagai artikel dengan judul "The Effect of *Global Ocean Factors on The Crown of Thorns Starfish Population in Great Barrier Reef, Australia*".

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 6 Agustus 2024



Aini Suci Febrianti

NIM H042221003

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah rabbi 'aalamiin, Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dengan segenap kemampuannya dapat menyelesaikan tesis yang berjudul "Pengaruh Faktor *Global Ocean* Terhadap Populasi Crown of Thorns Starfish di Great Barrier Reef, Australia". Tak lupa shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW dan kepada keluarga, para sahabat dan seluruh ummatnya yang senantiasa istiqamah sampai akhir zaman.

Saya bersyukur bahwa tesis ini akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses sehingga tesis ini dapat terampungkan dan selesai atas bimbingan, diskusi dan arahan Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc selaku pembimbing utama. Saya mengucapkan berlimpah terima kasih kepada beliau. Terima kasih juga kepada bapak penguji, Dr. Sakka, M.Si, dan Dr.Eng. Muh. Alimuddin Hamzah Assagaf, M.Eng yang senantiasa memberikan masukan, kritikan, motivasi dalam perbaikan dan penyusunan tesis ini. Terima kasih kepada pihak Pusat Data *Australian Institute of Marine Science* (AIMS) dan *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) yang telah menyediakan data yang diperlukan untuk melakukan analisis dan pemodelan ini di situs webnya." Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada pimpinan Universitas Hasanuddin dan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program Magister serta para dosen dan staf departemen Geofisika dengan segala bantuan, ilmu serta arahan yang bermanfaat bagi penulis. Tak lupa pula saya ucapkan terima kasih kepada kak Abdi Nur Rajalau, S.Si., M.T. yang telah memberikan bantuan serta saran kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan tesis ini.

Teruntuk kepada kedua orang tua tercinta saya Naharuddin Supu, S.E., M.Si. dan Andi Fatmawati, S.E., M.Si., saya mengucapkan limpah terima kasih dan sembah sujud dan doa, pengorbanan dan memotivasi mereka selama saya menempuh pendidikan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada kakak dan adik tercinta, Ainun Rahmawati, S.P. dan Alief Rahman Syahputra dan seluruh keluarga atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai. Ucapan terima kasih

juga saya saya ucapkan kepada para sobat Basecamp, sobat A6, sobat Epicentrum, sobat GO18, sobat Esde, sobat ELC, sobat CBF, yang telah senantiasa memberikan semangat, bantuan, saran, dan motivasinya selama ini. Tak lupa pula saya ucapkan terimakasih kepada rekan-rekan mahasiswa S2 Geofisika, terkhusus Syamsinar, teman seperbimbingan yang telah memberikan segala dukungan dan motivasinya selama ini.

Terakhir, tentunya saya ucapkan terima kasih terkhusus ke diri sendiri karena telah mampu berusaha keras dan berjuang sejauh ini, mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan diluar keadaan dan tak pernah memutuskan menyerah sesulit apapun proses penyusunan tesis ini dengan menyelesaikan sebaik dan semaksimal mungkin, ini merupakan pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri.

Penulis memahami bahwa hasil penelitian ini masih memiliki kekeliruan. Dengan demikian, peneliti meminta kritik dan arahan yang membangun dari para pembaca guna memperbaiki karya ini. Terimakasih

Penulis

Aini Suci Febrianti

ABSTRAK

AINI SUCI FEBRIANTI. **Pengaruh Faktor *Global Ocean* Terhadap Populasi *Crown of Thorns Starfish* Di Great Barrier Reef, Australia** (dibimbing oleh arahan Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc.).

Great Barrier Reef (GBR) merupakan ekosistem terumbu karang paling luas di dunia yang diakui secara internasional sebagai World Heritage Area yang sangat penting. Munculnya *Crown of Thorns Starfish* (COTS) yang dikenal sebagai predator karang ini menyebabkan kerusakan terumbu karang di Kawasan Great Barrier Reef. Ada berbagai hipotesis yang muncul untuk menjelaskan penyebab dari meningkatnya populasi COTS itu sendiri, salah satunya ialah adanya perubahan suhu permukaan laut dan salinitas yang dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan populasi COTS. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemodelan terhadap populasi COTS yang dipengaruhi oleh prediktor atmosfer lautan di kawasan Great Barrier Reef. Penelitian ini menggunakan model *Multiple Regression* (MR) dengan metode Stepwise. Data yang digunakan terbagi menjadi dua, yaitu data observasi dan data prediksi. Data observasi adalah data populasi COTS di GBR, mulai tahun 1992 hingga 2023, dan data prediksi adalah data Arus Laut, Suhu atau *Sea Surface Temperature* (SST), dan Salinitas, mulai dari tahun 1991 sampai tahun 2023. Berdasarkan hasil penelitian, dari 39 prediktor dihasilkan 5 prediktor yang berpengaruh terhadap populasi COTS, yaitu *Sea Surface Temperature* (SST) 11 bulan sebelum munculnya COTS dengan nilai koefisien β sebesar -223.612, Kecepatan Arus 9 sebelum munculnya COTS dengan nilai koefisien β sebesar -1111.21, Kecepatan Arus 8 bulan sebelum munculnya COTS dengan nilai koefisien β sebesar -30404.94, Salinitas 7 bulan sebelum munculnya COTS dengan nilai koefisien β sebesar 39421 dan Kecepatan Arus 1 bulan sebelum munculnya COTS dengan nilai koefisien β sebesar 193647.1 dengan nilai korelasi Pearson (R) sebesar 0.74 dengan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 210.13 ± 12.25 kasus.

Kata Kunci. *Crown of Thorns Starfish* (COTS), *Sea Surface Temperature* (SST), Salinitas, Arus Laut, *Stepwise Regression*.

ABSTRACT

AINI SUCI FEBRIANTI. **The Effect of Global Ocean Factors on The Crown of Thorns Starfish Population in Great Barrier Reef, Australia** (supervised by Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc.).

The Great Barrier Reef (GBR) is the world's largest coral reef ecosystem, internationally recognized as a highly significant World Heritage Area. The emergence of the Crown of Thorns Starfish (COTS), known as a coral predator, has caused damage to the coral reefs in the Great Barrier Reef area. Various hypotheses have been proposed to explain the causes of the increasing COTS population, one of which is changes in sea surface temperature and salinity that can affect the growth and development of the COTS population. This study aims to model the COTS population influenced by oceanic atmospheric predictors in the Great Barrier Reef area. This study uses a Multiple Regression (MR) model with the Stepwise method. The data used is divided into two: observation data and prediction data. Observation data is the COTS population data in the GBR, from 1992 to 2022, and prediction data includes Sea Currents, Sea Surface Temperature (SST), and Salinity, from 1991 to 2023. Based on the study results, out of 39 predictors, 5 predictors were found to affect the COTS population: Sea Surface Temperature (SST) 11 months before the appearance of COTS with a β coefficient value of -223.612, Current Speed 9 months before the appearance of COTS with a β coefficient value of -1111.21, Current Speed 8 months before the appearance of COTS with a β coefficient value of -30404.94, Salinity 7 months before the appearance of COTS with a β coefficient value of 39421, and Current Speed 1 month before the appearance of COTS with a β coefficient value of 193647.1, with a Pearson correlation value (R) of 0.74 and a Root Mean Square Error (RMSE) of 210.13 ± 12.25 cases.

Keywords. Crown of Thorns Starfish (COTS), Sea Surface Temperature (SST), Salinity, Current Sea, Stepwise Regression.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 <i>Crown of Thorns Starfish</i>	4
2.1.1 Populasi <i>Crown of Thorns</i> di Great Barrier Reef.....	5
2.2 Faktor Penyebab Populasi.....	6
2.2.1 Arus Laut	6
2.2.2 <i>Sea Surface Temperature</i> (SST)	7
2.2.3 Salinitas	8
2.3 <i>Multiple Regression Model</i>	9
2.3.1 <i>Stepwise Regression</i>	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	12
3.1 Lokasi Penelitian	12
3.2 Data Penelitian	12
3.2.1 Data <i>Crown of Thorns Starfish</i> (COTS).....	12
3.2.2 Arus Laut	12
3.2.3 <i>Sea Surface Temperature</i> (SST)	13
3.2.4 Salinitas	13
3.3 Alat Penelitian	13
3.4 Prosedur Penelitian	13

3.4.1	Tahap Persiapan dan Pengumpulan Data.....	13
3.4.1	Tahap Pengolahan Data.....	13
3.4.2	Tahap Penyusunan Hasil	14
3.5	Bagan Alir Penelitian	15
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1	Hasil.....	16
4.1.1	Signifikansi Prediktor.....	16
4.1.2	Model Pengaruh Kondisi Osean terhadap Populasi COTS	17
4.2	Pembahasan	18
BAB V	PENUTUP.....	22
5.1	Kesimpulan.....	22
5.2	Saran	22
DAFTAR PUSTAKA	23
LAMPIRAN	31

DAFTAR GAMBAR

1. Selama fenomena parah, <i>Crown of Thorns Starfish</i> bisa menjadi sangat padat sehingga menumpuk satu sama lain [20].....	5
2. Lokasi persebaran titik kejadian dan populasi COTS di Great Barrier Reef, Australia.....	12
3. Bagan Alir Penelitian	15
4. Pemodelan Efek <i>Ocean</i> Terhadap Populasi <i>Crown of Thorns Starfish</i> (COTS)	18

DAFTAR TABEL

1. Signifikansi Model	16
-----------------------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Terumbu karang merupakan ekosistem yang sangat penting bagi kelangsungan hidup biota laut. Proses pertumbuhan terumbu karang memerlukan perairan yang jernih, suhu yang hangat, gerakan gelombang, sirkulasi lancar, dan terhindar dari proses sedimentasi (Oktarina et al., 2014). Keanekaragaman hayati yang besar didukung oleh berbagai interaksi di dalamnya menjadikan ekosistem ini sangat kompleks dan peka terhadap pengaruh dan gangguan organisme terkait, terutama manusia (Keshavmurthy et al., 2019).

Terumbu karang dunia berkurang karena faktor-faktor seperti pengasaman laut, kenaikan suhu akibat perubahan iklim, penangkapan ikan berlebihan dan polusi. Tutupan karang global telah berkurang sekitar 125.000 km² dalam 50 tahun terakhir (Rahmi, 2014).

Great Barrier Reef merupakan ekosistem terumbu karang paling luas di dunia yang diakui secara internasional sebagai World Heritage Area yang sangat penting. Day (2016) mengemukakan bahwa keanekaragamannya termasuk tetapi tidak terbatas pada lebih dari 410 spesies karang keras, lebih dari 1.620 spesies ikan, 2.000 spesies bunga karang, 14 spesies ular laut, enam dari tujuh spesies penyu laut dunia, setidaknya 300 spesies moluska, 630 spesies echinodermata, dan 500 spesies ganggang laut. Tidak ada Area Warisan Dunia lain di planet ini yang memiliki keanekaragaman seperti itu (Richards dan Day, 2018).

Great Barrier Reef (GBR) adalah struktur hidup terbesar di planet ini dan saat ini berada di bawah tekanan kuat dari perubahan iklim dan ancaman lainnya. Fenomena *Crown of Thorns Starfish* (COTS) dimulai di GBR pada tahun 2010 (Pratchett et al., 2014) yang memperburuk kematian karang yang terkait dengan satu dekade siklon tropis yang parah dan peristiwa pemutihan karang massal berturut-turut pada 2016, 2017 dan 2020 (Hughes et al., 2017; Mellin et al., 2019; Condie et al., 2021). *Crown of Thorns Starfish*, *Acanthaster planci* (L.), adalah penghuni terumbu karang yang terkenal, terjadi dalam populasi yang merebak (biasa disebut fenomena aktif) di seluruh wilayah Indo-Pasifik (De'ath dan Moran, 1998). *Crown of Thorns Starfish* telah berkontribusi besar terhadap penurunan tutupan karang di Great Barrier Reef, Australia (Babrock et al., 2016).

Di Great Barrier Reef, populasi tinggi pertama yang didokumentasikan terdeteksi pada tahun 1962 di Green Island, meskipun kepadatan tinggi dari COTS ini dilaporkan pada terumbu GBR lainnya pada 1950-an dan sebelumnya. Sejak 1962, ada tiga episode populasi tinggi tambahan pada GBR, dimulai pada tahun 1979, 1993, dan 2010 (Vanhatalo, 2017). Wilmes et al. (2016) menyebutkan bahwa selama 27 tahun (1985 sampai 2012), GBR telah kehilangan sekitar setengah dari tutupan karang awalnya, dengan 42% dari kehilangan ini disebabkan oleh populasi tinggi *Crown of Thorns Starfish* secara berulang (Hall et al., 2017). Kerugian yang signifikan pada tutupan karang terjadi terutama pada saat populasi *Crown of Thorns Starfish* meningkat sebanyak 10 kali lipat dalam satu tahun (Kayal et al., 2012).

Penelitian yang dilakukan oleh Pratchett et al. (2017) dengan jelas menunjukkan bahwa perubahan iklim, pemanasan samudra dan pengasaman laut dapat meningkatkan keberhasilan reproduksi dan kelangsungan hidup larva *Crown of Thorns Starfish*, dan kemungkinan juga dapat memperburuk frekuensi populasi.

Gangguan populasi *Crown of Thorns Starfish* Pasifik pemakan karang dan perubahan iklim dianggap sebagai dua kontributor terbesar hilangnya karang, terutama di Pasifik barat (De'ath et al., 2012; Baird et al., 2013; Hoodonk et al., 2016; Mellin et al., 2019; Castro-Sanguino et al., 2021). Perairan tropis dan subtropis yang mengelilingi terumbu karang telah menghangat sekitar $\sim 1^{\circ}\text{C}$ sejak masa pra-industri (Lough et al., 2018; Negri et al., 2020) dan proyeksi perubahan iklim menunjukkan bahwa mereka kemungkinan akan semakin panas selama beberapa dekade mendatang (IPCC, 2013; IPCC 2021). Suhu ekstrim dan predasi COTS dianggap memiliki efek negatif kumulatif atau sinergis pada karang, mengurangi ketahanan ekosistem terumbu karang (Vercelloni et al., 2017; Kamya et al., 2018; Haywood et al. 2019; Keesing et al., 2019; Lang et al., 2022).

Penelitian terbaru yang dilakukan oleh Rajalau (2020) menyatakan bahwa terdapat beberapa faktor atmosfer lautan yang mempengaruhi perkembangbiakan Crown of Thorns yakni *Sea Surface Temperature* (SST), salinitas, *Watercourse Discharge* (WD), *Sunspot Number* (SSN), *Ocean Heat Content* (OHC), monsun, *Pacific Decadal Oscillation* (PDO), *Niño 3.4* atau *El Niño Southern Oscillation* (ENSO), *Madden-Julian Oscillation* (MJO), *Indian Ocean Dipole* (IOD), dan *West Pacific Index* (WPI) dengan korelasi 0,58. Oleh karena itu, penelitian ini hanya

berfokus pada pemodelan efek dari kondisi lautan terhadap kelimpahan populasi *Crown of Thorns Starfish* di Great Barrier Reef dengan menggunakan analisis model statistik, yaitu *Multiple Regression (MR)* dengan metode *Stepwise*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana analisis model prediktor signifikan dan populasi *Crown of Thorns Starfish* berdasarkan parameter *ocean* di kawasan Great Barrier Reef?
2. Bagaimana analisis verifikasi model prediktor signifikan terhadap populasi *Crown of Thorns Starfish*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Menganalisis model prediktor signifikan dan populasi *Crown of Thorns Starfish* berdasarkan parameter *ocean* di kawasan Great Barrier Reef.
2. Menganalisis analisis verifikasi model prediktor signifikan terhadap populasi *Crown of Thorns Starfish*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah memberikan wawasan mendalam mengenai faktor-faktor oseanografi yang mempengaruhi populasi *Crown of Thorns Starfish* di Great Barrier Reef. Hasil penelitian ini diharapkan menghasilkan model prediktif yang akurat, yang dapat digunakan untuk merancang strategi pengelolaan dan konservasi terumbu karang yang lebih efektif. Selain itu, penelitian ini juga mendukung perumusan kebijakan lingkungan yang lebih baik, meningkatkan metode pemantauan lingkungan, dan menambah pengetahuan ilmiah tentang ekologi laut. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada upaya perlindungan dan rehabilitasi ekosistem terumbu karang serta meningkatkan kesadaran dan edukasi masyarakat tentang pentingnya menjaga kesehatan terumbu karang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Crown of Thorns Starfish*

Crown of Thorns Starfish (COTS) dengan nama latin *Acanthaster planci* L. terkenal karena kemampuannya merusak ekosistem terumbu karang (Oktarina et al., 2014). Hal ini terutama disebabkan oleh kenaikan kepadatan COTS dari biasanya sangat rendah (<1 COTS per hektar) menjadi sangat tinggi (>1000 COTS per hektar) selama periode fenomena populasi (Pratchett et al., 2017). *Acanthaster planci* merupakan predator karang yang sangat berbahaya ketika terjadi peningkatan populasi, menyebabkan hampir semua karang hidup dimakan oleh organisme ini (Sukmara dan Rotinsulu, 2001; Sala et al., 2011; Tawa et al., 2020).

Selain itu, COTS adalah salah satu predator terbesar dan paling efisien pada karang *Scleractinian*. Sementara sebagian besar organisme pemakan karang individu lainnya misalnya *Chaetodon butterflyfishes* dan *Drupella snails* hanya menyebabkan cedera lokal atau kehilangan jaringan, COTS dewasa dapat membunuh seluruh karang, termasuk koloni yang relatif besar. Oleh karena itu, kepadatan COTS yang tinggi akan menyebabkan penipisan karang jangka pendek hingga jangka panjang yang cepat dan ekstensif (Lamare et al., 2014).

Sebelumnya di Pasifik, secara luas COTS dikenal sebagai *Acanthaster planci* L., akan tetapi penelitian terbaru mengemukakan bahwa spesies Pasifik dimiliki oleh *Acanthaster solaris*. Spesies *Acanthaster* juga umumnya dikaitkan dengan terumbu karang di wilayah Indo-Pasifik (Griffin, 2019). COTS ini telah menunjukkan pertumbuhan populasi yang cepat dan perluasan jangkauan selama kurang lebih 6 dekade terakhir.

Di belahan Bumi Selatan, *Crown of Thorns Starfish* diamati berkembang biak antara November dan Februari (Zann et al., 1990; Babcock dan Mundy, 1993). Babcock et al. (1993) mengamati perkembangbiakan COTS dari Desember hingga Januari (awal hingga pertengahan musim panas) di Davies Reef, pusat Great Barrier Reef, dimana pada saat itu waktu kejadian memuncak pada bulan Desember dan kemudian menurun ke level rendah pada akhir Januari. Di belahan Bumi Utara, populasi *Crown of Thorns Starfish* melakukan reproduksi pada bulan April dan Mei (Bos et al., 2013).

Penelitian dan pengelolaan COTS telah menjadi fokus utama bagi para ilmuwan dan konservasionis dalam usaha melindungi ekosistem terumbu karang. Berbagai upaya pengendalian populasi COTS telah dilakukan, seperti pengumpulan manual, penggunaan bahan kimia, serta pengembangan teknologi baru seperti robot pemusnah COTS. Meski demikian, pengendalian ini menghadapi tantangan besar karena kemampuan reproduksi dan persebaran larva COTS yang tinggi. Oleh karena itu, selain intervensi langsung, penting juga untuk memahami faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi dinamika populasi COTS, termasuk perubahan iklim dan aktivitas manusia, agar strategi konservasi yang lebih efektif dan berkelanjutan dapat diterapkan.



Gambar 1. Selama fenomena parah, *Crown of Thorns Starfish* bisa menjadi sangat padat sehingga menumpuk satu sama lain [20].

2.1.1 Populasi *Crown of Thorns* di Great Barrier Reef

Spikula yang berasal dari kerangka bintang karang berduri telah terdeteksi dalam endapan terumbu karang yang berumur, menunjukkan keberadaan COTS ini di Great Barrier Reef selama 3.000 hingga 7.000 tahun terakhir. Meskipun demikian, karena endapan tersebut menjadi tercampur seiring waktu dan spikula sulit untuk ditentukan usianya dengan akurat, masih belum jelas apakah fenomena COTS merupakan fenomena baru atau bukan (Harriott et al., 2003).

Populasi pertama *Crown of Thorns Starfish* (COTS) yang terdokumentasi luas di Great Barrier Reef (GBR) terjadi di Pulau Green pada tahun 1962. Antara tahun 1966 dan 1974, berbagai survei dilakukan pada berbagai waktu dan lokasi untuk menilai sejauh mana aktivitas COTS di GBR. Hasil survei menunjukkan bahwa fenomena dimulai di bagian Cairns dari taman laut dan secara bertahap menyebar

ke selatan melalui pusat GBR seiring berjalannya waktu, sesuai dengan harapan jika larva planktonik tersebar secara pasif dalam kolom air. Survei sistematis selama dua dekade berikutnya mengonfirmasi pola serupa untuk gelombang fenomena kedua yang dimulai pada akhir tahun 1970-an dan juga mengamati penyebaran fenomena ke utara (Mellin et al., 2019). Pola ini tetap konsisten ketika gelombang fenomena ketiga dimulai pada tahun 1993 (Miller et al., 2015).

Meskipun pola penyebaran COTS telah didokumentasikan dengan baik, faktor-faktor yang memicu ledakan populasi ini masih menjadi perdebatan. Beberapa peneliti berpendapat bahwa peningkatan nutrisi dari aktivitas manusia, seperti limpasan pertanian dan urbanisasi, dapat memperkaya perairan dan mendukung pertumbuhan larva COTS. Selain itu, perubahan iklim dan gangguan ekosistem lainnya mungkin memainkan peran dalam meningkatkan frekuensi dan intensitas ledakan populasi ini. Pemahaman lebih mendalam mengenai faktor-faktor pemicu ini sangat penting untuk pengelolaan dan konservasi terumbu karang yang lebih efektif di masa depan.

2.2 Faktor Penyebab Populasi

Fenomena *Crown of Thorns Starfish* (COTS) tetap menjadi suatu fenomena yang masih kurang dipahami dengan baik. Beberapa hipotesis telah diajukan mengenai penyebab fenomena *Crown of Thorns Starfish* (COTS), seperti aliran air dari daratan (Birkeland 1982), peningkatan pengiriman nutrisi dari daratan, penghilangan predator, penangkapan ikan berlebihan, zona transisi front klorofil, dan fenomena alam seperti topan, badai, dan peristiwa El Niño, hujan lebat, perubahan jalur arus yang fluktuatif, serta kejadian rekrutmen massa tunggal dan akumulasi bertahap dari beberapa kohor (de Dios et al., 2014).

Birkeland dan Lucas (1990) berpendapat bahwa fluktuasi besar dalam kelimpahan *A. planci* adalah hasil dari kelangsungan hidup larva yang berbeda serta faktor-faktor berikut yang mungkin penting dalam mempengaruhi kelangsungan hidup tahap ini seperti pemupukan, kelimpahan makanan, suhu, salinitas, predasi, penyebaran dan ketersediaan substrat yang cocok untuk pemukiman (Dios dan Sotto, 2015). Selain itu, berikut ini diindikasikan bahwa terdapat beberapa faktor osean yang berperan dalam memengaruhi populasi *Crown of Thorns Starfish* di Great Barrier Reef.

2.2.1 Arus Laut

Arus permukaan laut adalah pergerakan air laut secara horizontal dan vertikal

untuk mencapai keseimbangan. Pergerakan tersebut terjadi karena adanya gaya-gaya yang mempengaruhi laut, seperti tekanan angin di permukaan yang mendorong air ke arahnya. Nilai arus yang bergerak dapat menunjukkan arah pergerakan angin. Arus U bergerak dari timur ke barat atau sebaliknya pada sumbu x. Jika arus positif, arus bergerak ke timur, dan jika nilainya negatif, arus bergerak ke barat. Demikian juga, arus V bergerak dari utara ke Selatan atau sebaliknya pada sumbu y. Jika besar arahnya positif maka arus bergerak ke utara, dan jika negatif maka arus bergerak ke Selatan (Kusnanti et al., 2022).

Arus laut memiliki banyak dampak besar pada kehidupan laut, tidak hanya memindahkan hewan dan tumbuhan di sekitar lautan tetapi juga mendistribusikan panas dan nutrisi (Hays, 2017). Arus laut adalah pergerakan air laut sebagai respons terhadap pola angin yang berlaku dan variasi kerapatan di lautan, atau hasil dari perbedaan salinitas dan suhu air laut. Arus ini membawa air yang lebih hangat atau lebih dingin, yang mengubah kondisi ekologis dan memengaruhi distribusi seperti corak seperti terumbu karang. Keberadaan arus ini dapat mempengaruhi bentuk pantai dan dinamika pantai (Bird, 2007; Havis dan Yunita, 2017).

Arus laut dapat membawa larva *Crown of Thorns Starfish* (COTS) dari terumbu yang sudah mengalami ledakan populasi ke terumbu lainnya. Saat COTS melepaskan telur dan sperma ke dalam air, larva yang dihasilkan terbawa oleh arus laut yang bergerak karena angin, rotasi bumi, dan perbedaan suhu serta salinitas. Larva ini dapat melakukan perjalanan jauh hingga mencapai terumbu lain, di mana mereka menetap dan tumbuh menjadi COTS dewasa. Jika kondisi lingkungan di terumbu tujuan cocok, populasi COTS baru dapat berkembang pesat, menyebabkan kerusakan signifikan pada karang karena COTS memakan karang hidup. Hal ini dapat menyebabkan penurunan populasi karang secara luas, merusak struktur terumbu, mengurangi habitat bagi banyak spesies laut, dan mengganggu fungsi ekosistem terumbu karang. Penurunan karang ini berdampak negatif pada keanekaragaman hayati laut dan ekosistem terumbu karang secara keseluruhan (Hock et al., 2017).

2.2.2 Sea Surface Temperature (SST)

Ledakan populasi *Crown of Thorns Starfish* (COTS) yang memakan karang dan suhu ekstrem dianggap sebagai dua faktor terbesar yang menyebabkan kehilangan karang (Vercelloni et al., 2017; Kanya et al., 2018; Haywood et al.

2019; Keesing et al., 2019; Lang et al., 2022). Terumbu karang di seluruh dunia menghadapi berbagai tekanan dari faktor global seperti peningkatan suhu laut dan pengasaman air laut, serta faktor lokal seperti kelebihan nutrisi di perairan dan penangkapan ikan berlebihan. Studi menunjukkan bahwa interaksi antara tekanan-tekanan ini, terutama dalam konteks perubahan iklim, berdampak besar pada kesehatan terumbu karang. Contohnya, tutupan karang di Great Barrier Reef berkurang hingga 50% antara 1985 dan 2012, terutama karena ledakan populasi COTS pemakan karang (COTS) dan pemutihan karang akibat suhu laut yang lebih hangat. Ledakan populasi COTS terjadi di banyak terumbu karang Indo-Pasifik dan menyebabkan kerusakan besar pada karang karena mereka memakan karang hidup (Uthicke et al., 2015).

Suhu memiliki pengaruh signifikan terhadap perkembangan embrio dan larva *Crown of Thorns Starfish* (*Acanthaster planci*). Perkembangan larva optimal pada suhu sekitar 28°C, di mana larva berkembang lebih cepat dan sehat. Namun, selama tahap perkembangan ini, larva hanya dapat berkembang dengan baik dalam rentang suhu yang sangat terbatas, hanya sekitar 1°C, yang berarti larva sangat sensitif terhadap fluktuasi suhu. Penelitian oleh Johnson dan Babcock menunjukkan bahwa suhu permukaan laut yang lebih tinggi di bagian utara Great Barrier Reef (GBR) memicu ledakan populasi COTS, sedangkan di bagian selatan yang lebih dingin, ledakan populasi lebih jarang dan lebih kecil. Ini menunjukkan bahwa suhu yang lebih hangat memainkan peran penting dalam memicu dan mendukung ledakan populasi COTS di bagian utara GBR, mengingat kondisi suhu yang optimal bagi perkembangan larva di sana dibandingkan dengan daerah yang lebih dingin di selatan (Uthicke, et al., 2015).

2.2.3 Salinitas

Salinitas dan suhu merupakan faktor abiotik utama yang secara langsung mempengaruhi kehidupan laut, termasuk kelangsungan hidup dan pertumbuhan karang. Perubahan drastis dalam salinitas dapat mengganggu regulasi tekanan osmotik dan fisiologi karang, menyebabkan kematian karang. Dalam beberapa tahun terakhir, perubahan suhu dan salinitas air laut yang disebabkan oleh perubahan iklim dan efek rumah kaca berdampak langsung pada pertumbuhan dan kelangsungan hidup karang. Ini relevan dalam konteks ledakan populasi *Crown of Thorns Starfish* (COTS), karena kondisi lingkungan yang berubah dapat mempengaruhi dinamika populasi COTS dan interaksinya dengan karang. Selain

itu, karang yang sudah tertekan oleh perubahan suhu dan salinitas mungkin lebih rentan terhadap serangan COTS, yang dapat memperburuk kerusakan terumbu karang (Ding et al., 2022).

Faktor lingkungan yang mempengaruhi jalannya peristiwa reproduksi pada echinodermata sangat kompleks dan pemijahan berkorelasi dengan perubahan suhu, penyinaran, siklus bulan, salinitas, kelimpahan makanan, dan konsentrasi fitoplankton. Penurunan salinitas air laut, yang sering terjadi selama peristiwa banjir ketika banyak air tawar mengalir ke laut, dapat berperan penting dalam ledakan populasi *Crown of Thorns Starfish* (COTS) di Great Barrier Reef. Salinitas yang lebih rendah menciptakan kondisi lingkungan yang lebih cocok untuk pemijahan dan perkembangan larva COTS. Kondisi ini membantu sinkronisasi pemijahan di antara populasi COTS dan mendukung kelangsungan hidup larva, yang pada akhirnya dapat menyebabkan ledakan populasi COTS ini dan mengakibatkan kerusakan luas pada terumbu karang (Johnson dan Babrock, 1994).

2.3 Multiple Regression Model

Regresi Linear Berganda yaitu teknik statistik yang menggunakan beberapa variabel penjelas untuk memprediksi hasil dari suatu variabel respon. Regresi linier berganda merupakan perluasan dari model regresi linier sederhana yang hanya menggunakan satu variabel penjelas (Caballes dan Pratchett, 2017). Secara umum, regresi berganda untuk beberapa variabel dapat dimodelkan menjadi (Kewan, 2015; Fox, 2016; Trunfio et al., 2022):

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (1)$$

Ket:

Y = variabel terikat / populasi COTS,

X_1, X_2, \dots, X_n = variabel bebas / prediktor,

a = konstanta,

b_1, b_2, \dots, b_n = koefisien regresi.

Metode Kuadrat Terkecil (*Least Square Method*) digunakan untuk menghitung a , b_1 , b_2 , ... b_n , sehingga menghasilkan persamaan normal sebagai berikut (Nde, 2017).

$$\begin{aligned}
& an + b_1 \sum X_1 + b_2 \sum X_2 + \dots b_n \sum X_n = \sum Y \\
& a \sum X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1X_2 + \dots b_n \sum X_1X_n = \sum X_1Y \\
& a \sum X_2 + b_1 \sum X_2X_1 + b_2 \sum X_2^2 + \dots b_n \sum X_2X_n = \sum X_2Y \\
& \vdots \\
& \vdots \\
& \vdots \\
& a \sum X_n + b_1 \sum X_nX_1 + b_2 \sum X_nX_2 + \dots b_n \sum X_n^2 = \sum X_nY
\end{aligned} \tag{2}$$

2.3.1 Stepwise Regression

Stepwise Regression merupakan kombinasi dari teknik *Forward Selection* dan *Backward Elimination*. *Stepwise Regression* adalah modifikasi dari *Forward Selection* sehingga setelah setiap langkah di mana variabel ditambahkan, dan semua variabel kandidat regresi dalam model diperiksa untuk melihat apakah signifikansinya telah dikurangi di bawah tingkat toleransi yang ditentukan. Jika ditemukan variabel yang tidak signifikan, variabel tersebut dikeluarkan dari model (Montgomery et al., 2012).

Metode *stepwise* digunakan untuk mengetahui prediktor osean yang paling signifikan berpengaruh terhadap tinggi rendahnya populasi *Crown of Thorns* dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$. Selanjutnya memeringkat variabel ternormalisasi yang dipilih sesuai dengan β yang dihasilkan. Performa model dinyatakan dalam metrik ACC (*Anomaly Correlation Coefficient*) dan RMSE (*Root Mean Squared Error*) serta estimasi error yang terkait (Makridakis et al., 1998; Faber dan Chemom, 1999; Olusegun et al., 2015; Halide et al., 2022). Kedua metrik ditulis di bawah ini (Dingman dan Perry, 1956; Halide et al., 2022).

Metrik ACC ditulis sebagai berikut (Faber dan Chemom, 1999; Halide et al., 2022):

$$ACC = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \underline{y})(x_i - \underline{x})}{\left[\sum_{i=1}^n (y_i - \underline{y})^2 \right]^{1/2} \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \underline{x})^2 \right]^{1/2}} \tag{3}$$

Keterangan:

x_i = nilai ke-i dari kasus populasi *Crown of Thorns* yang diamati,

y_i = nilai ke-i dari kasus populasi *Crown of Thorns* yang dimodelkan,

\underline{x} = nilai rata-rata dari kasus populasi *Crown of Thorns* yang diamati,

\underline{y} = nilai rata-rata dari kasus populasi *Crown of Thorns* yang dimodelkan,

n = jumlah pengamatan.

Standard error estimate ACC mengikuti rumus di (Makridakis et al., 1998; Halide et al., 2022) dan ditulis sebagai:

$$SE_ACC = \frac{(1 - ACC^2)}{\sqrt{n - 1}} \quad (4)$$

RMSE dinyatakan sebagai:

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right) \left(\sum_{i=1}^n (e_i)^2\right)} \quad (5)$$

dimana

$$|e_i| = |x_i - y_i| \quad (6)$$

Dan *error estimate* dari RMSE diberikan dalam (Olusegun et al., 2015; Halide et al., 2022) sebagai:

$$eRMSE = RMSE \sqrt{\left(\frac{1}{2n}\right)} \quad (7)$$