

**PENDUGAAN PEMULIHAN TERUMBU KARANG BERDASARKAN
LUAS PENUTUPAN KARANG DI KAWASAN TAMAN WISATA
PERAIRAN (TWP) KAPOPOSANG, SULAWESI SELATAN**

(Skripsi)

Oleh

**SELVANA MORITA BR SITEPU
NPM 1814221020**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

PENDUGAAN PEMULIHAN KARANG BERDASARKAN LUAS PENUTUPAN TERUMBU KARANG DI KAWASAN TAMAN WISATA PERAIRAN (TWP) KAPOPOSANG, SULAWESI SELATAN

Oleh

SELVANA MORITA BR SITEPU

Peningkatan suhu permukaan laut (SPL) di TWP Kapoposang memiliki korelasi dengan fenomena El Nino di Samudra Pasifik tahun 2015-2016. Peningkatan SPL yang ekstrim berkontribusi pada kerusakan karang. Selama fase relaksasi SPL, karang akan menunjukkan proses pemulihan. Penelitian dilaksanakan pada bulan April–September di Laboratorium Oseanografi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Penelitian bertujuan untuk menganalisis SPL di TWP Kapoposang tahun 2014-2018 dan menganalisis indeks pemulihan karang (CRI) di TWP Kapoposang tahun 2014-2021. Data SPL dianalisis dengan menggunakan Surfer 13. Kejadian El Nino di Samudra Pasifik dianalisis dengan menggunakan data bulanan indeks ONI tahun 2014-2018. Data sebaran terumbu karang dianalisis dengan mengolah Landsat 8 dan menggunakan ER Mapper 7.0, Envi 5.3, dan ArcMap 10.8. Hasil penelitian menunjukkan fenomena El Nino di Samudra Pasifik terjadi dengan intensitas sedang hingga kuat selama 2014-2016. Hal ini sangat berkorelasi dengan anomali SPL dengan intensitas sedang dan *hot spot* di TWP Kapoposang. Persentase tutupan karang hidup di TWP Kapoposang cenderung mengalami penurunan, namun persentase tutupan karang mati cenderung mengalami peningkatan pada kurun waktu 2014-2021. El Nino sangat memengaruhi komunitas karang di zona pemanfaatan (CRI = -15,60%). Komunitas karang pada zona pemanfaatan memiliki kemampuan pemulihan yang tinggi pada fase relaksasi El Nino (CRI = -2,57%).

Kata kunci: Kapoposang, El Nino, SPL, pemulihan.

ABSTRACT

THE PREDICTION OF CORAL RECOVERY BASED ON THE CORAL COVERAGE AREA (CCA) IN MARINE TOURISM PARK (MTP) OF KAPOPOSANG, SOUTH SULAWESI

By

SELVANA MORITA BR SITEPU

The increasing of sea surface temperature (SST) in MTP of Kapoposang was correlated with the El Nino phenomena at Pacific Ocean during year of 2015-2016. The extreme increasing of SST contributed to coral damage. During the relaxation phase of SST may lead coral to recover. This research conducted on April–September in Oceanography Laboratory, Faculty of Agriculture, University of Lampung. This research aimed analyze SST in MTP of Kapoposang during 2014-2018 and analyzed coral recovery index (CRI) at MTP of Kapoposang during 2014-2021. The SST data series were analyzed using Surfer 13. The occurrence of El Nino in Pacific Ocean analyzed using ONI index series during 2014-2018, monthly. The distribution data coral reef analyzed by processing Landsat 8 and using ER Mapper 7.0, Envi 5.3, and ArcMap 10.8. The result showed Pacific Ocean El Nino the occurred in moderate to strong intensity during 2014-2016. It highly correlated with moderate intensity SST anomaly and initial hot spot in MTP of Kapoposang. The percentage of live coral coverage at MTP of Kapoposang tended to decrease, but the percentage of dead coral coverage tended to increase in 2014 until 2021. El Nino highly affected coral community at utilization zone (CRI = -15,60%). Coral community at utilization zone has highly recovery ability in El Nino relaxation phase (CRI = -2,57%).

Keyword : Kapoposang, El Nino, SST, recovery.

**PENDUGAAN PEMULIHAN TERUMBU KARANG BERDASARKAN
LUAS PENUTUPAN KARANG DI KAWASAN TAMAN WISATA
PERAIRAN (TWP) KAPOPOSANG, SULAWESI SELATAN**

Oleh

SELVANA MORITA BR SITEPU

(Skripsi)

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Perikanan dan Kelautan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : **PENDUGAAN PEMULIHAN TERUMBU KARANG
BERDASARKAN LUAS PENUTUPAN KARANG
DI KAWASAN TAMAN WISATA PERAIRAN
(TWP) KAPOPOSANG, SULAWESI SELATAN**

Nama Mahasiswa : **Selvana Morita Br Sitepu**

NPM : **1814221020**

Program Studi : **Ilmu Kelautan**

Jurusan : **Perikanan dan Kelautan**

Fakultas : **Pertanian**

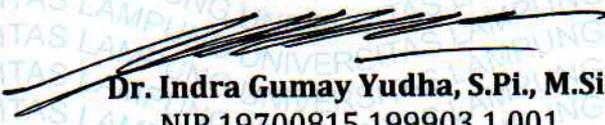


1. Komisi Pembimbing


Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si.
NIP 19741212 200003 1 002


Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.
NIP 19750515 200212 1 007

2. Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan


Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si.
NIP 19700815 199903 1 001

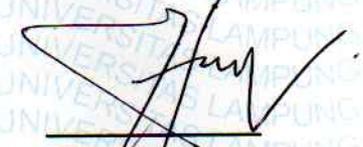
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

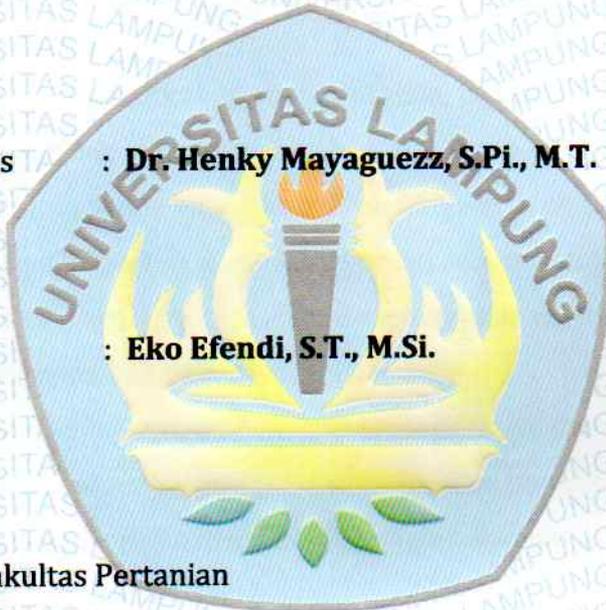
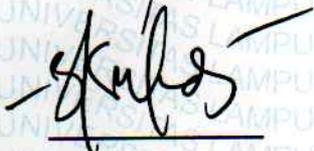
Ketua : Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si.



Sekretaris : Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.



Anggota : Eko Efendi, S.T., M.Si.

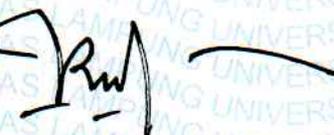


2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.

NIP 19611020 198603 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 30 November 2022

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana baik di Universitas Lampung maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Tim Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan naskah, dengan naskah disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, Februari 2023

Yang membuat pernyataan,



Selvana Morita Br Sitepu
NPM. 1814221020

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kabanjahe, pada tanggal 28 Desember 1999 sebagai anak dari pasangan suami istri Bapak (+) M Sitepu dan Ibu M Br Ginting. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis memiliki satu orang kakak bernama Arnella Minia Br Sitepu.

Penulis menempuh pendidikan formal dari Taman Kanak- Etlabora (2005), lalu melanjutkan pendidikan dasar di SD Negeri 040451 Kabanjahe (2005–2011), dilanjutkan ke pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Kabanjahe (2012–2015), dan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Kabanjahe (2015–2018). Penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang sarjana (S1) di tahun 2018 pada Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Penulis pernah mengikuti kuliah kerja nyata (KKN) di kecamatan Padang Mas, Kabupaten Karo, Provinsi Sumatra Utara selama 40 hari pada tahun 2021. Pada Agustus-September 2021, penulis melaksanakan praktik umum (PU) di Laboratorium Oseanografi, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Universitas Lampung dengan judul “Prediksi Luasan Terumbu Karang di Teluk Kiluan dengan Metode Automated Lyzenga pada Aplikasi SNAP”.

PERSEMBAHAN

Puji syukur aku ucapkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang selalu memberikan berkat, kasih karunia, dan penyertaan-Nya di sepanjang hidupku, terkhusus pada proses penyelesaian skripsi ini.

Dengan ketulusan hati, aku mempersembahkan karya sederhana ini untuk

Bapakku tersayang
Yang sudah ada di surga, terima kasih buat semua yang telah kauberi kepadaku.
Gelar sarjana ini kuhadiahkan utukmu dan aku akan terus berusaha
membanggakanmu
I miss you somuch mama tepuku

Mamak tercinta
Wanita hebatku, terima kasih untuk pengorbanan yang tak terbalaskan,
kasih sayang, motivasi, serta doa yang selalu menjadi penyemangat dan kekuatan
dalam setiap langkahku.

Kak Ua tersayang
Temanku berbagi suka dan duka, terima kasih atas segala semangat,
dukungan, doa, motivasi dan kasih sayang yang selalu menjadi penyemangat
untukku.

Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan ilmu dengan tulus dan ikhlas
serta teman-teman Prodi Ilmu Kelautan 2018.

Serta
Almamaterku tercinta

MOTTO

“Janganlah hendaknya kamu kuatir tentang apapun juga, tetapi nyatakanlah dalam segala hal keinginanmu kepada Allah dalam doa dan permohonan dengan ucapan syukur. Janganlah khawatir tentang apapun juga“

(Filipi 4:6)

“Karena masa depan sungguh ada, dan harapanmu tidak akan hilang”

(Amsal 23:18)

“Doa, senyuman, dan kebahagiaan orangtua adalah bahagia kita”

“Kuawali semua dengan penuh harapan dan kuakhiri pula semua dengan penuh rasa syukur dan sukacita”

Ora Et Labora

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas karunia-Nya sehingga penulis mampu menyusun skripsi yang berjudul “Pendugaan Pemulihan Terumbu Karang Berdasarkan Luas Penutupan Karang di Kawasan Taman Wisata Perairan (TWP) Kapoposang, Sulawesi Selatan”. Skripsi disusun untuk memenuhi syarat lulus sebagai sarjana.

Proses penyusunan skripsi banyak mendapat dukungan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si. selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan.
3. Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T. selaku Ketua Program Studi Ilmu Kelautan dan pembimbing II yang selalu memberi semangat, serta masukan dalam penelitian.
4. Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si. selaku pembimbing I yang selalu memberi motivasi, saran serta masukan dalam penelitian.
5. Eko Efendi, S.T., M.Si. selaku dosen pembahas yang telah memberi saran serta masukan dalam penelitian.
6. Kedua orang tua saya, bapak M. Sitepu dan ibu M br Ginting yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, nasehat dan dukungan penuh dalam perkuliahan penulis selama ini.

7. Kakak saya, Arnella Minia br Sitepu yang selalu memberi semangat, nasehat, dan motivasi dalam perkuliahan penulis selama ini.
8. Sahabat saya, Sri Apriani, Nela, Yuni, Mei, Inka, Kesya, Nima, dan Ganika, atas segala dukungan, doa, motivasi serta bersedia menemani, mendengar keluhan kesah penulis dalam menyusun skripsi.
9. Median Swari Ginting yang selalu memberi dukungan dan semangat kepada penulis dalam proses menyusun skripsi.
10. Mifta, Fathan, Adjie, Dafa, Agung, Aditia Prayoga, dan Desmi yang sudah memberi bantuan kepada penulis dalam mengambil data lapang.
11. Teman-teman Ilmu Kelautan angkatan 2018 yang telah berjuang bersama sebagai teman baik, sahabat dan keluarga selama 4,5 tahun perkuliahan.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu saran dan kritik akan diterima dengan terbuka. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membacanya dan dapat dipergunakan sengan sebaik-baiknya.

Bandar Lampung, Februari 2023

Selvana Morita Br Sitepu
NPM. 1814221020

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR LAMPIRAN	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Kerangka Pikir.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Karang	5
2.1.1 Morfologi Karang.....	5
2.1.2 Reproduksi Karang.....	10
2.1.3 Faktor Pembatas Pertumbuhan Terumbu Karang	11
2.1.3.1 Suhu.....	11
2.1.3.2 Cahaya	11
2.1.3.3 Salinitas	12
2.1.3.4 Sedimentasi	12
2.1.3.5 Arus dan Gelombang.....	12
2.1.4 Endosimbion Karang.....	13
2.1.6 Pemutihan Karang (<i>coral bleaching</i>)	15
2.1.7 Pemulihan Karang	17
2.2 Suhu Permukaan Laut (SPL)	18
2.3 Penginderaan Jauh dan SIG.....	23
2.3.1 Landsat	23
2.3.2 Algoritma Lyzenga.....	25
III. METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	27
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	29
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	30
3.4 Prosedur Penelitian	30
3.5 Jenis dan Sumber Data.....	31
3.6 Metode Pengolahan Data	31

3.6.1 Indeks ONI.....	31
3.6.2 Suhu Permukaan Laut (SPL)	32
3.6.3 Tutupan Karang	33
3.6.4 Coral Recovery Indeks (CRI)	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Sebaran SPL	36
4.2 Terumbu Karang.....	41
4.2.1 Validasi Sebaran Terumbu Karang di Perairan Pulau Pahawang ...	41
4.2.2 Sebaran Terumbu Karang di TWP Kapoposang	42
V. KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik data citra satelit Landsat 8.....	24
2. Komposit band pada Landsat 8 beserta tujuannya.....	25
3. Alat dan bahan penelitian.....	30
4. Nilai ambang indeks ONI	32
5. Hasil nilai klasifikasi di Pulau Pahawang.....	41
6. Persentase luas tutupan perairan dangkal	42
7. Luas tutupan karang berdasarkan zonasi.....	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian.....	4
2. <i>Acropora branching</i>	6
3. <i>Acropora tabulate</i>	6
4. <i>Acropora submassif</i>	7
5. <i>Acropora encrusting</i>	7
6. <i>Acropora digitate</i>	7
7. <i>Coral branching</i>	8
8. <i>Coral encrusting</i>	8
9. <i>Coral foliose</i>	9
10. <i>Coral massive</i>	9
11. <i>Coral submassive</i>	10
12. <i>Mushroom corals</i>	10
13. <i>Coral bleaching</i>	16
14. Tiga wilayah iklim Indonesia.....	19
15. Posisi daerah NINO di Samudra Pasifik	22
16. Pulau-pulau di TWP Kapoposang.....	28
17. Zona TWP Kapoposang	28
18. Peta lokasi penelitian.....	29
19. Diagram alir penelitian.....	31
20. Diagram alir analisis SPL.....	32
21. Metode pengolahan tutupan karang	33
22. Transek pengamatan.....	34
23. SPL permusim di TWP Kapoposang (°C).....	37
24. Pola sebaran SPL TWP Kapoposang (°C)	37

25. Indeks ONI dan data anomali SPL TWP Kapoposang	38
26. Arlindo	39
27. SPL TWP Kapoposang tahun 2014-2019	40
28. Warna klasifikasi hasil pemetaan Pulau Pahawang tahun 2021	42
29. Perubahan wilayah tahun 2015-2017 dan 2021	44
30. CRI TWP Kapoposang tahun 2014-2021	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1.Indek ONI.....	55
2. Anomali SPL di TWP Kapoposang	55
3. Titik sampling SPL di TWP Kapoposang	56
4. Pengambilan data lapangan di Pulau Pahawang	56
5. Uji akurasi data lapang di Pulau Pahawang	57
6. Peta sebaran terumbu karang di TWP Kapoposang.....	58
7. Layout pemetaan Pulau Pahawang tahun 2021	66
8. Data karang hidup, karang mati, lamun, dan pasir.....	67

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki letak strategis yaitu berada di antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia. Letak strategis ini menyebabkan Indonesia menjadi saluran aliran massa air Samudra Pasifik ke Samudra Hindia (arindo). Ketika melewati perairan Indonesia, maka massa air arindo akan bercampur dengan massa air dari Samudra Pasifik, yaitu percampuran massa air yang berbeda (Hasanudin, 1998). Hal tersebut menyebabkan perairan Indonesia dipengaruhi oleh iklim global. Terdapat dua bentuk iklim global yang memengaruhi perairan Indonesia yaitu *Indian Ocean Dipole Mode* (IOD) dan *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) (Yamagata *et al.*, 2002). ENSO merupakan fenomena akibat adanya anomali suhu permukaan laut di wilayah Samudra Pasifik ekuator. ENSO terdiri dari tiga fenomena yaitu kejadian normal, La Nina dan El Nino (Putra *et al.*, 2013).

El Nino merupakan salah satu bentuk penyimpangan iklim di Samudra Pasifik yang ditandai dengan kenaikan suhu permukaan laut (SPL) di daerah khatulistiwa. Fenomena ini menyebabkan daerah sekitar Indonesia mengalami penurunan curah hujan dan peningkatan suhu permukaan air laut (Safitri, 2015). Pada tahun 2010 dan 2016 terjadi fenomena El Nino yang dibuktikan oleh *Oceanic Nino Index* (ONI). Indeks ONI merupakan ukuran utama untuk memantau, menilai dan memprediksi ENSO. Pada tahun 2010 terjadi El Nino level sedang dengan indeks ONI sebesar 1,0-1,5° C. Adapun pada tahun 2016 terjadi El Nino level kuat dengan indeks ONI sebesar 2° C (Wouthuyzen *et al.*, 2018). Fenomena El Nino akan berdampak pada berbagai sektor di Indonesia, salah satunya adalah sektor perikanan

dan kelautan. Peningkatan suhu permukaan laut akan berdampak pada ekosistem yang ada di laut, salah satunya adalah terumbu karang.

Terumbu karang merupakan ekosistem laut yang rentan mengalami kerusakan. Kerusakan terumbu karang dapat disebabkan oleh fenomena alam atau akibat pencemaran (Suharti, 2012). Kerusakan ekosistem terumbu karang dapat dilihat dari kerusakan secara fisik dan fisiologisnya. Kerusakan fisiologis karang salah satunya adalah perubahan warna karang, yaitu pemutihan karang atau *bleaching* (Suharsono, 1998). *Bleaching* merupakan fenomena yang umum terjadi pada terumbu karang. Namun *bleaching* massal merupakan gejala yang tidak umum yang dipicu oleh naiknya suhu air laut secara tiba-tiba (Marshall *et al.*, 2000). Pada tahun 2015-2016 terjadi fenomena El Nino yang menyebabkan terjadi pemutihan karang massal di dunia dan mengalami perubahan suhu permukaan laut di beberapa daerah Indonesia, seperti di Aceh, Karimunjawa, Lombok, dan Sulawesi (Pardede *et al.*, 2016).

Perairan Sulawesi merupakan perairan yang pada bagian baratnya berbatasan langsung dengan Selat Makassar. Selat Makassar merupakan pintu masuk utama arlindo di Indonesia. Hal ini menyebabkan perairan Sulawesi secara langsung dipengaruhi oleh dinamika yang terjadi di Samudra Pasifik, yaitu fenomena ENSO (Hasanudin, 1998). Perairan Sulawesi memiliki sumber daya pesisir dan laut dengan tingkat keanekaragaman yang tinggi. Proses pengelolaan sumberdaya hayati laut dapat berjalan secara efektif, jika dibentuk beberapa kawasan konservasi perairan di Sulawesi. Salah satu kawasan konservasi di Sulawesi adalah Taman Wisata Perairan (TWP) Kapoposang yang berada di Sulawesi Selatan (Suraji *et al.*, 2015).

Taman Wisata Perairan (TWP) Kapoposang memiliki luas terumbu karang sebesar 6.645,54 ha dengan 183 spesies dari 17 famili karang keras (*Scleractinia*). Data BKKPN Kupang (2009) menunjukkan terjadi kerusakan ekosistem terumbu karang pada tahun 2011 sehingga kondisi terumbu karang mengalami penurunan. Tahun 2011 terjadi penurunan tutupan karang hidup yang besar dari 45% ke 29%, sedangkan persentase tutupan karang mati mengalami peningkatan dari 31% ke

59%. Sama halnya dengan tahun 2011, Pulau Kapoposang juga mengalami kerusakan karang pada tahun 2014-2015. Tahun 2014 BPSPL melakukan survei di Pulau Kapoposang dan menemukan peningkatan persentase karang mati dari tahun 2014–2015. Pada tahun 2014 terdapat 36,05% tutupan karang keras dan 56,68% karang mati, sedangkan pada tahun 2015 terdapat 22% tutupan karang keras dan 63% karang mati. Adapun penyebab kerusakan ekosistem terumbu karang tersebut ialah akibat peristiwa alam (*global warming*, predasi, penyakit) atau akibat aktivitas manusia (bom dan jangkar kapal).

Penginderaan jauh merupakan teknologi yang mampu merekam wilayah yang luas dan sulit dijangkau oleh manusia. Teknologi penginderaan jauh dimanfaatkan dalam proses pemetaan terumbu karang (Amrillah *et al.*, 2019). Penggunaan teknologi penginderaan jauh diharapkan dapat menggambarkan secara lebih baik kondisi terumbu karang pada wilayah TWP Kapoposang tahun 2014 hingga 2021. Pemilihan tahun 2014 hingga 2021 karena pada tahun 2015/2016 telah terjadi El Niño yang berdampak pada komunitas karang yang ada di TWP Kapoposang. Oleh karena itu, penulis memanfaatkan teknologi penginderaan jauh dalam penelitian ini untuk menduga *recovery* karang berdasarkan luas penutupan karang di kawasan TWP Kapoposang. Dari penelitian ini diharapkan dapat dianalisis perubahan terumbu di kawasan tersebut berdasarkan luasan karang dari tahun 2014-2021.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

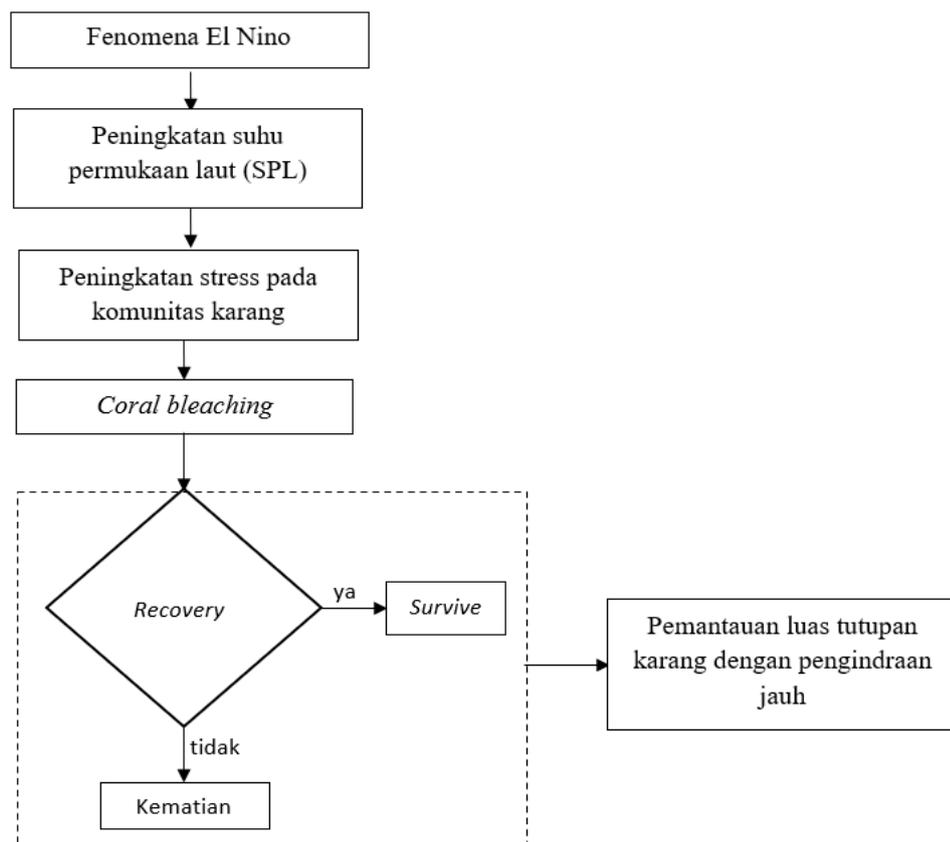
1. Menganalisis SPL di TWP Kapoposang tahun 2014-2018.
2. Menganalisis *coral recovery index* (CRI) karang di TWP Kapoposang tahun 2014-2021.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yaitu memberikan informasi terhadap masyarakat terkait dengan *recovery* karang di TWP Kapoposang.

1.4 Kerangka Pikir

Fenomena El Nino yang terjadi menyebabkan peningkatan suhu permukaan air laut (SPL). Peningkatan SPL memberi dampak pada komunitas karang. Peningkatan SPL memicu peningkatan stres pada karang dan menyebabkan terjadinya *coral bleaching*. Setelah fenomena El Nino selesai maka karang dapat mengalami *recovery*. Jika karang mati maka karang tidak dapat mengalami *recovery*, namun jika karang masih dapat bertahan hidup (*survive*) maka dapat mengalami *recovery*. *Recovery* atau tidaknya karang dapat dilihat dari pemantauan luasan tutupan karang tersebut. Monitoring luasan karang yang dilakukan pada penelitian yaitu melalui pengamatan spasial dan temporal dengan metode penginderaan jauh. Kerangka pikir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karang

2.1.1 Morfologi Karang

Karang merupakan hewan dari ordo *Scleractinia* yang mampu mensekresi CaCO_3 untuk pembentuk utama terumbu (Zurba, 2019). Hewan karang terdiri satu polip dengan bentuk tubuh seperti tabung dan dikelilingi oleh tentakel. Satu polip karang memiliki ukuran yang bervariasi mulai dari ukuran $\geq 1\text{mm}$ hingga beberapa sentimeter (Syarifuddin, 2011). Satu polip karang akan tumbuh berkembang menjadi puluhan atau jutaan individu polip yang disebut koloni karang. Karang memiliki mulut yang dikelilingi oleh tentakel. Mulut karang memiliki berfungsi sebagai anus karang yaitu untuk menangkap plankton sebagai makanan dan sebagai alat pertahanan diri. Tentakel karang memiliki silia dan flagela. Tentakel akan aktif mencari makan di malam hari dan akan ditarik masuk ke dalam rangka pada siang hari (Mulyanto, 2011).

Berdasarkan bentuk pertumbuhannya, karang (*lifeform*) dapat dibagi menjadi *Acropora* dan *non-Acropora* (English *et al.*, 1997). Pengelompokan tersebut berdasarkan ada tidaknya koralit axial dan radial pada karang tersebut. Karang *Acropora* mempunyai axial dan radial koralit sedangkan karang *non Acropora* hanya mempunyai radial saja (Zurba, 2019). Berikut bentuk-bentuk pertumbuhan karang *Acropora*:

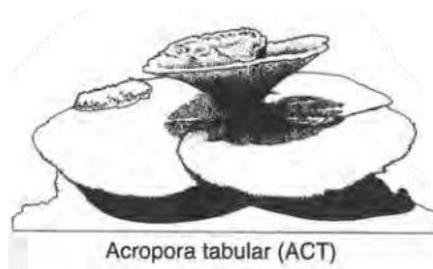
1. Bentuk bercabang atau *Acropora branching*, bentuk pertumbuhannya bercabang seperti tanduk rusa atau ranting pohon, yang percabangannya tidak

teratur sehingga susah membedakan cabang utama, jika sudah membentuk koloni yang cukup besar (Gambar 2). Contoh karang ini adalah *A. palmata*;



Gambar 2. *Acropora branching*
Sumber: Zurba (2019)

2. Bentuk meja atau *Acropora tabulate*, bentuk pertumbuhan bercabang ke arah horizontal dengan memiliki satu cabang utama yang menopang cabang yang lainnya sehingga membentuk seperti meja (Gambar 3). Contoh karang ini adalah *A. hyacinthus*;



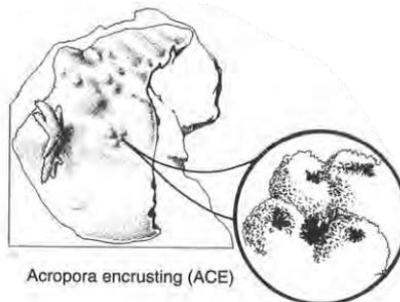
Gambar 3. *Acropora tabulate*
Sumber: Zurba (2019)

3. Bentuk submasif atau *Acropora submassif*, bentuk pertumbuhan seperti kubah dengan banyak tonjolan-tonjolan sebesar kepala tangan (Gambar 4). Contoh karang ini adalah *A. palifera*;



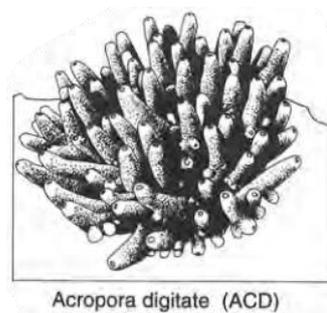
Gambar 4. *Acropora submassif*
Sumber: Zurba (2019)

4. Bentuk mengerak atau *Acropora encrusting*, bentuk pertumbuhan mendatar dan mengikut substrat dasar. Bentuk pertumbuhan ini memiliki ciri pada bagian pinggir karang tidak menempel sempurna (Gambar 5). Contoh karang ini adalah *A. cuneata*;



Gambar 5. *Acropora encrusting*
Sumber: Zurba (2019)

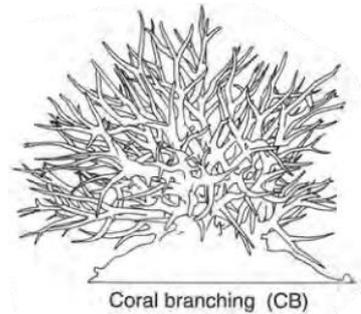
5. Bentuk menjari atau *Acropora digitate*, bentuk pertumbuhan bercabang dengan satu pangkal percabangan utama. Pangkal koloni karang terlihat lebih besar dibanding dengan percabangan (Gambar 6). Contoh karang ini adalah *A. gemmifera*;



Gambar 6. *Acropora digitate*
Sumber: Zurba (2019)

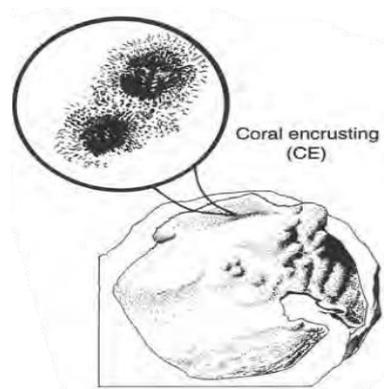
Berikut bentuk-bentuk pertumbuhan karang *non-Acropora*:

1. Bentuk bercabang atau *coral branching*, bentuknya bercabang seperti ranting yang memiliki cabang lebih panjang dari diameter yang dimilikinya (Gambar 7). Contoh karang ini adalah *Seriatopora hystrix*;



Gambar 7. *Coral branching*
Sumber: Zurba (2019)

2. Bentuk *encrusting*, bentuknya kerak dimana tubuhnya menyerupai dasar terumbu dengan permukaan yang kasar dan keras serta berlubang-lubang kecil (Gambar 8). Contoh karang ini adalah *Porites vaughani*;



Gambar 8. *Coral encrusting*
Sumber: Zurba (2019)

3. Bentuk *foliose*, tubuh bentuk lembaran-lembaran yang menonjol pada dasar terumbu, berukuran kecil dan membentuk lipatan atau melingkar (Gambar 9). Contoh karang ini adalah *Merulina ampliata*;

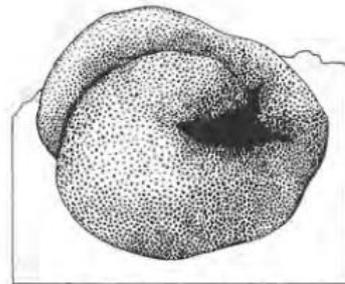


Coral foliose (CF)

Gambar 9. *Coral foliose*

Sumber: Zurba (2019)

4. Bentuk massif, bentuknya padat seperti bola atau bongkahan batu dengan ukuran yang bervariasi, permukaan karang halus dan padat. Ukuran tinggi dan lebar dapat mencapai beberapa meter (Gambar 10). Contoh karang ini adalah *Platygyra deadalea*;

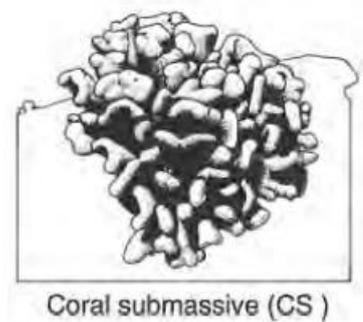


Coral massive (CM)

Gambar 10. *Coral massive*

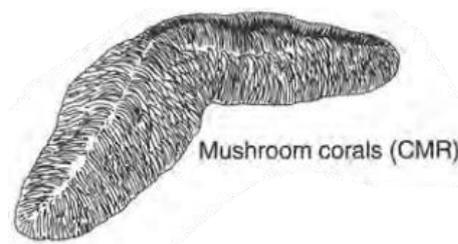
Sumber: Zurba (2019)

5. Bentuk submassif, bentuk pertumbuhan ini seperti kubah dengan banyak tonjolan-tonjolan sebesar kepalan tangan. Karang ini memiliki ciri bentuk pertumbuhan seperti jamur, bulat seperti piring atau memanjang seperti lidah (Gambar 11). Contoh karang ini adalah *Porites lichen*;



Gambar 11. *Coral submassive*
Sumber: Zurba (2019)

6. Bentuk jamur atau soliter, bentuknya seperti jamur dimana berbentuk oval memiliki banyak tonjolan seperti punggung bukit beralur dari tepi hingga pusat mulut (Gambar 12). Contoh karang ini adalah *Fungia repanda*.



Gambar 12. *Mushroom corals*
Sumber: Zurba (2019)

2.1.2 Reproduksi Karang

Hal penting dalam menentukan keberadaan dan keberlangsungan hidup ekosistem terumbu karang adalah proses reproduksi dan rekrutmen karang. Rekrutmen karang merupakan proses karang yang mengakhiri hidupnya sebagai organisme plankton kemudian menempel pada substrat yang cocok (Richmond, 1988). Substrat yang cocok adalah substrat yang memiliki pergerakan air, salinitas > 32 ppm, cahaya yang cukup dan adanya spesies mikroalga tertentu (Ramses, 2016). Reproduksi merupakan pembentukan individu baru baik secara seksual ataupun aseksual. Reproduksi aseksual merupakan reproduksi yang tidak melibatkan peleburan

gamet jantan dan gamet betina. Pada reproduksi ini terjadi pertumbuhan koloni dan pembentukan koloni baru melalui pemisahan potongan-potongan tubuh polip.

Reproduksi aseksual terjadi melalui pertunasan, fragmentasi, dan polip bailout. Pertunasan terjadi dimana polip lepas dari koloni induk dan membentuk koloni baru. Fragmentasi terjadi dimana koloni baru terbentuk dari patahan karang. Patahan karang akan menempel kembali ke substrat dasar dan membentuk tunas serta koloni baru. Proses fragmentasi dapat terjadi jika patahan karang masih memiliki jaringan hidup. Polip *bailout* terjadi karena adanya jaringan hidup yang keluar dari karang mati. Pada karang yang mati, kadang kala jaringan yang masih hidup dapat meninggalkan skeletonnya untuk kemudian terbawa air. Jika dapat menemukan dasaran yang sesuai, maka jaringan tersebut akan melekat dan tumbuh menjadi koloni baru (Mulyanto, 2011).

2.1.3 Faktor Pembatas Pertumbuhan Terumbu Karang

2.1.3.1 Suhu

Suhu merupakan faktor yang mempengaruhi kecepatan metabolisme, reproduksi dan mengendalikan distribusi horizontal terumbu karang. Perkembangan terumbu karang dapat terjadi secara optimal pada suhu rata-rata tahunan berkisar antara 25-29°C, dengan suhu minimum dan maksimum yang masih dapat ditolerir adalah 16°C dan 36°C. Kematian karang terjadi bukan karena suhu yang ekstrim, melainkan perubahan suhu secara mendadak, yaitu sekitar 4-6°C di bawah atau di atas ambang level. Kondisi ini dapat mengurangi pertumbuhan karang hingga kematian karang (Zurba, 2019).

2.1.3.2 Cahaya

Cahaya merupakan faktor pembatas yang berhubungan dengan proses fotosintesis yang dilakukan oleh *zooxhantellae*. Menurut Nybakken (1992), cahaya yang sedikit akan menyebabkan kecepatan fotosintesis berkurang dan kemampuan karang menghasilkan kalsium karbonat juga akan berkurang. Hal ini diakibatkan karena

hasil fotosintesis merupakan salah satu sumber makanan bagi karang. Cahaya akan semakin berkurang dengan bertambahnya kedalaman atau semakin mendekati dasar. Secara umum karang tumbuh baik pada kedalaman kurang dari 25 meter dan tidak dapat hidup pada kedalaman > 50 meter (Supriharyono, 2000).

2.1.3.3 Salinitas

Pertumbuhan terumbu karang dapat terjadi secara optimal pada salinitas berkisar antara 30-33 ‰ (Zurba, 2019). Berdasarkan PP No 22 Tahun 2021, salinitas sebesar 33-34 ‰ merupakan salinitas alami untuk karang. Karang yang hidup di laut dalam jarang mengalami perubahan salinitas yang cukup besar, sedangkan karang yang hidup perairan dangkal sering dipengaruhi oleh air tawar sehingga terjadi penurunan salinitas perairan (Ramses, 2016).

2.1.3.4 Sedimentasi

Sedimentasi memiliki pengaruh langsung dan tidak langsung terhadap karang. Secara langsung, sedimen yang melimpah atau berukuran besar dapat menyebabkan kematian pada karang karena dapat menutup polip karang. Selain itu, karang akan mengeluarkan banyak energi untuk menghalau sedimen sehingga menyebabkan penurunan laju pertumbuhan karang. Pengaruh tidak langsung sedimen yaitu dapat mengurangi penetrasi cahaya matahari pada karang sehingga mengganggu proses fotosintesis *zooxanthellae* (Ramses, 2016).

2.1.3.5 Arus dan Gelombang

Arus dan gelombang merupakan dua faktor penting untuk kehidupan karang. Arus dan gelombang berfungsi mengaduk bahan makanan untuk polip karang, membersihkan terumbu karang dari endapan serta mensuplai oksigen dari laut bebas. Karang akan lebih baik tumbuh pada wilayah yang memiliki arus dan gelombang yang kuat (Nontji, 1993). Kecepatan arus yang baik untuk pertumbuhan karang yaitu berkisar 0-0,17 m/det. Arus dapat memberikan pengaruh terhadap bentuk pertumbuhan karang. jika tekanan hidrodinamis seperti arus dan gelombang

perairan besar, maka bentuk karang akan lebih mengarah ke bentuk pertumbuhan *encrusting* (Zurba, 2019).

2.1.4 Endosimbion Karang

Karang merupakan hewan yang dapat menghasilkan terumbu akibat adanya hubungan simbiosis dengan *zooxanthellae*. *Zooxanthellae* adalah alga kelompok *Dinoflagellata*, genus *Symbiodinium* yang bersimbiosis dengan hewan seperti karang anemone, dan lainnya. Karang memiliki *zooxanthellae* sekitar > 1 juta sel/cm² permukaan karang atau antara 1-5 juta sel/cm². Keberadaan *zooxanthellae* dalam karang menyebabkan karang memiliki warna dan warna karang akan semakin gelap jika pigmen pada *zooxanthellae* semakin tinggi. Pada perairan dangkal, *zooxanthellae* lebih menampilkan warna coklat, hijau, pink, merah, biru, dan kuning yang terang. Warna-warna ini akan memudar saat tingkat kedalaman dan resultan cahaya berkurang (Zurba, 2019).

Simbiosis yang terjadi antara karang dan *zooxanthellae* adalah simbiosis mutualisme yaitu hubungan yang saling menguntungkan. *Zooxanthellae* memanfaatkan karbondioksida dari karang untuk melakukan fotosintesis. Hasil fotosintesis *zooxanthellae* yaitu oksigen akan dimanfaatkan karang untuk proses respirasi serta karbohidrat sebagai nutrisi. Keuntungan lain dari simbiosis ini adalah *zooxanthellae* akan mendapat amonia dari hasil proses ekskresi karang dan dikembalikan kepada karang dalam bentuk asam amino. Karang merupakan habitat yang baik untuk *zooxanthellae* karena menjadi penyuplai terbesar zat anorganik untuk proses fotosintesis (Thamrin, 2017).

Keberadaan *zooxanthellae* dalam karang terjadi melalui beberapa mekanisme terkait dengan reproduksi karang. Pada reproduksi aseksual, *zooxanthellae* akan langsung dipindahkan ke koloni baru atau ikut bersama potongan koloni karang yang lepas. Pada reproduksi seksual, karang akan mendapatkan *zooxanthellae* langsung dari induk atau secara tidak langsung dari lingkungan (Mulyanto, 2011).

Thamrin (2017) menyatakan bahwa, keberadaan *zooxanthellae* dalam siklus kehidupan karang dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu:

1. pada saat oogenesis, *zooxanthellae* masuk ke dalam siklus hidup karang pada saat oosit telah matang. Hal ini dapat terjadi pada karang tipe *spawning* atau *brooding*;
2. pada saat embriogenesis, kelompok ini dapat terjadi pada karang tipe *brooding*;
3. pada saat larva dan terbentuk polip muda, kelompok ini dapat terjadi pada karang tipe *spawning*.

2.1.5 Adaptasi

Terumbu karang merupakan ekosistem laut yang rentan mengalami kerusakan. Karang memiliki kepekaan tinggi terhadap perubahan lingkungan seperti peningkatan suhu air laut. Perubahan lingkungan ini dapat menyebabkan peningkatan stres pada karang dan *zooxanthellae*. Namun untuk mempertahankan diri, *zooxanthellae* melakukan hormesis. Hormesis merupakan proses biologi yang dapat mencegah terjadi keracunan dari zat beracun (Zamani, 2012).

Saat kondisi tertekan seperti kenaikan suhu dan intensitas cahaya, karang akan melakukan pertahanan diri agar proses fotosintesis *zooxanthellae* tidak terganggu. Menurut Brown *et al.* (2003) dan Sjafrie (2014), terdapat beberapa pertahanan karang saat kondisi mengalami tekanan yaitu:

1. NPQ (*non-photochemical quenching*) merupakan mekanisme pertahanan karang jika intensitas cahaya yang berlebihan. Sebagian energi akan dihaburkan sebagai panas melalui siklus xantofil (proses *non-photochemical quenching*). Proses ini menyebabkan peningkatan jumlah xantofil dalam sel alga simbiosis;
2. *heat shock protein* (HSP) merupakan protein yang aktif saat mendapatkan tekanan berupa panas. Karang akan melakukan adaptasi saat terjadi stres akibat tekanan panas yang masuk ke dalam tubuhnya yaitu dengan memproduksi

protein HSP. Pengaruh kenaikan suhu dapat meningkatkan aktivitas HSP pada karang;

3. enzim oksidasi merupakan salah pertahanan karang terhadap kenaikan suhu dan cahaya. Enzim oksidasi yaitu Cu/Zn superoxide dismutase (SOD), Mn SOD, dan Fe SOD. Konsentrasi dan aktivitas enzim tersebut akan meningkat jika mendapatkan tekanan suhu dan cahaya.

2.1.6 Pemutihan karang (*coral bleaching*)

Pemutihan karang (*coral bleaching*) adalah fenomena hilangnya sebagian besar *zooxanthellae* simbiotik yang ada di dalam jaringan karang yang disebabkan oleh perubahan temperatur, logam berat, nitrat, arus perairan yang kecil, intensitas cahaya, serta salinitas. Faktor utama terjadi kematian masal karang batu akibat pemutihan adalah peningkatan suhu air. *Coral bleaching* menyebabkan karang kehilangan 60 - 90% dari jumlah *zooxanthellae*-nya serta *zooxanthellae* yang masih tersisa dapat kehilangan 50 - 80000 dari pigmen fotosintesisnya (Sjafrie, 2014). *Bleaching* menyebabkan perubahan warna pada jaringan karang dari warna alaminya kecoklat- coklatan atau kehijau- hijauan menjadi berwarna putih pucat (Andiyari, 2016).

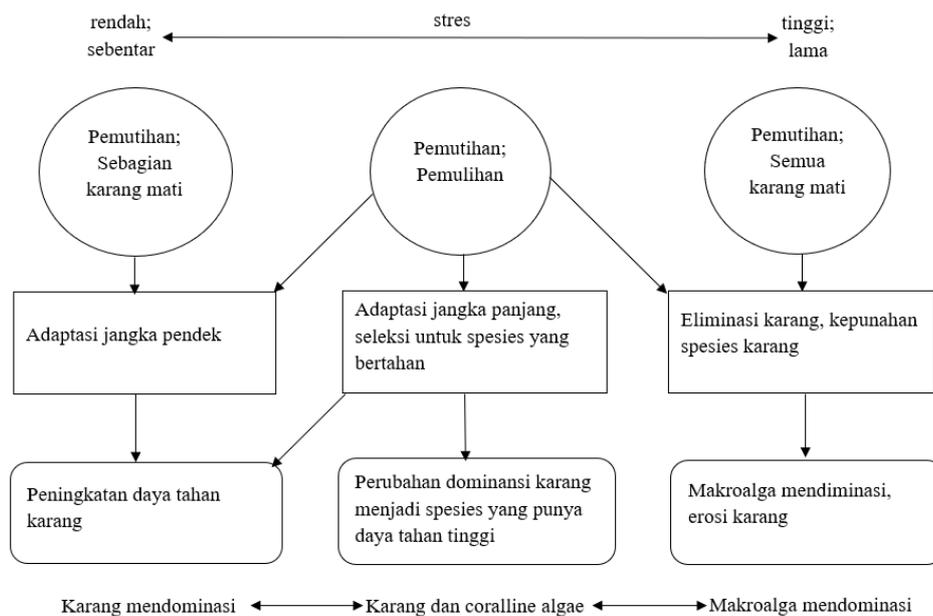
Keluarnya *zooxanthellae* dari karang memiliki lima mekanisme. Pertama adalah eksositososis yaitu pelepasan *zooxanthellae* dari sel-sel vakuola endodermis. Mekanisme kedua adalah apoptosis yaitu perencanaan kematian sel. Mekanisme ketiga adalah nekrosis yaitu kematian sel inang dan melepaskan kandungan sel termasuk *zooxanthellae*. Mekanisme keempat adalah *pinching off* (pencopotan) yaitu pelepasan bagian distal dari sel-sel inang yang mengandung *zooxanthellae* dan diikuti oleh lepasnya *zooxanthellae*. Mekanisme yang terakhir adalah *detachment* (pelepasan) sel inang yaitu pelepasan seluruh sel inang yang mengandung *zooxanthellae* (Zamani, 2012).

Coral bleaching dapat mempengaruhi pola reproduksi karang. Coles dan Brown (2003), menyatakan bahwa terjadi penundaan proses pemijahan selama 1 tahun

setelah peristiwa *coral bleaching* akibat kegagalan gametogenesis. Kegagalan gametogenesis disebabkan energi karang lebih digunakan untuk pertahanan diri dari *bleaching*. Dampak lain dari peristiwa *coral bleaching* adalah menurunnya pertumbuhan karang yang menyebabkan kemampuan karang untuk berkompetisi terhadap ruang dengan organisme bentik lainnya, seperti *turf algae*, alga koralin, makroalga, sepon, brioza, dan tunicate menurun (Sjafrie, 2014).

Menurut Coles dan Brown (2003), terdapat tiga hal yang mungkin terjadi akibat fenomena *coral bleaching* (Gambar 13) yaitu:

1. *bleaching* ringan, terjadi pemulihan. Pada kondisi awal akan terjadi aklimatisasi dari berbagai organisme, terutama karang. Komunitas karang akan kembali normal dan akan terjadi penguatan jenis-jenis karang terhadap tekanan lingkungan;
2. *bleaching* sedang, karang mengalami kematian sebagian. Karang yang kuat akan mampu beradaptasi, sehingga terjadi dominansi karang yang memiliki pertahanan yang tinggi;
3. *bleaching* berat, kematian massal karang. Semua jenis karang tidak dapat bertahan hidup, sehingga terjadi perubahan struktur komunitas yang digantikan oleh makroalga.



Gambar 13. *Coral bleaching*

2.1.7 Pemulihan Karang

Terumbu karang dapat mengalami pemulihan secara alami setelah mengalami *coral bleaching*. Hal ini telah dibuktikan dalam penelitian Brown dan Suharsono (1990) yang menunjukkan terjadi pemulihan struktur komunitas karang secara signifikan pada lokasi yang sebelumnya mengalami pemutihan karang yang disertai kematian 80-90%. Karang dapat pulih dari kejadian pemutihan karang dengan cara merekrut kembali zooxanthella dari lingkungan perairan ketika kondisi membaik. Proses pemulihan karang dapat dihambat oleh lapisan alga yang dengan cepat mengambil alih kerangka karang yang mati dan tidak membentuk substrat yang sesuai untuk rekolonisasi karang (Nybakken, 1992).

Secara alami, respons terumbu karang terhadap perubahan lingkungan adalah berusaha bertahan, pulih dan resiliensi, yaitu membentuk kembali komunitas yang stabil setelah mengalami gangguan. Pemulihan dapat dilihat dari peningkatan tutupan karang keras sebagai komponen utama pembentuk terumbu. Salah satu ukuran pemulihan karang adalah kembalinya tutupan karang setelah mengalami gangguan (Golbuu *et al.*, 2007). Pemulihan komunitas karang didukung oleh komposisi genus karang yang ada di perairan tersebut. Jenis karang bercabang dari genus *Acropora*, *Montipora*, *Pocillopora*, *Stylopora*, dan *Seriopora* memiliki tingkat pertumbuhan yang cepat sehingga mendukung pemulihan karang melalui peningkatan persentase tutupan karang keras. Karang bercabang memiliki tingkat pertumbuhan sebesar 7 cm/tahun dan karang yang masif sebesar 0,5 cm per tahun (Nybakken, 1992).

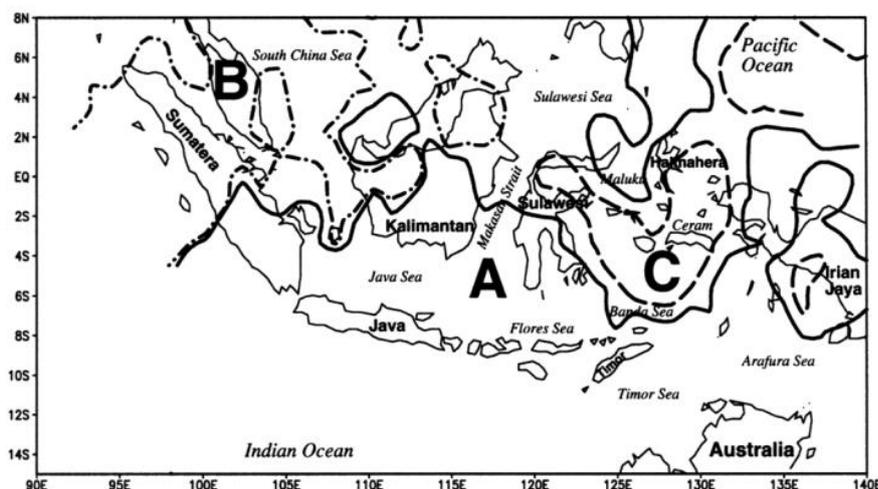
Salah satu upaya untuk membantu pemulihan karang secara alami adalah pengelolaan kawasan dengan sistem zonasi. Pengelolaan kawasan dapat mengurangi tekanan lokal dan menjamin tersedianya ikan herbivora yang merupakan taraf tropik penting dalam menjaga batas normal makroalga. Jika pertumbuhan makroalga tidak dapat dikendalikan maka komunitas makroalga akan segera mendominasi terumbu karang. Dengan jaminan kelimpahan dan biomassa ikan herbivora dapat

memberikan peluang karang dan ekosistem terumbu karang untuk pulih secara optimal (Damhudy *et al.*, 2011).

2.2 Suhu Permukaan Laut (SPL)

Suhu merupakan salah satu parameter fisik perairan yang berperan dalam aktivitas metabolisme maupun perkembangan suatu organisme. Suhu permukaan laut dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu curah hujan, penguapan, kelembaban udara, suhu udara, kecepatan angin, dan intensitas radiasi matahari (Saputro *et al.*, 2010). Radiasi matahari akan membedakan suhu air berdasarkan letak masing-masing lintang daerah. Daerah tropis akan lebih banyak menerima panas daripada daerah lintang tinggi dan kutub (Yulianda, 2014).

Indonesia memiliki SPL sebesar 26°C - 29°C. Variasi SPL Indonesia terjadi akibat adanya pengaruh dari angin muson (Nuary *et al.*, 2014). Pada saat musim barat (Desember) posisi matahari berada di selatan. Saat musim barat, kawasan barat Indonesia memiliki SPL sebesar 26°C - 28°C dan di kawasan timur sebesar 28°C - 29°C. Saat musim timur (Juni) posisi matahari berada di utara. Saat musim timur kawasan timur memiliki SPL sebesar 26 - 28 °C dan di kawasan barat sebesar 28 °C - 29 °C (Safitri *et al.*, 2012). Menurut Aldrian *et al.* (2003), wilayah Indonesia memiliki tiga wilayah iklim yaitu wilayah A (garis solid, wilayah B (garis putus-putus pendek) dan wilayah C (garis putus-putus panjang) (Gambar 14). Wilayah A mengalami pengaruh kuat dari dua monsun, yaitu monsun basah barat laut dan monsun kering tenggara. Wilayah B ada kemungkinan dipengaruhi oleh arus permukaan dingin yang datang dari utara keluar dari Laut Cina Selatan yang menekan jumlah curah hujan di wilayah tersebut. Wilayah C dipengaruhi oleh saluran air dari Samudra Pasifik ke Samudra Hindia yang melalui perairan laut Indonesia.



Gambar 14. Tiga wilayah iklim Indonesia
Sumber: Aldrian *et al.* (2003)

Selain angin muson, penyebab utama terjadinya variasi suhu di perairan Indonesia adalah El Nino *Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole Mode* (IOD) (Putra *et al.*, 2013). IOD adalah fenomena antara atmosfer dan samudra yang ditandai oleh perbedaan anomali suhu permukaan Samudra Hindia Timur (perairan Indonesia di sekitar Sumatera bagian barat dan selatan) dan di Samudra Hindia Barat (pantai timur Benua Afrika). ENSO merupakan fenomena akibat adanya anomali suhu permukaan laut di wilayah Samudra Pasifik Ekuator (Fadlan *et al.*, 2017). ENSO dan IOD memiliki korelasi yang berbeda terhadap SPL di masing-masing wilayah perairan Indonesia. Dinamika SPL bagian barat Indonesia seperti Samudra Hindia dan Selat Sunda lebih berkorelasi dengan IOD, sedangkan perairan di jalur arlindo, seperti Selat Makassar, Halmahera dan perairan sekitar Biak berkorelasi tinggi terhadap fenomena ENSO (Habibie, 2014).

ENSO merupakan sebuah interaksi laut dan atmosfer yang berpusat di wilayah ekuator Samudra Pasifik yang menyebabkan anomali iklim global. Menurut Khananah *et al.* (2017), ENSO terdiri dari dua fase yaitu:

1. El-Nino;
 - Terjadi akibat peningkatan suhu perairan Pasifik bagian timur dan tengah. Hal tersebut akan meningkatkan suhu kelembaban pada atmosfer dan pusat tekanan udara yang rendah. Peristiwa tersebut mendorong terjadinya pembentukan

awan dan akan meningkatkan curah hujan yang berada di kawasan tersebut. Bagian barat Samudra Pasifik akan mengalami peningkatan tekanan udara. Hal tersebut akan menyebabkan terhambatnya pertumbuhan awan di atas lautan Indonesia bagian timur. Hal tersebut akan mengakibatkan di beberapa wilayah di Indonesia mengalami penurunan curah hujan.

- Berdasarkan intensitasnya, El Nino dikelompokkan menjadi tiga yaitu, El Nino lemah, sedang, dan kuat. El Nino lemah, jika penyimpangan suhu muka laut $+0,5^{\circ}\text{C}$ - $+1,0^{\circ}\text{C}$ dan berlangsung minimal selama 3 bulan berturut-turut. El Nino sedang, jika penyimpangan suhu muka laut $+1,1^{\circ}\text{C}$ - $1,5^{\circ}\text{C}$ dan berlangsung minimal selama 3 bulan berturut-turut. El Nino kuat, jika penyimpangan suhu muka laut $>1,5^{\circ}\text{C}$ dan berlangsung minimal selama 3 bulan berturut-turut
2. La Nina;
- Terjadi akibat penurunan suhu perairan Pasifik bagian timur dan tengah. Anomali ini terjadi akibat angin pasat timur menguat dan sirkulasi monsoon menguat. Hal ini menyebabkan pergerakan awan mengarah ke barat yang menyebabkan curah hujan di wilayah Indonesia dan Australia meningkat dan akumulasi curah hujan wilayah Pasifik Timur berkurang.
 - Berdasarkan nilai anomali SPL, La Nina dikelompokkan menjadi tiga, yaitu La Nina lemah, sedang dan kuat. La Nina lemah, jika SPL $< -0,5$ dan berlangsung minimal selama 3 bulan berturut-turut. La Nina sedang, jika SPL antara $-0,5$ s/d -1 dan berlangsung minimal selama 3 bulan berturut-turut. La Nina, kuat jika SPL < -1 dan berlangsung minimal selama 3 bulan berturut-turut.

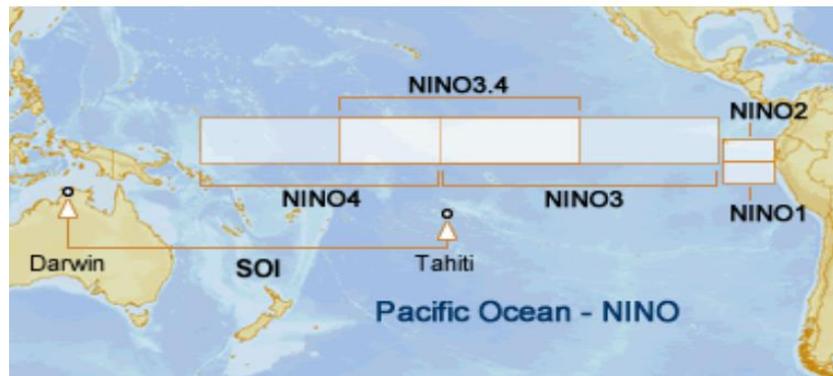
Fenomena ENSO dapat diketahui dari beberapa indeks yaitu *Oceanic Nino Index* (ONI) dan *Southern Oscillation Index* (SOI) (Zakir *et al.*, 2009). Indeks ONI merupakan standar yang digunakan National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) untuk mengidentifikasi peristiwa El Nino dan La Nina di Pasifik. ONI ditentukan dari rata-rata suhu permukaan laut khatulistiwa Pasifik atau NINO 3.4 (5°LU - 5°LS , 120° - 170°BB). Kenaikkan anomali SPL NINO 3.4 diikuti dengan melemahnya angin pasat yang mengakibatkan pergeseran daerah konveksi

pembentuk awan-awan hujan. Pada kondisi normal, daerah konveksi berada di daerah barat Samudra Pasifik. Namun, pada saat kondisi El Nino (SPL meningkat) zona konveksi bergeser ke tengah Samudra Pasifik (Rojas, 2014).

Fenomena La Nina ditandai dengan penurunan SPL di zona Nino 3.4. Menurut BMKG Indonesia, El Nino kuat memiliki ONI sebesar $> + 1,5$ °C, El Nino sedang memiliki ONI dengan rentang $+1,0$ °C - $1,5$ °C, dan El Nino lemah memiliki ONI dengan rentang $+0,5$ °C - $1,0$ °C. La Nina kuat memiliki ONI sebesar $< -1,5$ °C, La Nina sedang memiliki ONI dengan rentang $-1,5$ °C – $(-1,0)$ °C dan La Nina lemah memiliki ONI dengan rentang $-1,0$ °C – $(-0,5)$ °C. Berdasarkan standar historis, dapat dikatakan terjadi El Nino atau La Nina jika nilai ambang tersebut terjadi setidaknya 3 bulan berturut-turut.

Australian *Government* menyatakan bahwa, untuk memantau Samudra Pasifik dari tanda-tanda El Nino atau La Niña dapat menggunakan beberapa indeks suhu permukaan laut (SPL). Indeks ini hanya mengacu pada perbedaan dari rata-rata suhu permukaan laut di beberapa wilayah yang terletak di sepanjang Pasifik Khatulistiwa. Wilayah ini disebut NINO1 dan NINO2 (yang terletak di pantai Amerika Selatan), NINO3, dan NINO 3.4 (yang masing-masing menempati Pasifik Ekuator Timur dan Tengah) dan NINO4 (terletak di Pasifik Barat). NINO 3.4 sebagian tumpang tindih dengan wilayah NINO3 dan NINO4. Wilayah NINO (Gambar 15) meliputi area berikut:

- NINO1 : $5-10^{\circ}\text{S}$, $80-90^{\circ}\text{W}$
- NINO2 : $0-5^{\circ}\text{S}$, $80-90^{\circ}\text{W}$
- NINO3 : $5^{\circ}\text{N}-5^{\circ}\text{S}$, $150-90^{\circ}\text{W}$
- NINO3.4 : $5^{\circ}\text{N}-5^{\circ}\text{S}$, $120-170^{\circ}\text{W}$
- NINO4 : $5^{\circ}\text{N}-5^{\circ}\text{S}$, $160^{\circ}\text{E}-150^{\circ}\text{W}$



Gambar 15. Posisi daerah NINO di Samudra Pasifik

Fenomena ENSO memberi dampak pada kondisi Iklim di Indonesia dan akan berpengaruh pada kerentanan kawasan ekosistem pesisir yaitu terumbu karang. Terdapat empat peristiwa pemutihan karang global akibat El Nino yang telah dilaporkan di seluruh dunia, termasuk di perairan Indonesia. Pada tahun 1982-1983 terjadi pemutihan karang yang menyebabkan 95% karang di Kepulauan Galapagos mengalami kematian. Pada tahun 1997/1998 terjadi El Nino yang meningkatkan suhu laut global sekitar 2°C dan 16% karang dunia hancur. Pada tahun 2010 terjadi El Nino ringan yang menyebabkan pemutihan karang massal di banyak bagian dunia. Pada tahun 2015/2016 terjadi El Nino yang dikabarkan NOAA sebagai peristiwa pemutihan terlama dan terluas yang pernah terjadi dan berdampak pada beberapa terumbu karang dalam waktu beberapa tahun berturut-turut (Wouthuyzen *et al.*, 2018).

Peristiwa pemutihan karang tahun 2010 dan 2016 yang terjadi di Indonesia memiliki perbedaan kekuatan yang berdampak pada karang. Kekuatan peristiwa pemutihan karang tersebut dibuktikan oleh indeks ONI. Pemutihan karang tahun 2016 dikategorikan sangat kuat akibat indeks ONI sebesar 2°C . Namun pada 2010, kekuatan pemutihan karang dikategorikan sedang akibat indeks ONI sebesar $1,0 - 1,5^{\circ}\text{C}$ (Wouthuyzen *et al.*, 2018).

2.3 Penginderaan Jauh dan SIG

Penginderaan jauh merupakan seni yang digunakan untuk memperoleh informasi objek, daerah atau fenomena dengan menganalisis informasi tersebut tanpa melakukan pengecekan langsung di lokasi pengamatan (Lapan, 2015). Penginderaan jauh terdiri dari tiga komponen utama yaitu objek yang diindera, sensor untuk merekam objek dan gelombang elektronik yang dipantulkan atau dipancarkan oleh permukaan bumi. Alat perekam dalam penginderaan jauh dapat berupa balon udara, pesawat terbang, satelit, dan lainnya (Amarrohman *et al.*, 2019).

Penginderaan jauh banyak dimanfaatkan dengan tujuan yang bervariasi, salah satunya adalah untuk ekosistem perairan dangkal. Radiasi elektromagnetik pada spektrum sinar tampak dimanfaatkan dalam penginderaan jauh terumbu karang. Spektrum sinar tampak dapat menembus air sehingga dapat mendeteksi terumbu karang yang berada di bawah permukaan air (Muhtar *et al.*, 2019). Pemanfaatan penginderaan jauh dalam bidang kelautan banyak dilakukan dengan jenis sensor yang berbeda-beda. Salah satu contoh yaitu untuk analisis suhu permukaan laut dan warna lautan menggunakan sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) pada satelit National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (Lillesand *et al.*, 2015).

2.3.1 Landsat

Citra Landsat merupakan visualisasi relief bumi yang direkam dari satelit luar angkasa dengan skala 1: 250.000 dan ketinggian kurang lebih 818 km dari permukaan bumi. Dalam setiap sekali perekaman, objek yang dapat dicakup yaitu 185 x 185 km² sehingga aspek dari objek tertentu dapat diidentifikasi secara luas. Landsat merupakan citra yang terus melakukan regenerasi. Menurut Fawzi *et al.* (2021), terdapat delapan generasi Landsat yaitu:

1. Landsat generasi pertama yaitu Landsat 1 dikeluarkan pada tahun 1972;
2. Landsat 2 dan 3 yang dikeluarkan tahun 1974 dan 1978. Citra ini masih memiliki konfigurasi sensor yang sama;

3. Landsat 4 dikeluarkan tahun 1982 yang dilengkapi dua sensor, yaitu sensor MSS dan *thematic mapper* (TM), namun tahun 2001 NASA memutuskan untuk menghentikan operasional dari citra Landsat 4;
4. Landsat 5 dikeluarkan tahun 1984 dengan sensor yang mirip dengan Landsat 4
5. Landsat 6 dikeluarkan tahun 1993 namun gagal diorbitkan akibat ledakan di roket Titan II saat proses separasi roket;
6. Landsat 7 dikeluarkan tahun 1999. Landsat 7 memiliki sensor ETM dengan satu band tambahan yaitu band pankromatik dengan resolusi spasial 15 meter².
7. Landsat 8 dikeluarkan pada 11 Februari 2013.

Landsat 8 memiliki berat 2.071 kg, tinggi 3 meter dan diameter 2,4 meter. Landsat 8 mengorbit 705 km di atas permukaan bumi, dengan resolusi temporal 16 hari. Landsat 8 memiliki dua sensor, yaitu *onboard operational land imager* (OLI) dan *thermal infrared sensor* (TIRS). Sensor TIRS menggunakan *quantum well infrared photodetectors* (QWIPs) untuk merekam gelombang inframerah termal yang dipancarkan bumi. Landsat 8 memiliki 11 buah band di antara band-band tersebut terdapat 9 band (band 1-9) berada pada OLI dan 2 (band 10 dan 11) pada TIRS (Tabel 1) (Fawzi *et al.*, 2021).

Tabel 1. Karakteristik data citra satelit Landsat 8

Band	Panjang gelombang (μm)	Resolusi (m)
Band 1 – <i>Coastal/Aerosol</i>	0,433 – 0,453	30
Band 2 – <i>Blue</i>	0,450 – 0,515	30
Band 3 – <i>Green</i>	0,525 – 0,600	30
Band 4 – <i>Red</i>	0,630 – 0,680	30
Band 5 – NIR	0,845 – 0,885	30
Band 6 – SWIR-1	1,560 – 1,660	30
Band 7 – SWIR-2	2,100 – 2,300	30
Band 8 – Pan	0,500 – 0,680	15
Band 9 – <i>Cirrus</i>	1,360 – 1,390	30
Band 10 – LWIR-1	10,30 – 11,30	100
Band 11 – LWIR-2	11,50 – 12,50	100

Sumber: NASA (2013)

Band multispektral pada Landsat 8 mendukung kombinasi band RGB (komposit) sesuai kebutuhan untuk mengungkap fenomena yang terjadi di permukaan bumi. Terdapat beberapa pilihan kombinasi band untuk komposit dan tujuan analisis dalam kombinasi RGB (Tabel 2):

Tabel 2. Komposit band pada Landsat 8 beserta tujuannya

Komposit band	Tujuan analisis
4-3-2	Visualisasi gelombang tampak.
7-6-4	<i>False color</i> analisis perkotaan.
5-4-3	Infrared untuk analisis vegetasi.
6-5-2	Agrikultur/pertanian.
7-6-5	Penetrasi atmosfer.
5-6-2	Menilai vegetasi yang sehat.
5-6-4	Daratan/air.
6-5-4	Analisis vegetasi.

Sumber: ESRI (2013)

2.3.2 Algoritma Lyzenga

Dasar suatu perairan tidak dapat diamati secara langsung pada citra satelit karena pengaruh dari serapan dan hamburan pada lapisan permukaan air. Namun pengaruh ini dapat dihitung, jika diketahui kedalaman dan karakteristik optis airnya. Prinsip ini menjadi dasar untuk pengembangan teknik penggabungan informasi dari beberapa saluran spektral untuk menghasilkan indeks pemisah kedalaman (*depth invariant index*) dari material penutup dasar perairan (Lyzenga, 1985).

Algoritma lyzenga atau yang disebut juga *depth invariant index* (DII) merupakan algoritma yang diterapkan pada citra untuk koreksi kolom perairan. Prinsip algoritma ini adalah menggunakan kombinasi kanal sinar tampak citra satelit. Algoritma ini digunakan untuk mengetahui kondisi dasar perairan dengan menggunakan citra Landsat berdasarkan nilai pantulan dasar perairan yang diduga dari fungsi linear reflektansi dasar perairan dan fungsi eksponensial kedalaman air. Algoritma lyzenga telah digunakan pada banyak studi pemetaan habitat karang dengan menggunakan berbagai data satelit (Lyzenga, 1985).

Transformasi formula lyzenga adalah metode yang umum digunakan untuk menguatkan respon spektral terumbu karang dan membedakannya dengan substrat dasar perairan lain. Transformasi lyzenga dapat mereduksi pengaruh efek kedalaman, pergerakan dan kekeruhan air, untuk meningkatkan perolehan informasi karakteristik dasar perairan dangkal (Lyzenga, 1985). Algoritma lyzenga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan persamaan 1 yaitu:

$$Y = \text{Ln Band 1} + \frac{k_i}{k_j} \times \text{Ln (Band 2)} \dots\dots\dots (1)$$

Perhitungan algoritma ini dipengaruhi oleh pasangan kanal i (kanal biru) dan j (kanal hijau) yang digunakan. Panjang gelombang dari kanal yang digunakan akan memengaruhi seberapa dalam kanal tersebut dapat mendeteksi dasar perairan. Kanal biru dan kanal hijau memiliki panjang gelombang dengan penetrasi paling baik di antara kanal yang lain. Analisis data citra satelit menggunakan algoritma lyzenga dilakukan dengan mencari koefisien atenuasi terlebih dahulu. Koefisien atenuasi berguna untuk penajaman terumbu karang (k_i/k_j) didasarkan pada penghitungan varian dan kovarian. Nilai nilai koefisien atenuasi dapat ditentukan dengan persamaan 2 yaitu:

$$\frac{k_i}{k_j} = a + \sqrt{a^2 + 1} \dots\dots\dots (2)$$

Nilai k_i/k_j ditentukan oleh besarnya nilai a. Nilai a diperoleh dengan mengekstrak nilai-nilai digital pada kanal biru dan kanal hijau pada posisi geografis yang sama melalui pembuatan training sample area dalam bentuk point. Nilai sampel dihitung secara statistik sehingga didapat nilai varian (ragam) dan kovarian (peragam) training sample area untuk kanal biru dan kanal hijau sehingga diperoleh nilai a. Nilai a disebut dengan variabel varians kovarian yang merupakan nilai variasi dari selisih varians akhir dikurang dengan varians awal terhadap kovariannya. Nilai variabel varians kovarian (a) dapat ditentukan dengan persamaan 3 yaitu:

$$a = \frac{(a_{ii} - a_{jj})}{(2a_{ij})} \dots\dots\dots (3)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

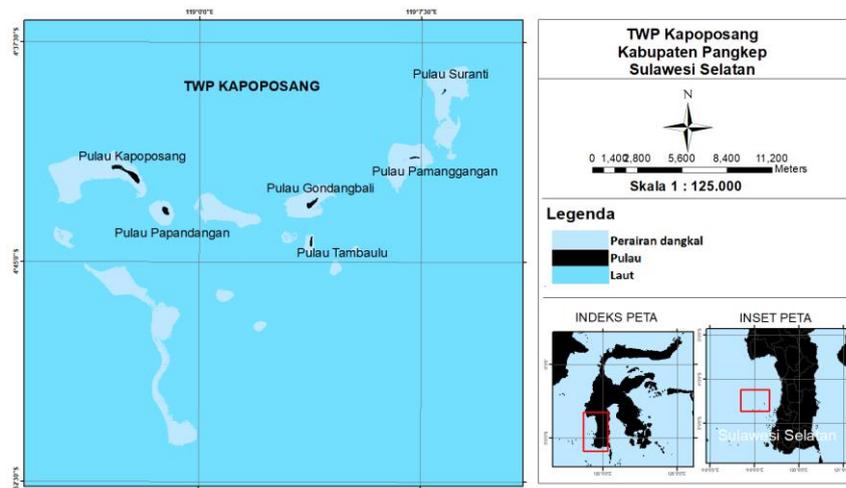
3.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Taman Wisata Perairan (TWP) Kapoposang masuk ke dalam wilayah Kabupaten Pangkep, Provinsi Sulawesi Selatan. Posisi geografis kawasan ini berada di 118° 54' 00" BT – 119° 10' 00" BT dan 04° 37' 00" LS – 04° 52' 00" LS. Dalam SK Menteri Kehutanan No. 588/Kpts-VI/1996 tanggal 12 September 1996 ditetapkan Kepulauan Kapoposang sebagai Taman Wisata Perairan dengan luas sebesar 50.000 hektar dan memiliki panjang batas 103 km. Pada tanggal 4 Maret 2009 berdasarkan BA 01/Menhut-IV/2009 dan BA 108/Men.KP/III/2009, pengelolaan Kepulauan Kapoposang dan sekitarnya diserahkan kepada Departemen Kelautan dan Perikanan. Selanjutnya terjadi perubahan akibat dikeluarkannya Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 66/MEN/2009 yang menetapkan Kawasan Konservasi Perairan Nasional Kepulauan Kapoposang dan laut sekitarnya di Provinsi Sulawesi Selatan (Yusuf *et al.*, 2015).

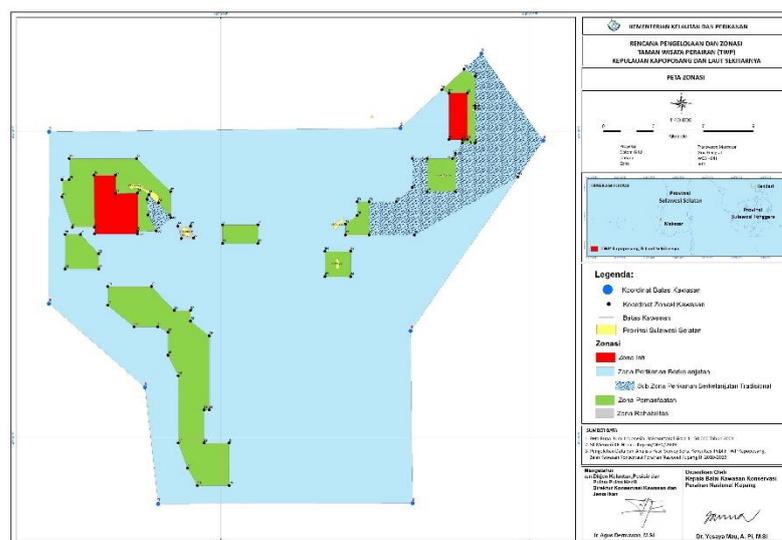
Pulau Kapoposang merupakan kawasan konservasi perairan nasional yang memiliki keunggulan, yaitu memiliki kawasan terumbu karang yang sangat bagus baik dari sisi keindahan, keanekaragaman hayati, maupun tutupan karang hidupnya. TWP Kapoposang memiliki tutupan karang hidup rata-rata sebesar 48,14 % dalam kondisi sedang dan dalam rentang 29,5-67,73 % dalam kondisi baik. Ekosistem terumbu karang TWP Kapoposang didominasi oleh pertumbuhan karang keras dari jenis-jenis *Acropora* sp. serta terdapat juga beberapa karang bercabang seperti *Anacropora*, *Echynopora (foliosa)*, *Montipora digitata*, dan sebagainya. Secara umum, karang yang tumbuh TWP Kapoposang memiliki sifat lebih rapuh karena kondisi oseanografis pada lokasi ini relatif lemah (Yusuf *et al.*, 2015).

Pengelola TWP Kapoposang melakukan pengelolaan kawasan konservasi perairan berdasarkan sistem zonasi. Zonasi TWP Kapoposang terbagi menjadi 3 zona (Gambar 16 dan Gambar 17), yaitu:

1. Zona inti berada di Pulau Kapoposang dan Pulau Suranti.
2. Zona perikanan berkelanjutan berada di Pulau Papandangan dan Pulau Gondongbali.
3. Zona pemanfaatan berada di perairan barat, Pulau Kapoposang dan Pulau Tambakulu, Pulau Papandangan, Pulau Gondongbali, Pulau Pamanggangan dan Pulau Suranti.



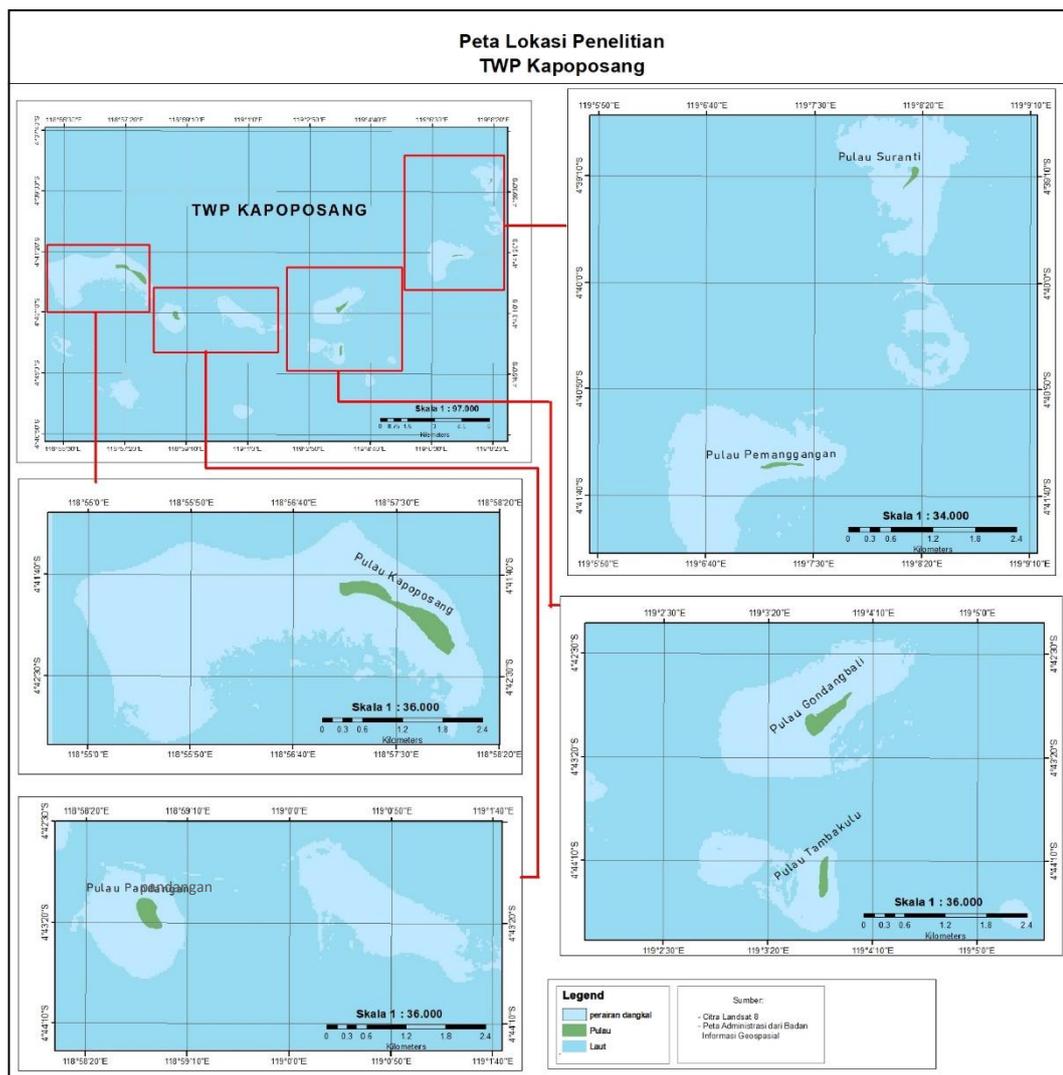
Gambar 16. Pulau-pulau di TWP Kapoposang



Gambar 17. Zona TWP Kapoposang

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan April hingga September 2022 di Laboratorium Oseanografi, Jurusan Perikanan dan Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Objek penelitian adalah TWP Kapoposang yang terdiri dari enam pulau pengamatan, yaitu Pulau Kapoposang, Pulau Papandangan, Pulau Gondong-bali, Pulau Pemanggangan, Pulau Tambakulu, dan Pulau Suranti (Gambar 18).



Gambar 18. Peta lokasi penelitian

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

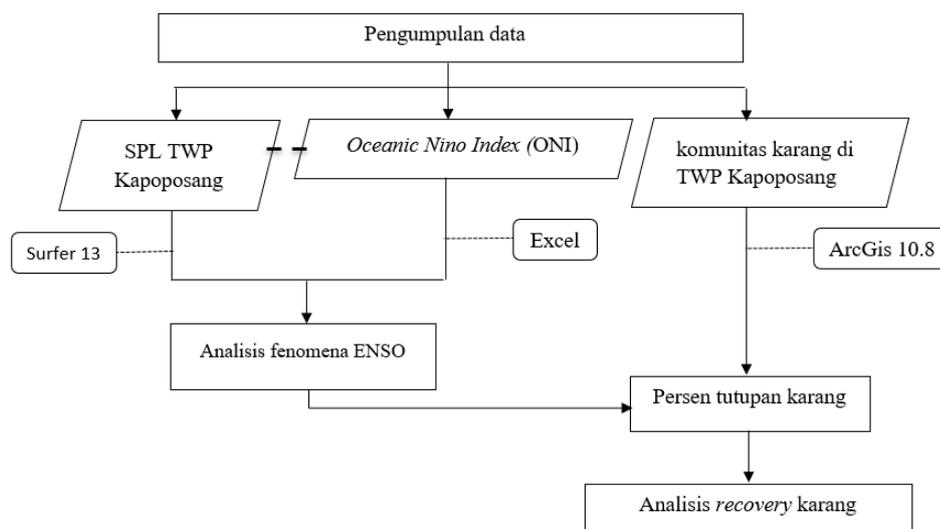
Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Alat dan bahan penelitian

No	Alat dan Bahan	Kegunaan
1.	Laptop Intel ® Core TM i5	Perangkat keras untuk mengolah data.
2.	ArcGIS 10.8	Layout peta.
3.	Surfer 13	Perangkat lunak untuk menganalisis sebaran SPL.
4.	Envi 5.3	Perangkat lunak untuk pengolahan citra.
5.	ER Mapper 7.0	Perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan citra.
6.	Microsoft excel	Perangkat lunak yang digunakan untuk mengekstrak data dan mengolah data.
7.	Citra Landsat 8	Menganalisis kondisi terumbu karang.
8.	Data lapangan	Validasi klasifikasi terumbu karang.
9.	Indeks ONI	Menganalisis fenomena ENSO

3.4 Prosedur Penelitian

Data dikumpulkan adalah indeks ONI, data *time series* SPL, dan data komunitas karang. Indeks ONI diolah pada aplikasi Excel untuk mengetahui fenomena ENSO. Data SPL diolah dengan *software* Surfer 13 untuk mengetahui pola sebaran suhu TWP Kapoposang. Data komunitas karang berasal dari pengolahan citra satelit Landsat 8 tahun 2014-2021. Citra Landsat 8 diolah pada *software* ArcGis 10.8 untuk mengetahui luas dan persentase terumbu karang hidup atau mati. Analisis *recovery* karang dilakukan berdasarkan perubahan luas dan persentase karang hidup dan mati di tahun 2014-2021. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Diagram alir penelitian

3.5 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian adalah data indeks ONI, data SPL dan komunitas karang. Data indeks ONI diambil dari situs Australia Government (<http://www.bom.gov.au/-climate/enso/indices/about-.shtml>). Data SPL di TWP Kapoposang diperoleh dari BRSDM KKP (Dr. Taslim Arifin). Data komunitas karang diperoleh dari pengolahan citra Landsat 8. Landsat 8 diunduh dari website milik *United States Geological Survey* (USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Pengolahan citra Landsat 8 di TWP Kapoposang membutuhkan data pengamatan lapang Pulau Pahawang untuk proses klasifikasi citra satelit.

3.6 Metode Pengolahan Data

3.6.1 Indeks ONI

Indeks ONI ditentukan dari rata-rata SPL di wilayah Nino 3.4 dan merupakan ukuran utama untuk memantau, menilai dan memprediksi ENSO. Alasan digunakan wilayah Nino 3.4 dari penelitian ini karena wilayah Nino 3.4 dapat dianggap mewakili Pasifik bagian barat dan timur (NOAA, 2022). Fenomena ENSO (El

Nino atau La Nina) terjadi jika nilai ambang indeks terjadi minimal 3 bulan berturut-turut. Indeks ONI memiliki nilai ambang yang terdapat pada Tabel 4.

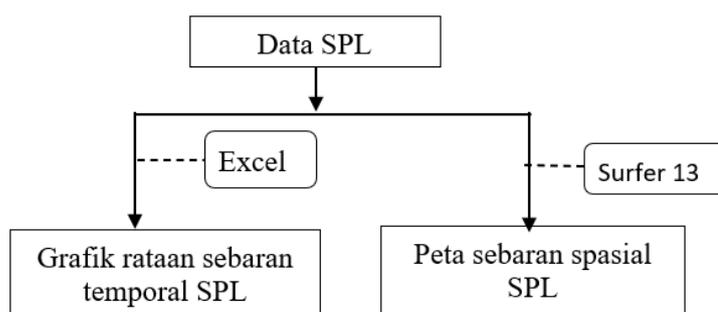
Tabel 4. Nilai ambang indeks ONI

Jenis Indeks	Nilai	Fenomena	Level
Indeks ONI	$> +1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$	El Niño	Kuat
	$+1,0\text{ }^{\circ}\text{C} - +1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$		Sedang
	$+0,5\text{ }^{\circ}\text{C} - +1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$		Lemah
	$-0,5\text{ }^{\circ}\text{C} - +0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$	Netral	
	$-1,0\text{ }^{\circ}\text{C} - -0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$	La Niña	Lemah
	$-1,5\text{ }^{\circ}\text{C} - -1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$		Sedang
	$< -1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$		Kuat

Sumber: BMKG Indonesia (2021)

3.6.2 Suhu Permukaan Laut (SPL)

Data SPL dianalisis menggunakan Microsoft Excel dan *software* Surfer 13. Data SPL divisualisasikan dalam bentuk grafik menggunakan Microsoft Excel untuk melihat sebaran secara temporal. Selanjutnya untuk menampilkan sebaran spasial, SPL diolah menggunakan *software* Surfer 13 (Gambar 20).



Gambar 20. Diagram alir analisis SPL

Pengaruh pemanasan global dapat diamati dari anomali suhu permukaan laut. Anomali SPL merupakan penyimpangan suhu permukaan laut saat tertentu terhadap nilai normalnya. Nilai normal dihitung dari rataan SPL dari data yang cukup panjang. Anomali SPL dapat ditentukan dengan persamaan 4 yaitu:

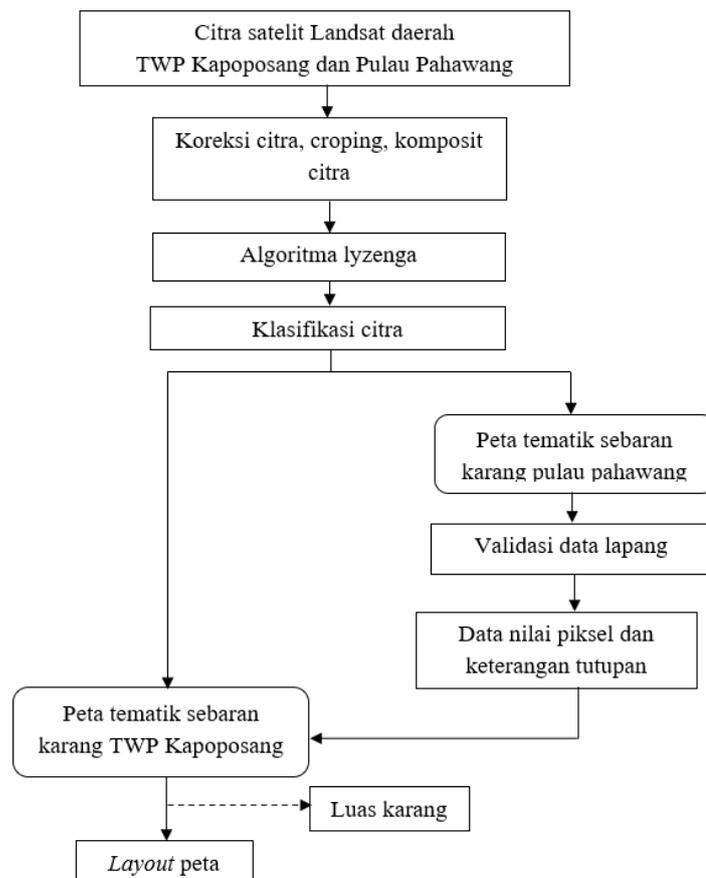
$$\text{Anomali} = \text{SPL}_i - \overline{\text{SPL}} \dots\dots\dots (4)$$

Dalam mengungkap potensi pemutihan terumbu karang maka ditentukan nilai *hot spot* (HS). HS ditentukan dari selisih rata-rata SPL tahun ke-i dengan SPL rata-rata (2014-2018). HS dapat ditentukan dengan persamaan 5 yaitu:

$$\text{HS} = \begin{cases} \text{SPL} - \text{SPL rata-rata}, & \text{SPL} > \text{SPL rata-rata} \\ 0 & \text{SPL} \leq \text{SPL rata-rata} \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

3.6.3 Tutupan Karang

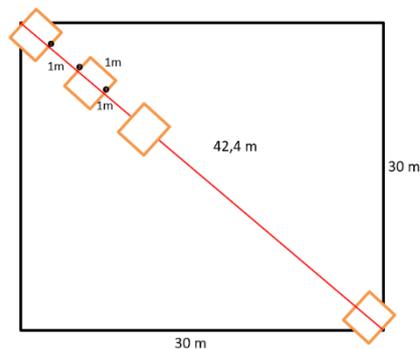
Pengolahan tutupan karang dilakukan dengan menggunakan aplikasi ER Mapper 7.0, Envi 5.3, dan ArcGIS 10.8. Diagram alir pemetaan tutupan karang dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Metode pengolahan tutupan karang

Akibat kendala pengambilan data lapang di TWP Kapoposang, maka untuk proses validasi dilakukan menggunakan data lapang di Pulau Pahawang sebagai data pembanding. Citra Landsat 8 Pulau Pahawang diolah dengan metode yang sama dengan citra Landsat 8 TWP Kapoposang. Nilai-nilai piksel hasil klasifikasi citra di Pulau Pahawang menjadi penentu untuk penamaan kelas kelas pada hasil klasifikasi citra di TWP Kapoposang. Nilai piksel hasil pemetaan di Pahawang dan TWP Kapoposang yang sama akan menjadi kelas yang sama pula.

Proses validasi data di Pulau Pahawang dilakukan dengan cara mengambil 12 titik sampel dari hasil pengkelasan yang telah dilakukan sebelumnya. Titik sampel tersebut kemudian diamati langsung untuk mengetahui jenis tutupannya, yaitu pasir, karang hidup, karang mati, atau lamun. Pengambilan gambar dan pengamatan masing-masing titik sampel di bawah air dilakukan dengan teknik foto transek kuadrat (Gambar 22).



Gambar 22. Transek pengamatan

Persentase tutupan karang hidup, karang mati, lamun, atau pasir dapat dihitung menggunakan persamaan 6 yaitu:

$$\% \text{tutupan} = \frac{\text{Luas kelas (Ha)}}{\text{Luas daerah pengamatan (Ha)}} \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

Persentase perubahan luas karang hidup, karang mati, lamun, atau pasir dapat dihitung menggunakan persamaan 7 yaitu:

$$\% \text{perubahan} = \frac{\text{Luas}_{2021} - \text{Luas}_{2014}}{\text{Luas}_{2014}} \dots \dots \dots (7)$$

3.6.4 Coral Recovery Indeks (CRI)

CRI merupakan rumus yang diambil dari turunan persamaan laju pertumbuhan spesifikasi. Rumus CRI digunakan untuk menghitung laju pemulihan karang berdasarkan luas tutupan karang. CRI dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{CRI} = \left(\left(\frac{L_t}{L_0} \right)^{1/t} - 1 \right) \times 100\% \dots \dots \dots (8)$$

keterangan:

L_0 = Luas karang (ha) pada awal tahun acuan (2014)

L_t = Luas karang (ha) pada awal tahun ke-t

T = waktu pengamatan (tahun)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari skripsi yaitu:

1. Fenomena El Nino di Samudra Pasifik tahun 2014-2015 pada intensitas sedang hingga kuat terindikasi memiliki konektivitas dengan anomali SPL di TWP Kapoposang hingga mencapai intensitas sedang. Pengaruh tertinggi (HS) di TWP Kapoposang terjadi pada tahun 2016.
2. Persentase tutupan karang hidup di TWP Kapoposang cenderung mengalami penurunan, sedangkan persentase tutupan karang mati justru cenderung mengalami peningkatan pada kurun waktu 2014-2021. Komunitas karang di zona pemanfaatan terindikasi terdampak paling tinggi akibat pengaruh El Nino dan sekaligus merupakan zona paling cepat mengalami pemulihan El Nino di TWP Kapoposang.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai parameter lainnya yang juga memiliki indikasi hubungan dengan *coral bleaching*.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, T. 2019. *Fisiografi dan Keragaman Jenis Karang di Pulau-Pulau Kecil Makassar, Kepulauan Spermonde. Konservasi Pesisir dan Laut Ekosistem, Molekuler Ekologi, Marxan, dan Indraja*. IPB Press. Bogor. 84 hlm.
- Amarrohman, F., Awalludin, M., Awalludin, A., Subiyanto, S., dan Syafitri, A. 2019. Penentuan batas pengelolaan wilayah laut Kabupaten Sumenep dengan menggunakan citra Landsat. *Jurnal Geodesi dan Geomatika*. 2(1): 50-54.
- Amrillah, K., Adi, W., dan Kurniawan. 2019. Pemetaan sebaran terumbu karang di perairan Pulau Kelapan, Kabupaten Bangka Selatan berdasarkan data satelit Sentinel 2A. *Journal of Tropical Marine Science*. 2(2): 59-70.
- Australian government bureau of meteorology. 2022. About ENSO and IOD indices. <http://www.bom.gov.au/climate/enso/indices/about.shtml>. Diakses pada tanggal 13 Maret 2022.
- BKKPN Kupang. 2018. Pemantauan Aktivitas Yang Bersifat Destructive dan Kesesuaian Pemanfaatan Zonasi KKP TWP Kapoposang. <https://kkp.go.id/djprl/bkkpnpkupang/artikel/3856-pemantauan-aktivitas-yang-bersifat-destructive-dan-kesesuaian-pemanfaatan-zonasi-kkp-twp-kapoposang>. Diakses pada tanggal 25 November 2022.
- Brown, E. dan Suharsono. 1990. Damage and recovery of coral reefs affected by El Nino related seawater warming in the Thousand Island, Indonesia. *Coral Reefs*. 8: 163-170.
- Coles, L. dan Brown. 2003. Coral bleaching-capacity for acclimatization and adaptation. *Advances in Marine Biologi*. 46: 185-22.
- Damai, R., Prasitan, V., dan Setiawan, K. 2020. Monitoring changes in coral reef habitat cover on Beralas Pasir Island using Spot 4 and Spot 7 imagery from 2011 and 2018. *International Journal of Remote Sensing and Earth Science*. 17(2): 127-148.

- Damhudy, D., Kamal, M., dan Ernawati, Y. 2011. Kondisi kesehatan terumbu karang berdasarkan kelimpahan ikan herbivora di Kecamatan Pulau Tiga Kabupaten Natuna. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*.17(1): 215-225.
- English, E., Wilkinson, C., dan Baker V. 1997. *Survey Manual for Tropical Marine Resources: 2nd Edition*. Australian Institute of Marine Science.
- ESRI. 2013. Imagery & Remote Sensing Band Combinations for Landsat 8. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/imagery/band-combinations-for-landsat-8/>. Diakses pada tanggal 13 Maret 2022.
- Fadlan, A., Sugianto, D., Kunarso, dan Zainuri, M. 2017. Pengaruh fenomena monsun, El Nino Soithern Oscillation (ENSO) dan Indian Ocean Dipole (IOD) terhadap anomaly tinggi muka laut di utara dan selatan Pulau Jawa. *Prosiding Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan Ke-VI*. 205-217.
- Fawzi, N. dan Ihsan, V. 2021. *Landsat 8 - Sebuah Teori dan Teknik Pemrosesan Tingkat Dasar*. EL MARKAZI. 76 hlm.
- Golbuu, Y., Victor, S., Penland, E., Idip, D., Emaurois, C., Okaji, K., Yukihiro, H., Iwase, A., dan Woesik, R. 2007. Palau's coral reefs show differential habitat recovery following the 1998-bleaching event. *Coral Reefs*. 26(2): 319-332.
- Habibie, M. 2014. Karakteristik dan tren perubahan suhu permukaan laut di Indonesia periode 1982- 2009. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. 15(1): 37-49.
- Hanley, D., Borassa, M., Bren, J., Smith, S., dan Spade, E. 2003. A quantitative evaluation of ENSO indices. *Journal of Climate*. 16: 1249–1258.
- Hasanudin, M. 1998. Arus lintas Indonesia (Arlindo). *Oseana*. XXIII(2): 1-9.
- Lasut, A., Patty, W., Warouw, V., Sondakh, C., Bara, R., Luasunaung, A., dan Sumilat, D. 2021. The relationship between EL Nino Southern Oscillation (ENSO) and oceanographic parameters in North Sulawesi. *Aquatic Science & Management*. 9(1): 17-25.
- Lillesan, T., Kiefer, R., dan Chipman, J. 2015. *Remote Sensing and Image Interpretation. 7th Edition*. John Wiley & Sons, NewYork.
- Lyzenga, D. 1985. Shallow water bathymetry using combined lidar and passive multispectral scanner data. *International Journal of Remote Sensing*. 6(1): 115-125.
- Marshall, P. dan Baird, A. 2000. Bleaching of coral on the great barrier reef: differential susceptibilities among taxa. *Coral Reef*. 19: 155-163.

- Muhaemin, M., Arifin, T., Mahdafikia, N., Fihrin, H. 2022. Pengaruh parameter oseanografi fisik terhadap indikasi pemutihan karang (coral bleaching) di Taman Wisata Perairan (TWP) Kapoposang Spermonde Selat Makassar. *Journal of Marine Research*. 11(4): 587-597.
- Muhtar, F., Armijon, Murdapa, F., dan Fadly, R. 2019. Analisa luasan terumbu karang di perairan Pulau Tegal Lampung dengan teknologi penginderaan jauh. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*. 5(2): 55-67.
- Mulyani, M., Purnomo, P., dan Supriharyono. 2020. Pengaruh berbagai temperatur terhadap pelepasan densitas zooxanthellae pada karang *Acropora* sp. dalam skala laboratorium. *Jurnal Pasir Laut*. 4(1): 36 – 41.
- Mulyanto. 2011. *Terumbu Karang*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya. Malang.
- Nontji, A. 1993. *Laut Nusantara. Cetakan Kedua*. Penerbit Djambatan. Jakarta. 367 hlm.
- Nuary, A., Trianto, A., dan Agus, A. 2014. Studi korelasi nilai suhu permukaan laut dari Citra satelit Aqua Modis Multitemporal dan coral bleaching di Perairan Pulau Biawak, Kabupaten Indramayu. *Journal of Marine Research*. 3(3): 202-210.
- Nybakken, J.W. 1992. Biologi laut. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. Parde-de, S., Tarigan, S., Setiawan, F., Muttaqin, E., Muttaqin, A., dan Muhidin. 2016. *Monitoring Ekosistem Terumbu Karang Taman Nasional Karimunjawa 2016*. Wildlife Conservation Society. Bogor. 68 hlm.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Putra, N. dan Tanaka, T. 2013. A novel approach to improve the ENSO and IOD signals detection in the Indonesian seas. *Proceedings of the 34th Asian Conference on Remote Sensing, Bali, Indonesia, 20 – 24 October 2013*. 1- 8.
- Putra, P., Restu, I., dan Ernawati, N. 2020. Komperatif studi pertumbuhan terumbu karang jenis *Acropora*, *Montipora* dan *Stylophora* dengan teknik transplantasi di perairan Pantai Serangan Denpasar, Bali. *Current Trends in Aquatic Science*. III(1), 69-75.
- Qodriyatun, S. 2019. Peran dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan kawasan konservasi secara kolaboratif. *Jurnal Kajian*. 24(1): 43-56.
- Ramses. 2016. Analisis kesesuaian lokasi untuk aplikasi teknologi terumbu buatan untuk peningkatan hasil perikanan dan rehabilitasi lingkungan laut. *Jurnal Dimensi*. 4(1): 1–9.

- Richmond, H. 1988. Competency and dispersal potential of planula larvae of a spawning versus a brooding coral. *Proceeding of the 6th International Coral Reef Symposium*. Australia, 2: 827-83.
- Rojas, O., Yanyun, dan Cumani, R. 2014. *Understanding the Drought Impact of El Nino on the Global Agricultural Areas: An Assessment Using FAO's Agricultural Stress Index (ASI)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Italy.
- Safitri, M., Cahyarini, S., dan Putri, M. 2012. Variasi arus arlindo dan parameter oseanografi di laut Timor sebagai indikasi kejadian ENSO. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 4(2): 369-377.
- Safitri, S. 2015. El Nino, La Nina dan dampaknya terhadap kehidupan di Indonesia. *Jurnal Criksetra*. 4(8): 153-156.
- Samudra, K., Baskoro, M., Wisudo, S., dan Iskandar, B. 2010. Potensi wisata bahari pulau-pulau kecil di kawasan Kapoposang Kabupaten Pangkep. *Marine Fisheries*. 1(1): 87-96.
- Saputro, T., Fatimah, I., dan Sulistyantara, B. 2010. Studi pengaruh area perkerasan terhadap perubahan suhu udara. *Jurnal Lanskap Indonesia*. 2(2): 76-82.
- Sjafrie, N. 2014. Coral bleaching: mekanisme pertahanan karang terhadap stres. *Jurnal Oseana*. XXXIX (4): 1- 13.
- Sugianto, P., Simanjuntak, J., Tarigan, P., dan Hariadi. 2018. Pengungkapan kejadian pemutihan karang (coral bleaching) pada ENSO tahun 2016 di perairan Indonesia melalui analisis suhu permukaan laut. *Prosiding Seminar Bumi dan Atmosfer STMKG*.
- Suharsono. 1998. Condition of coral reef resources in Indonesia. *Jurnal Pesisir dan Lautan*. 1(2): 44-52.
- Suharti, R. 2012. *Hubungan Kondisi Terumbu Karang dengan Kelimpahan Ikan Chaetodontidae di Pulau Karang Bongkok Kepulauan Seribu*. (Tesis). Program Pascasarjana. Universitas Terbuka. Jakarta.
- Supriharyono. 2000. *Pengelolaan Ekosistem Terumbu Karang*. Djambatan. Jakarta.
- Suraji, Rasyid, Kenyo, A., Jannah, A., Wulandari, D., Saefudin, M., Ashari, M., Widiastutik, R., Kuhaja, T., Juliyanto, E., Afandi, Y., Wiyono, B., Syafrie, H., dan Handayan, S. 2015. *Profil Kawasan Konservasi Sulawesi Selatan*. Direktorat Jenderal Kelautan, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Kementerian Kelautan dan Perikanan. 53 hlm.

- Thamrin. 2017. Karang Dan Zooxanthellae. UR Press Pekanbaru. Riau.
- Wouthuyzen, S., Abrar, M., dan Lorwens, J. 2018. A comparison between the 2010 and 2016 El-Nino induced coral bleaching in the Indonesian waters. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. (118): 1-15.
- Yamagata, T., Behera, S., Rao, A., Guan, Z., Ashok, K., dan Saji, N. 2002. The Indian Ocean Dipole: a physical entity. *CLIVAR Exchanges*. 24(7): 15-22.
- Yulianda, F. dan Zamani, N. 2014. *Biologi Kelautan*. Universitas Terbuka. Tangerang Selatan.
- Yusuf, S., Husain, A., Suharto, Amri, K., Rappe, R., dan Selamat, B. 2015. *Kondisi Terumbu Karang dan Ekosistem Terkait di Taman Wisata Perairan Kapoposang*. Universitas Hasanuddin dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Coremap CTI.
- Zakir, A., Sulistya, W., dan Khotimah, M. 2009. *Perspektif Operasional Cuaca Tropis*. Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG. Jakarta.
- Zamani, N. 2012. Pengaruh peningkatan suhu terhadap adaptasi fisiologi anemon pasir (*Heteractis malu*): skala laboratorium. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 4(1): 135-144.
- Zurba, N. 2019. *Pengenalan Terumbu Karang, Sebagai Pondasi Utama Laut Kita*. Unimal Press. Sulawesi.