

**SKRIPSI**

**DISTRIBUSI PENYAKIT KARANG PADA DAERAH KARANG  
ALAMI DAN KARANG TRANSPLANTASI DI PERAIRAN PULAU  
BADI, KAB. PANGKAJENE KEPULAUAN**

**Disusun dan diajukan oleh**

**YUSRIL**

**L011 18 1003**



**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN  
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2023**

**DISTRIBUSI PENYAKIT KARANG PADA DAERAH KARANG  
ALAMI DAN KARANG TRANSPLANTASI DI PERAIRAN PULAU  
BADI, KAB. PANGKAJENE KEPULAUAN**

**YUSRIL**

**L011 18 1003**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada  
Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan



**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN  
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**DISTRIBUSI PENYAKIT KARANG PADA DAERAH KARANG ALAMI DAN KARANG  
TRANSPLANTASI DI PERAIRAN PULAU BADI, KAB. PANGKAJENE KEPULAUAN**

Disusun dan diajukan oleh:

**YUSRIL**

**L011 181 003**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Ilmu  
Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin pada tanggal 18 dan dinyatakan telah  
memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

**Dr. Ir. Arniati Massinai, M.Si**  
**NIP. 19660614 199103 2 016**

**Dr. Ir. M. Rijal Idrus, M.Sc**  
**NIP 19651219 199002 1 001**

Mengetahui

Ketua Departemen Ilmu Kelautan



**Dr. Khairul Amri, ST., M.Sc.Stud**  
**NIP. 19690706 199512 1 002**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yusril  
NIM : L011181003  
Program Studi : Ilmu Kelautan  
Fakultas : Ilmu Kelautan dan Perikanan

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

**"Distribusi Penyakit Karang Pada Daerah Karang Alami dan Karang Transplantasi di Perairan Pulau Badi, Kab. Pangkajene Kepulauan"**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, September 2023

Yang menyatakan



Yusril

L011181003

## PERNYATAAN AUTORSHIP

Yang bertanda tangan di bawah ini:

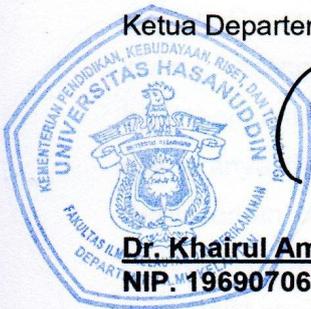
Nama : Yusril  
NIM : L011181003  
Program Studi : Ilmu Kelautan  
Fakultas : Ilmu Kelautan dan Perikanan

Menyatakan bahwa publikasi Sebagian atau keseluruhan isi Skripsi/Thesis/Disertasi pada jurnal atau forum ilmiah lain harus seizin dan menyertakan tim pembimbing sebagai *author* dan Universitas Hasanuddin sebagai institusinya.

Apabila dalam waktu sekurang-kurangnya dua semester (satu tahun sejak pengesahan skripsi) saya tidak melakukan publikasi dari Sebagian atau keseluruhan skripsi ini, maka pembimbing sebagai salah seorang penulis berhak mempublikasinya pada jurnal ilmiah yang ditentukan kemudian, sepanjang nama mahasiswa tetap diikutkan.

Mengetahui,

Ketua Departemen Ilmu Kelautan



**Dr. Khairul Amri, ST., M.Sc.Stud**  
**NIP. 19690706 199512 1 002**

Penulis

**Yusril**  
**L011181003**

## ABSTRAK

**Yusril** L011181003. “Distribusi Penyakit Karang Pada Daerah Karang Alami dan Karang Transplantasi di Perairan Pulau Badi, Kab. Pangkajene Kepulauan” dibimbing oleh **Arniati Massinai** sebagai Pembimbing Utama dan **M. Rijal Idrus** sebagai Pembimbing Anggota.

---

Karang merupakan organisme memegang peranan yang sangat penting sebagai habitat bagi biota khususnya di perairan laut pesisir dan pulau seperti Pulau Badi. Karang di perairan laut Pulau Badi dapat ditemukan tumbuh secara alami maupun secara buatan dengan transplantasi. Tetapi seiring perkembangan waktu terjadi penurunan jumlah karang yang diakibatkan oleh kegiatan antropogenik di Pulau Badi. Aktivitas tersebut berpotensi berdampak negatif yaitu penyakit yang merusak jaringan tubuh hingga menyebabkan kematian dan menurunkan tutupan karang. Sehingga pemantauan kondisi dan sebaran penyakit karang di Perairan Pulau Badi perlu dilakukan. Penelitian dilakukan untuk mengetahui jenis karang berdasarkan bentuk pertumbuhan dan jenis penyakit yang menginfeksi karang alami, daerah perlindungan laut (DPL) dan karang transplantasi, Menganalisis perbedaan distribusi penyakit karang pada di karang alami, daerah perlindungan laut (DPL) dan karang transplantasi serta Menganalisis hubungan distribusi penyakit karang dengan parameter oseanografi. Penelitian berguna sebagai informasi awal untuk penelitian selanjutnya serta referensi untuk pemerintah setempat dalam pengelolaan terumbu karang. Penelitian dilaksanakan bulan September hingga Desember 2023 di Pulau Badi. Pengambilan titik sampling dilakukan pada tiga titik stasiun. Pengambilan data penyakit dan parameter DO, arus dan kecerahan dilakukan insitu. Sedangkan exsitu dilakukan pada parameter BOT dan kekeruhan. Berdasarkan hasil pengamatan bentuk pertumbuhan ditemukan 12 jenis karang dimana 3 jenis diantaranya ditemukan terinfeksi 4 jenis penyakit karang yaitu SEB, BBD, BrBD dan WS. Berdasarkan distribusinya wilayah transplantasi memiliki jumlah penyakit dan koloni terinfeksi penyakit tertinggi bila dibandingkan dua stasiun lainnya. Hasil analisis PCA menunjukkan penyakit karang memiliki keterkaitan dengan laju sedimentasi dan kekeruhan perairan yang tinggi.

**Kata Kunci:** *Penyakit Karang, Bentuk Pertumbuhan, Pulau Badi*

## ABSTRACT

**Yusril** L011181003. *“Distribution of Coral Disease in Natural Corals and Transplanted Corals in Badi Island Waters, Kab. Pangkajene Islands” supervised by Arniati Massinai as Main Advisor and M. Rijal Idrus as Member Advisor*

---

Coral is an organism that plays a very important role as a habitat for biota, especially in coastal sea waters and islands such as Badi Island. Corals in the sea waters of Badi Island can be found growing naturally or artificially by transplantation. Over time there has been a decline in the number of corals caused by anthropogenic activities on Badi Island. This activity has the potential to have negative impacts, namely diseases that damage body tissue, causing death and reducing coral cover. So monitoring the condition and spread of coral disease in Badi Island waters needs to be carried out. The research was conducted to determine the type of coral based on growth form and types of diseases that infect natural corals, marine protected areas (DPL) and transplanted corals, to analyze differences in the distribution of coral diseases in natural corals, marine protected areas (DPL) and transplanted corals and to analyze distribution relationships coral disease with oceanographic parameters. The research is useful as initial information for further research as well as a reference for local governments in managing coral reefs. The research was carried out from September to December 2023 on Badi Island. Sampling points were taken at three station points. Disease data and DO, current and brightness parameters were collected in situ. Meanwhile, ex-situ is carried out on BOT and turbidity parameters. Based on the results of observations of growth forms, 12 types of coral were found, 3 of which were found to be infected with 4 types of coral disease, namely SEB, BBD, BrBD and WS. Based on its distribution, the transplant area had the highest number of diseases and colonies infected with disease when compared to the other two stations. The results of PCA analysis show that coral disease is related to high sedimentation rates and water turbidity.

**Keyword:** *Coral Diseases, Coral Type Lifeform, Badi Island*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkah dan rahmat yang diberikan-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan juga sesuai waktunya. Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Distribusi penyakit karang pada daerah karang alami dan transplantasi di perairan pulau Badi, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan”. Skripsi ini disusun berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Hasanuddin.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari banyaknya tantangan yang dihadapi dan tidak lepas dari sumbangsih dari berbagai pihak baik berupa kritikan dan saran yang tentunya membangun. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Orang tua tercinta Ibunda **Riani** atas didikan dan curahan limpahan kasih sayang, doa dan nasehat yang selalu setia diberikan kepada penulis. Rasa terima kasih juga penulis ucapkan kepada Adik saya tercinta **Muhammad Yusuf** yang selalu memberikan semangat berupa materi kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
2. **Dr. Ir. M. Rijal Idrus, M.Sc.** selaku Dosen Penasehat Akademik dan pembimbing pendamping yang selalu memberikan arahan, nasehat dan dukungan kepada penulis.
3. **Dr. Ir. Arniati Massinai, M.Si.** selaku pembimbing utama yang berkontribusi besar dalam penyelesaian skripsi ini, baik dalam hal kritikan dan saran beliau yang membangun dan senantiasa memberikan arahan yang positif dalam penyelesaian skripsi ini.
4. **Prof. Dr. Ir. Chair Rani, M.Si.** dan **Prof. Dr. Ir. Rohani AR, M.Si.** selaku penguji yang memberikan saran dan kritiknya terhadap penyusunan skripsi serta banyak memberikan ilmu dan berkontribusi terhadap penyelesaian skripsi ini.
5. Dekan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Bapak **Safruddin, S.Pi MP., Ph.D**, Ketua Program Studi Ilmu Kelautan Bapak **Dr. Khairul Amri, ST, M.Sc.Stud** Beserta seluruh dosen dan staf pegawai yang telah memberikan sebagian ilmu dan membantu dalam pengurusan penyelesaian skripsi ini.
6. **Airine Universe Sadlie** yang telah berkontribusi banyak dalam penyusunan skripsi ini, baik meluangkan waktu, tenaga, pikiran moril serta cinta kepada penulis.

7. Tim lapangan Indra Sukri, Alvionita Darwis, Suandar yang telah ikhlas membantu dalam pengambilan data lapangan dan berkontribusi besar dalam penyelesaian skripsi.
8. Seluruh teman-teman (CORALS) Kelautan UNHAS Angkatan 2018 terkhusus Emir, Agung Asnur, Muhammad Riski Saleh, Suandar, Bam, Firdha, dan Andi Tenri Maharani yang telah memberikan bantuan yang besar terhadap penyelesaian studi penulis dan penyusunan skripsi ini.
9. Teman-teman (kiwkiwkiwkwkw) Suandar, Muh Rizky Saleh, Agung Asnur, Esys Agiel Hidayat yang senantiasa selalu membantu serta menghibur penulis.
10. Keluarga Mahasiswa Jurusan Ilmu Kelautan (KEMAJIK FIKP-UH) yang telah memberikan banyak masukan dan berbagai pengalaman dalam setiap kegiatan sedari awal perkuliahan hingga akhir masa studi penulis.
11. Keluarga Besar Marine Science Diving Club Unhas (MSDC-UH) Yang telah memberikan banyak ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.
12. Teman-teman KKN Gelombang 108 Wilayah Takalar yang telah memberikan dan membagikan pengalaman hidup sosial kepada penulis.
13. Kepada semua pihak yang telah membantu namun tidak sempat disebutkan satu per satu dengan tumpuan harapan semoga Allah SWT membalas segala budi baik para pihak yang telah membantu dan semuanya menjadi pahala ibadah.

Penulis sadar bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan karena masih terbatasnya pengalaman dan ilmu yang dimiliki. Tetapi penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi orang banyak dan semoga Allah SWT selalu memberikan Rahmat dan Hidayah -Nya kepada kita semua, Aamiin.

Makassar, 17 September 2023

Penulis,



Yusri

L011181003

## BIODATA PENULIS



**Yusril** lahir di Bone, 24 April 2000 yang merupakan putra sulung dari **Ramli** dan **Riani**. Penulis menempuh Pendidikan di SDN 261 Tarasu pada tahun 2006, kemudian melanjutkan Pendidikan di SMPN 1 Kajuara pada tahun 2012, selanjutnya menempuh Pendidikan di SMAN 8 BONE pada tahun 2015 dan diterima sebagai Mahasiswa Prodi Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin melalui jalur SNMPTN pada tahun 2018.

Selama berkuliah, penulis aktif dalam organisasi internal kampus Keluarga Mahasiswa Jurusan Ilmu Kelautan (KEMAJIK FIKP-UH) dan pernah menjadi salah satu anggota dari Divisi Pendidikan dan Kaderisasi KEMAJIK FIKP-UH periode 2020-2021. Penulis juga pernah aktif dalam organisasi internal kampus lainnya yaitu Marine Science Diving Club Universitas Hasanuddin dan mengambil jabatan kordinator Divisi Kesekretariatan periode 2021-2022. Dibidang akademik, penulis pernah menjadi asisten lapangan mata kuliah Dasar-Dasar Selam pada tahun 2019.

Sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi di Universitas Hasanuddin, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Tematik Gelombang 108 di Kecamatan Galesong Utara, Kabupaten Takalar pada tahun 2022.

Adapun untuk memperoleh gelar sarjana penulis melakukan penelitian dengan judul “ Distribusi Penyakit Karang pada Daerah Karang Alami dan Karang Transplantasi Di Pulau Badi, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan” pada tahun 2023 yang dibimbing oleh Dr. Ir. Arniati Massinai, M.Si selaku pembimbing utama dan Dr. Ir. M. Rijal Idrus, M.Sc selaku pembimbing anggota.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
PERNYATAAN AUTORSHIP.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>A. Latar belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>B. Tujuan dan kegunaan .....</b>	<b>2</b>
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>3</b>
A. Bioekologi Terumbu Karang.....	3
B. Penyakit Karang.....	8
C. Jenis-jenis Penyakit Karang.....	9
D. Metode dan pengukuran penyakit karang.....	13
<b>III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>15</b>
A. Waktu dan tempat .....	15
B. Alat dan Bahan.....	15
C. Prosedur Penelitian.....	17
D. Analisis Data .....	20
<b>IV. HASIL .....</b>	<b>21</b>
A. Gambaran Umum.....	21
B. Bentuk Pertumbuhan Karang di Pulau Badi.....	21
C. Identifikasi dan Distribusi Penyakit Karang di Pulau Badi.....	23

D. Distribusi Karang Terinfeksi Penyakit berdasarkan Bentuk Pertumbuhan di Pulau Badi .....	24
E. Karang Terinfeksi Penyakit berdasarkan Stasiun di Pulau Badi .....	26
F. Parameter Lingkungan Pulau Badi .....	27
G. Hubungan Parameter Lingkungan Terhadap Penyakit Karang .....	28
<b>V. PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
A. Bentuk Pertumbuhan Karang di Pulau Badi.....	29
B. Identifikasi dan Distribusi Penyakit Karang di Pulau Badi.....	30
C. Distribusi Karang Terinfeksi Penyakit berdasarkan Bentuk Pertumbuhan di Pulau Badi .....	31
D. Karang Terinfeksi Penyakit berdasarkan Stasiun di Pulau Badi .....	33
E. Parameter Lingkungan Pulau Badi .....	34
F. Hubungan Parameter Lingkungan Terhadap Penyakit Karang .....	37
<b>VI. SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>39</b>
A. Kesimpulan .....	39
B. Saran.....	39
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>40</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>46</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Alat-Alat yang digunakan dalam penelitian.....	16
Tabel 2. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian.....	17
Tabel 3. Jenis Karang yang Terinfeksi Penyakit antar Stasiun di Pulau Badi .....	46
Tabel 4. Distribusi Penyakit Karang yang Ditemukan di Pulau Badi.....	23
Tabel 5. Hasil statistic <i>One Way ANOVA</i> .....	26
Tabel 6. Hasil uji lanjut/ <i>posthoc</i> tukey.....	27
Tabel 7. Hasil pengukuran rata-rata parameter lingkungan di Pulau Badi .....	27

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Siklus Hidup Karang .....	5
Gambar 2. Peta Sebaran Kondisi Terumbu Karang hidup di Indonesia .....	5
Gambar 3 <i>Black Band Disease</i> (BBD) .....	10
Gambar 4 <i>Brown Band Disease</i> (BrB) .....	11
Gambar 5. Karang acropora yang terinfeksi penyakit <i>White Band Disease</i> .....	12
Gambar 6 Karang Acropora yang terinfeksi penyakit white syndrome. ....	12
Gambar 7 Skeletal Eroding Band (SEB) tampak karang yang jangkit penyakit SEB dan jenis bakteri yang menyebabkan penyakit SEB pada karang.....	13
Gambar 8 Peta Lokasi Penelitian di Pulau Badi, Kabupaten Pangkep.....	15
Gambar 9. Grafik bentuk pertumbuhan karang Karang di Pulau Badi, Pangkajene dan Kepulauan Antar Stasiun. ....	22
Gambar 10. Peta Distribusi Penyakit Karang di Pulau Badi .....	24
Gambar 11. Peta Sebaran Karang Terinfeksi Berdasarkan Bentuk Pertumbuhan di Pulau Badi.....	25
Gambar 12. Grafik Distribusi Rata-Rata Karang Terinfeksi berdasarkan Bentuk Pertumbuhan di Pulau Badi .....	25
Gambar 13. Grafik rata rata karang terinfeksi Penyakit berdasarkan Stasiun di Pulau Badi.....	26
Gambar 14. Hasil Analisis PCA Penyakit dan Parameter Lingkungan Pulau Badi.....	28

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar belakang

Karang merupakan salah satu invertebrata laut memiliki bentuk dan warna yang bervariasi. Terumbu karang sebagai habitat dari berbagai biota laut yang beranekaragam jumlah dan *species*. Olehnya, memiliki peran yang sangat penting antara lain sebagai tempat memijah, mencari makan, dan daerah asuhan berbagai biota laut. Namun dewasa ini terjadi penurunan penutupan karang diperairan laut salah satunya di Kepulauan Spermonde. Ilham (2017) melaporkan presentase kerusakan karang pada 2 pulau yang terdapat di Kepulauan Spermonde berkisar 58% sampai 72% Pulau Pulau Barranglombo dan 49% sampai 61% Pulau Bone Batang. Penyebab kerusakan karang akibat dari faktor alam dan antropogenik. Kegiatan antropogenik seperti penangkapan ikan menggunakan bom dan sianida, pembuangan limbah organik secara langsung atau tidak langsung ke Laut. Bahan organik mengandung unsur-unsur yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk bertumbuh dan berkembang biak (Basemer *et al*, 2009) termasuk mikroba patogen penyebab penyakit pada karang.

Massinai (2012) menemukan 7 jenis penyakit yang menginfeksi karang di Perairan Pulau Barranglombo, jenis penyakit tersebut adalah *black band disease*, *brown band disease*, *skeletal eroding band*, *atramentous necrosis*, *white syndrome*, *ulcerative white spots*, dan *growth anomaly*. Ketujuh jenis penyakit tersebut agen penyebabnya bakteri dan protozoa siliata. Putri (2021) melaporkan 3 jenis penyakit menginfeksi karang di Kepulauan Seribu, adapun ketiga jenis penyakit tersebut *Black Band Disease*, *White Syndrome*, dan *Ulcerative White Syndromes*. Sedangkan Pada karang transplantasi Subhan (2014) menemukan karang *Acropora* terinfeksi *Black Band Disease* di perairan Pulau Serangan, Bali. Bakteri *Vibrio sp* ditemukan pada jaringan karang *Acropora sp* transplantasi yang terinfeksi BrB di perairan Pulau Badi (Dwiyanto, 2019).

Karang yang terinfeksi penyakit menyebabkan fungsi fisiologis tidak dapat berfungsi secara normal, sehingga terjadi kerusakan pada jaringan dan kematian (Timmreck, 2015). Kerusakan jaringan 1,58-6,11 cm per hari terhadap *Acropora* bercabang yang terinfeksi BrB di perairan pulau barranglombo (Massinai, 2016). Kematian karang di Karibia sekitar 33-95% dari famili meandrinidae, faviinae, dan monstraecidae diakibatkan oleh infeksi penyakit (Estrada-Saldívar *et al* 2021). Penyakit karang *Brown Band Disease* (BrB) yang ditemukan menginfeksi karang *Porites sp* dan

*Platygyra sp* di Teluk Mannar Laut Lakadewa Samudra Hindia, kisarannya sebesar 0,3%-0,8 (Bharath *et al*, 2020)

Perairan Pulau Badi terdapat karang yang tumbuh secara alami di laut bebas maupun di daerah yang di lindungi (DPL) dan karang yang ditumbuhkan dengan cara transplantasi. Potensi munculnya penyakit kemungkinan disebabkan ketersediaan bahan organik yang dibutuhkan oleh agen penyebab penyakit. Bahan organik biasanya berasal dari limbah warga dan tinjahl manusia. Bahan organik mengandung karbon, nitrat, fosfat, amoniak, dan beberapa mineral yang merupakan nutrisi untuk pertumbuhan dan reproduksi mikroorganismepatogen ( Jaelani, 2014). Produksi bakteri sangat terkait dengan kelimpahan bahan organik partikulat, Karbon, fosfor dan nitrogen organik (Peduzzi dan Schiemer, 2008).

Penyakit yang menginfeksi karang, salah satu penyebab penurunan tutupan karang, karang berpotensi terserang penyakit baik pada karang yang tumbuh secara alami, maupun karang hasil transplantasi. Untuk itu penelitian tentang distribusi penyakit karang pada daerah karang alami dan karang transplantasi di perairan Pulau Badi, Kabupaten Pangkajene Kepulauan penting untuk dilakukan.

## **B. Tujuan dan Kegunaan**

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui jenis karang berdasarkan bentuk pertumbuhan dan jenis penyakit yang menginfeksi karang alami, daerah perlindungan laut (DPL) dan karang transplantasi.
2. Menganalisis perbedaan distribusi penyakit karang pada di daerah karang alami, daerah perlindungan laut (DPL) dan karang transplantasi
3. Menganalisis hubungan distribusi penyakit karang dengan parameter oseanografi.

Kegunaan penelitian ini sebagai informasi awal untuk penelitian selanjutnya. sebagai referensi untuk pemerintah setempat dalam pengelolaan terumbu karang

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Bioekologi Terumbu Karang

Terumbu karang merupakan ekosistem dinamis di perairan yang terbentuk oleh biota laut penghasil kapur khususnya jenis-jenis karang batu dan alga berkapur, bersama biota lainnya yang hidup di dasar perairan. Terumbu karang menjadi tempat organisme hewan maupun tumbuhan dalam mencari sumber energi dan berlindung dari predator. Secara fisik, terumbu karang berfungsi sebagai pelindung pantai dan kehidupan ekosistem perairan dangkal dari abrasi laut (Haerul, 2013).

Organisme penyusun terumbu karang hidup bersimbiosis dengan alga zooxanthellae yang dalam proses biologisnya alga mendapat karbondioksida (CO<sub>2</sub>) untuk proses fotosintesis dan zat hara dari hewan-hewan terumbu karang, secara biologis sistem reproduksi pada karang terjadi secara seksual dan aseksual. Reproduksi seksual terjadi dengan pelepasan sel telur dan sel sperma yang menghasilkan pembuahan yang bersifat hermafrodit. Reproduksi aseksual menghasilkan larva planula yang berenang bebas, bila menetap pada suatu substrat atau tempat didasar perairan maka akan berkembang menjadi sebuah koloni baru (Nybakken, 1988).

Karang merupakan salah satu dari keluarga besar biota laut yang mempunyai sengat atau lebih dikenal Cnidaria. Cnidaria dibagi menjadi dua yaitu hydrozoa dan anthozoa yang merupakan biota- biota yang mempunyai skeleton dalam tubuhnya. Scleractinia merupakan bagian dari kelompok anthozoa serta meliputi jenis- jenis pembentuk terumbu karang yang utama (Suharsono 2008), dengan klasifikasi sebagai berikut :

*Kingdom : Animalia*

*Phylum : Cnidaria*

*Class : Anthozoa*

*Subclass : Hexacorallia*

*Ordo : Scleractinia*

#### 1. Morfologi karang

Karang merupakan binatang sederhana yang berbentuk tabung dengan mulut bagian atas. Mulut hewan tersebut berfungsi untuk makan sekaligus sebagai anus. Bentuk tubuh karang bervariasi. Terdapat tujuh bentuk morfologi pertumbuhan umum karang, yaitu bercabang (*branching*), masif (*massive*), meja (*tabulate*), lembaran (*foliose*), soliter (*free living*), submasif (*submassive*), serta mengerak (*encrusting*).

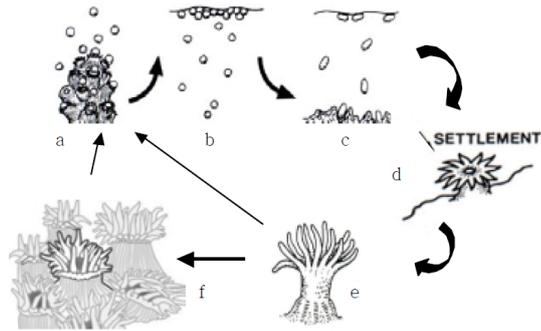
Karang bercabang tumbuh ke arah vertikal maupun horisontal, tetapi lebih dominan ke arah vertikal. Percabangan dapat tumbuh dengan memanjang atau melebar, dengan bentuk cabang halus atau tebal. Tingkat pertumbuhan karang bercabang yang paling cepat diantara bentuk pertumbuhan karang lainnya yaitu mencapai 20 cm/tahun. Bentuk koloni bercabang banyak terdapat di sepanjang tepi terumbu dan bagian atas lereng, terutama yang terlindungi atau setengah terbuka. Karang massif lebih dominan tumbuh ke arah horisontal daripada vertikal. Karang massive memiliki bentuk yang bervariasi dengan permukaan yang halus dan padat. Tingkat pertumbuhan karang massive tergolong lambat yaitu kurang dari 1 cm/tahun. Karang massive umumnya ditemukan di sepanjang tepi terumbu karang dan bagian atas lereng terumbu (Timotius, 2003).

Karang meja memiliki bentuk pertumbuhan bercabang dengan arah mendatar dan rata seperti meja. Karang meja memiliki batang sebagai penopang yang bertumpu pada satu sisi membentuk sudut atau datar. Karang lembaran lebih dominan tumbuh ke arah horisontal dengan bentuk lembaran yang pipih. Karang lembaran umumnya terdapat di lereng terumbu dan daerah terlindung (Timotius, 2003).

Karang soliter terdiri hanya satu corallit atau tidak berkoloni. Karang soliter umumnya memiliki 2 bentuk yaitu bulat dan lonjong. Karang submassif percabangan bentuk gada/lempeng dan kokoh. Karang mengerak hampir seluruh bagian menempel pada substrat (Rahmat *et al*, 2001).

## **2. Siklus hidup karang**

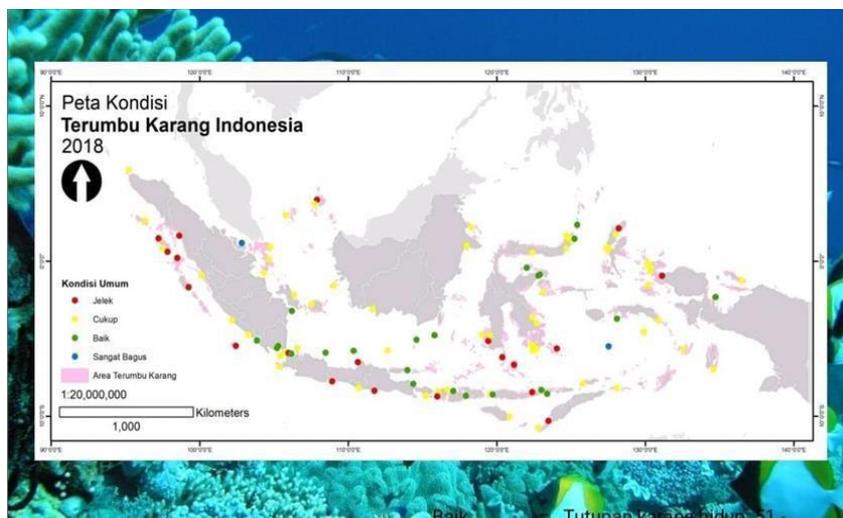
Siklus hidup karang dimulai setelah peristiwa pemijahan massal (*mass spawning*). Sel sperma akan membuahi sel telur (ovum) 1-2 jam setelah pemijahan (*spawning*), dilanjutkan pembelahan zigot selama  $\pm$  18 jam. Zigot akan berkembang menjadi larva planula yang melayang-layang mengikuti arus dikolom perairan, lalu mulai mencari substrat yang cocok untuk menempel. Planula akan menempel bila substrat tersebut memenuhi syarat dan mendukung pertumbuhannya. Setelah menempel, planula akan segera tumbuh menjadi polip atau individu (Timotius, 2003).



Gambar 1 Siklus Hidup Karang (Timotius, 2003)

### 3. Sebaran dan Habitat Karang

Terumbu karang tersebar di laut dangkal di daerah tropis hingga subtropis di antara 32°LU dan 32° LS mengelilingi bumi. Ekosistem terumbu karang sebagian besar terdapat di perairan tropis, pada umumnya hidup di pinggir pantai atau daerah yang masih terkena cahaya matahari. Indonesia memiliki keanekaragaman jenis yang sedikit tinggi dibandingkan dengan karang yang terdapat di Samudera Hindia. Secara umum jumlah spesies karang (*Red Building Corals*) yang tumbuh di Indo-Pacific cenderung lebih banyak dibandingkan dengan di Atlantic (Supriharyono, 2007).



Gambar 2. Peta Sebaran Kondisi Terumbu Karang hidup di Indonesia (Mustaffa, 2018)

Habitatnya terumbu karang pada umumnya hidup di pinggir pantai atau daerah yang masih terkena cahaya matahari yaitu kurang dari 50 meter di bawah permukaan laut. Beberapa tipe terumbu karang dapat hidup jauh di dalam laut dan tidak memerlukan cahaya, tetapi terumbu karang tersebut tidak bersimbiosis dengan *zooxanthellae* dan tidak membentuk terumbu.

#### 4. Parameter lingkungan karang

Parameter lingkungan untuk karang berupa arus, suhu, oksigen terlarut, bahan organik total, kecerahan, kekeruhan.

##### a. Arus

Arus laut merupakan pergerakan air dan berperan penting bagi biota laut yang hidup disana. Siklus air, atau aliran air, berfungsi untuk menyediakan oksigen dan mengangkut nutrisi dan bahan organik yang dibutuhkan oleh *zooxanthellae* dan karang. Karang membutuhkan pergerakan air atau arus untuk membersihkan permukaan sedimen. Gelombang dan arus memberikan sirkulasi air tawar ke karang, memungkinkan mereka untuk membersihkan puing-puing yang menutupi permukaan koloni karang, dan arus membawa nutrisi dalam bentuk plankton karang (Haapkyla *et al*, 2007).

##### b. Suhu

Suhu tidak hanya mempengaruhi pertumbuhan karang, tetapi juga dapat mempengaruhi tingkat infeksi. Tingkat infeksi dapat meningkat dengan meningkatnya suhu. Suhu optimum untuk pertumbuhan karang adalah antara 25 °C - 29 °C untuk karang hermatipik. Karang hermatipik umumnya dianggap sebagai komponen utama ekosistem terumbu karang. Karang pembentuk terumbu dapat hidup diatas 18 °C. Namun, masih ada beberapa karang diperairan jepang yang dapat bertahan hidup pada suhu 11-14 °C, dan sekitar 75% karang yang dapat bertahan hidup di bawah 11 °C. (Ritchie, 2006)

Temperatur yang tinggi dapat membuat karang stress dan meningkatkan virulensi patogen. Peningkatan penyakit setelah peristiwa pemanasan dapat terjadi karena karang kurang mampu menahan penyakit di bawah tekanan suhu, atau karena patogen menjadi lebih ganas pada suhu yang lebih tinggi. Ketika suhu air naik dan karang akan lebih banyak cenderung mengeluarkan lendir. Karang menjadi lebih rentan terhadap penyakit yang disebabkan oleh keluarnya lendir yang dapat melemahkan sistem kekebalan karang (Johan *et al*, 2013).

Wabah atau peningkatan penyakit hitam, aspergillosis, penyakit pita kuning, penyakit bercak putih, dan sindrom putih telah ditemukan terkait dengan pemanasan. Dalam tiga kasus yang diketahui dimana patogen dapat dibiakkan secara terpisah (*Aspergillus sydowii*, *Vibrio shloi*, dan *Vibrio coralliilyticus*), pertumbuhan patogen dan/atau virulensi meningkat dengan meningkatnya suhu hingga optimum. Di great barrier reef, peningkatan suhu mempengaruhi penyakit. Dalam survei yang dilakukan di

kepulauan seribu, BBD banyak ditemukan di lokasi dengan suhu anatar 29 hingga 30 °C, dengan salah satu lokasi yang memiliki suhu BBD 26 °C (Veron, 2000).

### **c. Oksigen Terlarut (DO)**

Oksigen terlarut (DO) adalah jumlah oksigen dalam air. Oksigen diperlukan untuk organisme hidup untuk respirasi dan proses metabolisme. Di dalam air, oksigen berperan dalam oksidasi dan reduksi bahan kimia. Oksigen diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana dari nutrisi yang dibutuhkan organisme akuatik. Sumber utama oksigen dalam badan air adalah hasil difusi udara bebas dan proses fotosintesis. Oksigen terlarut (DO) adalah parameter yang diperlukan untuk menentukan apakah air itu baik atau tercemar. Air yang mengandung oksigen terlarut (DO) < 5 ppm tergolong tercemar (Salmin, 2005).

### **d. Bahan Organik Total (BOT)**

Bahan organik terlarut (BOT) merupakan nutrisi bagi mikroorganisme patogen. Semakin tinggi kandungan BOT di suatu perairan maka semakin besar pulau pertumbuhan patogen sehingga semakin besar pula potensi infeksi dan penyakit. BOT mengandung karbon, nitrat, fosfat, amoniak, dan beberapa mineral yang merupakan nutrisi untuk pertumbuhan dan reproduksi mikroorganisme patogen. Bahan organik yang terlarut dalam air biasanya mengandung bakteri yang berukuran kurang dari 5 ppm. Ini adalah bakteri yang hidup bebas yang memakan potongan potongan kecil detritus terlarut dalam campuran organik (Jaelani, 2014).

### **e. Kecerahan**

Kecerahan erat kaitannya dengan intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam perairan. Intensitas cahaya yang masuk ke perairan tidak mencukupi dapat mengganggu proses fotosintesis *zooxanthellae*. Hal ini dapat mengurangi asupan energi karang dan membuatnya lebih rentan terhadap penyakit (Raymundo *et al*, 2008). Perilaku bakteri juga dipengaruhi oleh intensitas cahaya dan *phormidium coralliticum* yang menyebabkan penyakit BBD dan sering terjadi pada intensitas cahaya rendah (Viehman dan Richardson, 2002).

### **f. Kekeruhan**

Kekeruhan yang tinggi membuat sinar matahari sulit menembus air. Kekeruhan yang tinggi mengurangi penetrasi sinar matahari ke dalam air dan mengurangi aktivitas fotosintesis *zooxanthellae*. Pengurangan aktifitas fotosintesis dapat mengurangi suplai energi karang yang sumber energi utamanya adalah fotosintesis oleh *zooxanthellae*. Pasokan energi yang tidak mencukupi dan ketidakseimbangan dalam transportasi energi yang menyebabkan kesehatan karang yang buruk dan sistem kekebalan yang

melemah, membuat mereka lebih rentan terhadap penyakit (Marubini dan Atkinson, 1999).

## **B. Penyakit Karang**

Penyakit karang merupakan salah satu permasalahan ekosistem terumbu karang yang diakibatkan oleh manusia. Penyakit karang dapat menyebabkan penurunan kualitas dan daya imun karang yang ditandai dengan terhambatnya laju pertumbuhan pada karang dan berdampak pada matinya karang pada suatu daerah (Hazrul *et al*, 2016).

Penyakit karang adalah gangguan terhadap kesehatan karang yang menyebabkan gangguan secara fisiologis bagi biota karang (Raymundo *et al*, 2008). Munculnya penyakit karang dicirikan dengan adanya perubahan warna, kerusakan dari skeleton biota karang, sampai dengan kehilangan jaringannya. Munculnya penyakit tersebut merupakan interaksi antara host atau inang dalam hal ini biota karang, agent/pembawa dalam hal ini patogen, dan lingkungan. Beberapa penelitian mengungkapkan bahwa penurunan kualitas lingkungan perairan sangat berperan terhadap munculnya agent atau mikroorganisme pembawa patogen terhadap karang. Sebagai contoh kenaikan dari nitrogen terlarut yang diikuti dengan penurunan kecerahan perairan dapat menyebabkan munculnya aspergillosis penyebab penyakit *Black Band Disease*. Selain itu sedimentasi, polusi yang ditimbulkan oleh limbah domestik, sampah, sampai dengan air balast yang masuk ke ekosistem terumbu karang berpotensi munculnya patogen penyebab penyakit karang (Hazrul *et al*, 2016).

Di Indonesia kematian karang akibat penyakit masih belum menjadi perhatian khusus oleh para peneliti. Hal ini terbukti masih jarangnyanya penelitian yang mengungkapkan penyakit karang di perairan Indonesia. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan diantaranya di perairan Wakatobi Sulawesi Tenggara, Pulau Seribu DKI Jakarta, dan pulau panjang Jawa Tengah (Hazrul *et al*, 2016).

Terumbu karang adalah ekosistem yang rentan dan mudah rusak. Terdapat dua faktor yang dapat merusak terumbu karang diantaranya:

### **1. Faktor Alam**

Karang merupakan organisme yang rentan terhadap perubahan lingkungan. Faktor-Faktor alam yang potensial mengganggu karang adalah predator, kompetitor dan bioerosi, dan penyakit. Salah satu faktor utama yang menyebabkan karang rusak adalah keberadaan predator yang mampu memodifikasi struktur karang dan merusak koloni terumbu karang. *Acanthaster planci* (bintang laut berduri atau bulu seribu) merupakan bintang laut yang memiliki tangan yang banyak yang berukuran sangat besar dan bisa

memakan jaringan dari karang hidup dan mampu merusak seluruh koloni-koloni karang. Bencana alam juga dapat menyebabkan kerusakan pada ekosistem terumbu karang, seperti badai tropis, banjir, gelombang pasang, (tsunami), aktivitas gunung berapi dan gempa bumi (Putri, 2021).

## 2. Faktor Manusia

Kegiatan manusia juga dapat menyebabkan kerusakan pada ekosistem terumbu karang, baik langsung maupun tidak langsung, seperti sedimentasi, eutrikifikasi, pencemaran minyak dan kegiatan konstruksi pembangunan dan pengeboman. Pembangunan pesisir untuk perumahan, resort, industri, hotel, pelabuhan dan pembangunan marina seringkali menyebabkan terjadinya reklamasi daratan dan pengerukan tanah. Hal ini dapat meningkatkan sedimentasi sehingga kerusakan karang meningkat. Peledak berukuran 0,5 kg yang diledakkan pada dasar terumbu karang yang menyebabkan karang pada radius 3 m dari pusat ledakan hancur. Ikan pada radius sejauh 10 m akan mengalami kematian. Bahan yang digunakan untuk membuat bom sangat bervariasi antara lain: mesin dan bahan bom dari pupuk berasal dari pupuk urea dengan kandungan Nitrogen yang tinggi, sedangkan alat yang digunakan untuk melakukan pemboman yaitu botol plastik. Sampah yang semakin banyak di perairan juga menjadi salah satu faktor penyebab kerusakan karang pada perairan. Ekosistem karang telah terkontaminasi oleh sampah yang berasal dari aktifitas manusia (Putri, 2021).

## C. Jenis-jenis Penyakit Karang

Penyakit karang yang umum dijumpai adalah *Black Band Disease*, *Skeletal Eroding Band*, *White Syndrome*, *Brown Band*, *Tumor*, *Black Necrosing Syndrome*, *Pigmentend spots* (Royhan, 2014). Beberapa penyakit karang yang masih terus dilakukan pengamatan diantaranya *Black Band Disease*, *Red Band Disease*, *White Band Disease*, *Dark Spots Disease*, *Yellow Band Disease*, *White Plague*, *White Pox* (Renta, 2020).

### 1. *Black Band Disease* (BBD)

Penyakit karang pertama ditemukan oleh Antonius pada tahun 1970-an, yaitu *Black Band Disease* yang menyerang karang keras. BBD yang merupakan penyakit karang pertama yang dilaporkan menyerang terumbu karang di Belize dan Bermuda, kemudian ditemukan di Caribbean maupun di Indo-Pacific. *Black Band Disease* juga telah dilaporkan menyerang Milleporida (karang api) dan Gorgonacea (Birkeland, 1998).

*Black Band Disease* (BBD) merupakan penyakit karang yang ditandai dengan adanya bentuk pita hitam, pita hitam pada karang yang terinfeksi menjadi batas antara jaringan yang hidup dan mati pada karang (Gambar 3). Penyakit *Black Band Disease* disebabkan oleh gabungan mikroba patogen yang mendiami karang tersebut, dan secara bersama-sama membentuk sabuk dimana bentuk gabungan tersebut terdiri atas lima macam, berupa bakteri yang membentuk filamen dari kelompok cyanobakterium phormidium, corallyticum, bakteri kelompok heterotropik, jamur laut (Beeden *et al*, 2008).



Gambar 3 *Black Band Disease* (BBD) (Devitt, 2012)

Ciri-ciri *Black Band Disease* (BBD);

- a. Warna pita dapat bervariasi dari hitam hingga coklat kemerahan.
- b. Kerangka yang terbuka berwarna putih (tidak ada bintik) di belakang pita.
- c. Kerangka jauh kedepan, jaringan menjadi semakin coklat karena di jajah oleh komunitas fouling (Beeden *et al*, 2008).

## **2. *Brown band disease* (BrB)**

Penyakit Brown band disease (BrB) pertama kali ditemukan dan di deskripsikan pada survei penyakit karang di Great Barrier Reef, Australia (Willis *et al*, 2004). Brown band disease dicirikan berwarna coklat keemasan atau coklat muda pada karang yang terdapat antara jaringan yang sehat dan jaringan yang sudah mati (Gambar 4).

Salah satu penelitian yang dilakukan di pulau barrang lompo kota makassar menemukan tingkat laju infeksi BrB pada karang *Acropora* b ercabang 1,58 - 6,11 cm per hari (Massinai, 2016).



Gambar 4 *Brown Band Disease* (BrB) (Massinai, 2016)

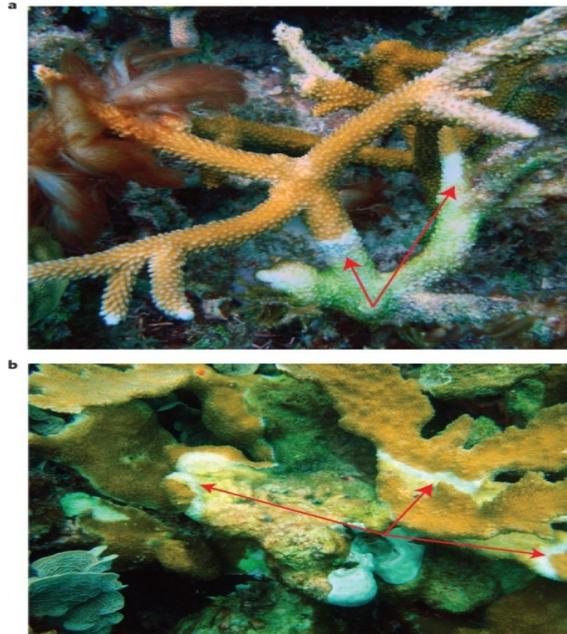
Ciri-ciri *Brown Band Disease* (BrB);

- a. Pita coklat terpisah pada antarmuka antara jaringan hidup dan area luas dari kerangka putih yang terbuka.
- b. Pita terdiri dari ciliate dan bervariasi dari coklat muda sampai coklat tua dengan kepadatan ciliate.
- c. Pita putih sempit mungkin ada di antara jaringan karang hidup dan pita coklat.
- d. Kerangka jauh ke depan jaringan menjadi semakin coklat karena dijajah oleh komunitas fouling; menunjukkan kehilangan jaringan yang progresif (Beeden *et al*, 2008).

### 3. *White Band Disease* (WBD)

Penyakit white band disease ditandai dengan adanya band berwarna putih dengan lebar sekitar 2-8 cm terletak diantara jaringan karang yang sehat dan jaringan karang yang sudah mati, Bentuk lingkaran ini seragam mulai dari pangkal dari ujung koloni (Huda *et al*, 2018).

Beberapa karakteristik dari penyakit *White band disease* yaitu penyakit ditandai dengan adanya linear, *band* yang terjadi karena karang kehilangan jaringan lebar 2-10 cm yang dapat membatasi cabang, *band* memisahkan kerangka yang terkena *epibiont*, penyakit dapat berkembang cepat (mm-cm/hari) dari dasar koloni atau bifurkasi cabang, dan hanya diamati pada *acropora* (Huda *et al*, 2018).



Gambar 5. Karang acropora yang terinfeksi penyakit *White Band Disease* (Randall, 2015)

#### 4. *White Syndromes*

*White syndrome* mempunyai karakteristik luka yang dalam pada jaringan dengan batas yang jelas antara jaringan normal dan eksoskeleton karang yang terbuka, kerangka putih itulah yang memberi nama penyakit ini (Huda *et al*, 2018).

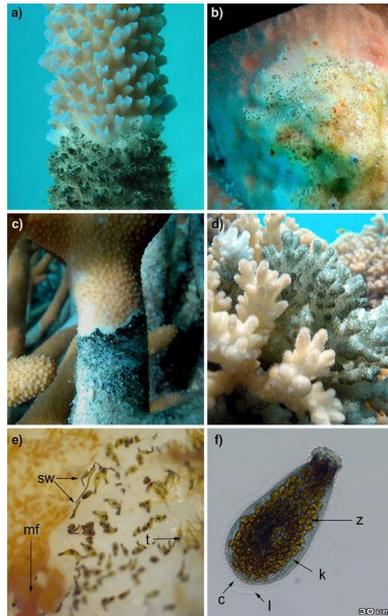
Secara mikroskopis, tidak ada nekrosis jaringan yang jelas pada batas luka *white syndrome*, yang membedakan penyakit ini dengan *white band disease*, dimana terdapat nekrosis yang sangat jelas pada *white band disease* (Huda *et al*, 2018).



Gambar 6 Karang Acropora yang terinfeksi penyakit white syndrome (Zhenyu, 2013).

#### 5. *Skeletal Eroding Band (SEB)*

*Skeletal eroding band (SEB)* adalah infeksi ciliata yang berhubungan dengan hilangnya jaringan pada karang (Beeden *et al*, 2008).



Gambar 7 Skeletal Eroding Band (SEB) a), b), c), d) tampak karang yang terjangkit penyakit SEB., e), f) jenis bakteri yang menyebabkan penyakit SEB pada karang (Page, 2008).

#### Ciri-ciri Penyakit *Skeletal Eroding Band (SEB)*

- a. Pita hitam atau hijau tua yang menyebar, berbintik-bintik pada antarmuka jaringan kerangka
- b. Kerangka terbuka di belakang jaringan depan berbintik-bintik oleh “rumah” kosong dari ciliate
- c. Bintik hitam sering mengelompok di dalam karang

#### D. Metode dan Pengukuran Penyakit Karang

Pengukuran Penyakit karang memiliki beberapa metode yaitu belt transects, line intercept transects dan circular area.

##### 1. Belt Transects (Transek Sabuk)

Transek sabuk merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menggambarkan kesehatan karang dan kerusakan karang. Data yang dikumpulkan dapat mencakup pengukuran lain seperti ukuran koloni, tutupan karang dan kematian karang. Transek sabuk dapat digunakan untuk menyediakan data penyakit yang terperinci berdasarkan koloni secara keseluruhan, dinamika populasi, dan penilaian status kesehatan. Pemantauan koloni yang ditandai dalam jangka panjang dapat memberikan data tentang nasib dan kondisi karang. Semua keberadaan karang dan penyakit area yang ditentukan kemudian dihitung dan dicatat. Pengukuran stik PVC berukuran 1 m atau 2 m dengan metode transek sabuk juga membantu menentukan bujur sangkar di sepanjang transek (Weil dan Hooten, 2008).

## **2. Line Intercept transects**

Line intercept transects adalah metode untuk menilai komunitas bentik di terumbu berlabuh. Komunitas dicirikan oleh kategori bentuk kehidupan yang memberikan deskripsi morfologi komunitas karang. Metode ini juga dapat digunakan untuk mendapatkan data penyakit secara rinci berdasarkan koloni liang, dinamika populasi, dan penilaian status kesehatan. Metode ini memungkinkan penilaian cepat status penyakit dari prespektif koloni dan memberikan informasi tentang kepadatan koloni, ukuran struktur dan tutupan karang (Raymundo *et al*, 2008).

## **3. Circular area (Area melingkar)**

Circle adalah metode untuk mendapatkan data koloni karang yang terinfeksi dan sehat dari semua spesies yang dihitung dalam lingkaran (radius 10m; 314 m<sup>2</sup>). Sebuah tiang didorong keruang bawah tanah sebagai pusat kritis lingkaran. Penyelam kemudian memegang tali horizontal 10m dan berenang mengelilingi tiang dengan tali kencang. Memperoleh data kuantitatif tentang sebaran dan insiden penyakit. Metode ini lebih cocok untuk digunakan pada substrat terumbu dangkal dalam studi penyakit tunggal (Raymundo *et al*, 2008).