

SKRIPSI

**KEPADATAN ZOOXANTHELLAE PADA *LIFEFORM*
KARANG ZONA DALAM DAN LUAR KEPULAUAN
SPERMONDE**

LORENZO NORIS TOMBI BARA'LANGI'

L111 15 502



**DEPARTEMEN ILMU KELAUTAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

KEPADATAN ZOOXANTHELLAE PADA *LIFEFORM* KARANG ZONA DALAM DAN LUAR KEPULAUAN SPERMONDE

LORENZO NORIS TOMBI BARA'LANGI'

L111 15 502

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana
Program Studi Ilmu Kelautan, Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu
Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin



**DEPARTEMEN ILMU KELAUTAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

KEPADATAN ZOOXANTHELLAE PADA LIFEFORM KARANG ZONA DALAM DAN LUAR KEPULAUAN SPERMONDE

Disusun dan Diajukan oleh
LORENZO NORIS TOMBI BARA'LANGI'

L111 15 502

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang di bentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Ilmu Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan dan
Perikanan Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 9 Juli 2021

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui:

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Ir. Ambo Tuwo, DEA
NIP. 19621118198702 1 001

Pembimbing Pendamping,



Dr. Syafyudin Yusuf, ST., M.Si
NIP. 19690719199603 1 004

Mengetahui:



Rektu, Program Studi
Ilmu Kelautan,

Dr. Ahmad Faizal, ST., M.Si
NIP. 19750727 200112 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Lorenzo Noris Tombi Bara'langi'

Nim : L111 15 502

Program Studi : Ilmu Kelautan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**“Kepadatan *Zooxanthellae* pada *Lifeform* Karang Zona Dalam dan Luar
Kepulauan Spermonde”**

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 dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 10 Desember 2021



Yang menyatakan

Lorenzo Noris Tombi Bara'langi'

PERNYATAAN AUTHORSHIP

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Lorenzo Noris Tombi Bara'langi'

Nim : L111 15 502

Program Studi : Ilmu Kelautan

Fakultas : Ilmu Kelautan dan Perikanan

Menyatakan bahwa publikasi sebagian atau keseluruhan isi Skripsi/Tesis/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 dari penulis berhak mempublikasikannya pada jurnal ilmiah yang ditentukan kemudian, sepanjang nama mahasiswa tetap diikutkan.

Makassar, 10 Desember 2021

Mengetahui,



Dr. Ahmad Faizal, ST., M.Si
NIP. 19750727 200112 1 003

Penulis,



Lorenzo Noris Tombi Bara'langi'
NIM . L111 15 524

ABSTRAK

Lorenzo Noris Tombi Bara'langi. L11115502. "Kepadatan *Zooxanthellae* pada *Lifeform* Karang Zona Dalam dan Luar Kepulauan Spermonde". Dibimbing oleh **Ambo Tuwo** sebagai Pembimbing Utama dan **Syafyudin Yusuf** sebagai Pembimbing Pendamping.

Kepulauan Spermonde dipengaruhi oleh massa air laut Arus Lintas Indonesia (Arlindo) Selat Makassar pada sisi luarnya sehingga nampak jernih sedangkan pada sisi dalam dipengaruhi oleh laupapan massa air laut yang bercampur dengan air muara sungai sehingga kecerahannya rendah. Hal ini berpengaruh terhadap komunitas karang keras (*Scleractinia*) di Pulau Langkai yang berada pada zona luar dan Pulau Samalona pada zona dalam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kepadatan *zooxanthellae* dari karang keras berdasarkan bentuk *lifeform*, kedalaman terumbu dari dua zona terumbu dalam dan luar. Pengambilan sampel karang hidup dari tiga *lifeform* dengan cara menyelam pada terumbu karang menggunakan alat *SCUBA*. Pemisahan *zooxanthellae* dari inang karang menggunakan alat semprot udara (*air brush*) dari tabung selam 3000 psi dengan modifikasi tekanan udara rendah. Perhitungan jumlah *zooxanthellae* dibawah plat counter dengan mikroskop. Hasil penelitian diperoleh kepadatan *zooxanthellae* pada zona luar lebih tinggi dibanding zona dalam untuk semua mintakat terumbu karang tidak berbeda nyata ($p>0,05$). Khusus zona *reef flat zooxanthellae* lebih padat dan juga *lifeform* karang *foliosa* lebih padat dibanding *encrusting* dan *branching*. Kepadatan *zooxanthellae* memberikan indikasi produktivitas dari simbion yang membantu proses metabolisme dan pertumbuhan karang serta dapat memberi petunjuk karang-karang yang bisa dijadikan bibit dan petunjuk lokasi untuk restorasi terumbu karang yang rusak agar lebih efisien dan sukses.

Kata kunci: *Zooxanthellae*, bentuk pertumbuhan karang, mintakat terumbu, Kepulauan Spermonde, Indonesia

ABSTRACT

Lorenzo Noris Tombi Bara'langi. L11115502. "Zooxanthellae Density In Different Zone And Life Form In Inner And Outer Zone Of Spermonde Islands" Supervised by **Ambo Tuwo** as the Main Supervisor and **Syafyudin** as Co-Supervisor.

The Spermonde Archipelago is influenced by the seawater mass of the Indonesian through flow in the outside of the Makassar Strait, so that it looks clear. While on the inside, it is influenced by the overflow of seawater mass alloyed with river estuary water, and it has made the low of brightness. This case affected the hard coral community (Scleractinia) in the outer zone of Langkai Island and the inner zone of Samalona Island. This research aims to determine the density of *zooxanthellae* of hard corals based on the shape of the lifeform, the depth of the reef from the two inner and outer reef zones. Sampling of live corals from three lifeforms by diving on coral reefs used the SCUBA tools. Separation of *zooxanthellae* from coral hosts used air brush from dive tube (3000 psi) with modified on low air pressure. Counting the number of *zooxanthellae* was carried out on under of the counter plate with a microscope. The results obtained that for all coral reef zones, the *zooxanthellae* density in the outer zone was higher than the inner zone. Those were not significantly different ($p > 0.05$). Specifically, for the reef flat zone, *zooxanthellae* is denser and the life form of foliosa corals is denser than encrusting and branching. The density of *zooxanthellae* gives productivity indication of the symbiont that help the metabolism and growth of corals, and it also can provide clues for corals that can be used as seedlings and location for restoration of damaged coral reefs to be more efficient and successful.

Keywords: coral reef, *zooxanthellae*, coral growth forms, reef of corals zone, Spermonde Islands, Indonesia

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Kepadatan *Zooxanthellae* pada *Lifeform* Karang Zona Dalam dan Luar Kepulauan Spermonde”** sekaligus menjadi syarat kelulusan sebagai mahasiswa pada Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa begitu banyak pihak yang telah memberi bantuan, bimbingan serta arahan yang sangat berharga sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih setulus-tulusnya dari hati penulis sebagai bentuk penghargaan dan penghormatan kepada:

1. Kedua orang tua, ayahanda Hendrik Tangka'ba dan Ibunda Katarina Tombi atas segala doa, perjuangan, kasih sayang, nasehat serta motivasi kepada penulis sehingga setiap langkah dalam hidup penulis menjadi lebih mudah.
2. Prof. Dr. Ir. Ambo Tuwo, DEA. selaku pembimbing utama dan Dr. Syafyudin Yusuf, ST., M.Si selaku pembimbing pendamping yang dengan ikhlas meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan arahan, motivasi, bimbingan dan bantuan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Prof. Dr. Ir. Chair Rani, M.Si dan Dr. Ir. Aidah A. Ala Husain, M.Sc, selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran dan kritik dalam perbaikan skripsi penulis.
4. Safruddin, S.Pi., MP., Ph.D selaku Dekan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan dan Dr. Ahmad Faizal, ST., M.Si. selaku Ketua Departemen Ilmu Kelautan, terima kasih atas segala petunjuk, nasehat dan bimbingan kepada penulis selama masa studi hingga tahap penyelesaian studi.
5. Seluruh Dosen Departemen Ilmu Kelautan dan semua Dosen se-Universitas Hasanuddin, terima kasih atas segala pengetahuan yang telah diberikan selama masa studi penulis.
6. Seluruh staff Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin yang telah membantu kelancaran dan kemudahan penulis dalam pengurusan berkas.
7. Hamzah, Juniur Rangan, Vatrecius Sembro Silambi, Cindy Amelinda, dan Dian Verawati Kahar yang telah meluangkan waktunya untuk membantu penulis dalam melakukan penelitian.

8. Teman seperjuangan Jurusan Ilmu Kelautan angkatan 2015 “ATLANT15” yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi dan memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.
9. Direktur PT. IFMIH BAHARI TEKNOLOGI dan semua staff yang ada di dalamnya.
10. Teman-teman PERMAKRIS IK-UH yang selalu memberi support.
11. Keluarga Mahasiswa Jurusan Ilmu Kelautan (KEMAJIK FIKP-UH) yang senantiasa memberikan semangat dan masukan yang membangun selama penulis menjadi mahasiswa.
12. Terakhir untuk semua pihak yang telah membantu tapi tidak sempat disebutkan satu persatu, terima kasih untuk segala bantuannya semoga kebaikan kalian dibalas oleh Tuhan yang Maha Esa.

Harapan penulis, semoga skripsi ini dapat diterima dan memberi manfaat bagi semua pihak. Segala upaya telah dilakukan demi tersusunnya skripsi ini namun mengingat keterbatasan kemampuan penulis, maka penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran yang sifatnya membangun sangatlah diperlukan demi melengkapi karya ilmiah ini.

Makassar, 7 Desember 2021

Lorenzo Noris Tombi Bara'langi'

BIODATA PENULIS



Lorenzo Noris Tombi Bara'langi, lahir pada tanggal 6 Januari 1997 di Toraja Utara. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan bapak Hendrik Tangkaba dan ibu Katarina Tombi. Penulis menyelesaikan pendidikan formalnya di Sekolah Dasar Kristen 5 pada tahun 2009. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 2 Rantepao dan lulus pada tahun 2012 dan melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Atas di SMA Kristen Barana' dan lulus pada tahun 2015. Pada tahun yang sama penulis diterima menjadi mahasiswa di Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin melalui jalur Mandiri atau Jalur Non Subsidi (JNS).

Selama masa studi, penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi di antaranya KEMAJIK (Keluarga Mahasiswa Jurusan Ilmu Kelautan) dan merupakan anggota PERMAKRIS IK UH (Persekutuan Mahasiswa Kristen Ilmu Kelautan Universitas Hasanuddin).

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, penulis telah mengikuti rangkaian Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Stasiun Meteorologi Maritim Klas II Paotere Makassar dan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Reguler Gelombang 99 pada Juli-Agustus 2018 di Ulu Ere, Kabupaten Bantaeng, Sulawesi Selatan. Sedangkan untuk memperoleh gelar sarjana kelautan, penulis melakukan penelitian yang berjudul **“Kepadatan *Zooxanthellae* pada *Lifeform* Karang Zona Dalam dan Luar Kepulauan Spermonde”** pada tahun 2021 di bawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Ambo Tuwo, DEA. dan Dr. Syafyudin Yusuf, ST., M.Si.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN <i>AUTHORSHIP</i>	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	viii
BIODATA PENULIS	x
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan dan Kegunaan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Biologi Karang	4
B. Simbiosis Mutualisme <i>Zooxanthellae</i> dan Karang.....	5
C. Simbion <i>Zooxanthellae</i>	7
1. Komponen Biologi dan Kimiawi <i>Zooxanthellae</i>	7
2. Berbagai Inang <i>Zooxanthellae</i>	9
3. Ekologi <i>Zooxanthellae</i>	10
D. Faktor Lingkungan Habitat <i>Zooxanthellae</i>	10
1. Cahaya	11
2. Suhu.....	11
3. Salinitas	11
4. Arus.....	12
5. Kedalaman	12
6. Turbiditas.....	13
7. <i>TDS (Total Dissolved Solid)</i>	13
8. <i>Do (Dissolved Oxygen)</i>	13
9. <i>pH</i>	13
E. Kepadatan <i>Zooxanthellae</i>	14
F. Tipe – Tipe Pertumbuhan Karang	16
1. Tipe bercabang (<i>branching</i>)	16
2. Tipe Padat (<i>Massive</i>)	17

3. Tipe kerak (<i>encrusting</i>)	17
4. Tipe submassive	18
5. Tipe daun/lembaran (<i>foliose</i>)	18
6. Tipe jamur (<i>mushroom</i>).....	19
7. Tipe <i>millepora</i>	19
8. Tipe <i>heliopora</i>	20
III. METODE PENELITIAN.....	21
A. Waktu dan tempat	21
B. Alat dan bahan	22
C. Prosedur kerja	22
1. Tahap persiapan	22
2. Pengambilan sampel karang di perairan.....	22
3. Penanganan sampel dari laut ke daratan	23
4. Pemisahan <i>zooxanthellae</i>	23
5. Persiapan pengamatan sampel.....	23
6. Perhitungan kepadatan <i>zooxanthellae</i>	24
D. Pengukuran data oseanografi.....	24
E. Analisis data	24
IV. HASIL	25
A. Gambaran umum lokasi.....	25
B. Kepadatan <i>zooxanthellae</i> berdasarkan <i>lifeform</i> pada zona dalam dan zona luar	27
C. Kepadatan <i>zooxanthellae</i> berdasarkan mintakat terumbu karang pada zona dalam dan zona luar	28
1. Kepadatan <i>zooxanthellae</i> di zona dalam	29
2. Kepadatan <i>zooxanthellae</i> di zona luar	31
D. Kondisi oseanografi pendukung kehidupan karang dan <i>zooxanthellae</i>	33
V. PEMBAHASAN	34
A. Kepadatan <i>Zooxanthellae</i> Berdasarkan <i>Lifeform</i>	34
B. Kepadatan <i>Zooxanthellae</i> Berdasarkan Mintakat Terumbu Karang	35
C. Kepadatan <i>Zooxanthellae</i> Berdasarkan Zona (Z. Dalam, Z. Tengah, Z. Luar)	36
VI. SIMPULAN DAN SARAN	38

A. Simpulan	38
B. Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN.....	46

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sel tunggal dari Dinoflagellata, genus *symbiodinium*, yang disebut sebagai "*zooxanthellae*", hidup terjebak dalam jaring organisme laut dan juga protista (Parit 1993). Simbiosis ini termasuk komponen hidup yang berperan penting dalam ekosistem terumbu karang. *Zooxanthellae* berkontribusi secara signifikan terhadap produktivitas, kelangsungan hidup bagi inangnya (Muscatine dan Porter, 1977). Organisme dominan dalam ekosistem terumbu karang yakni dari ordo Scleractinia bersimbiosis dengan alga *zooxanthellae*, sehingga terjadi hubungan mutualisme antara dua makhluk hidup ini. *Zooxanthellae* hidup di dalam lapisan endodermis, lapisan sel bagian dalam pada karang yang kehadirannya sangat berperan penting bagi kelangsungan hidup karang, diantaranya berperan dalam proses pembentukan terumbu atau kalsifikasi. Alga ini menyediakan bahan organik hingga 95% dari total yang dibutuhkan oleh karang (Muscatine, 1990; Asmiati dkk., 2017).

Karang tidak hanya bersimbiosis dengan *zooxanthellae*, melainkan dengan asosiasi mutualistik lainnya yang hidup dalam jaringan polip, kerangka, sel karang atau lapisan lendir seperti cyanobakteria, dalam jaringan sel endodermal karang bersama *zooxanthellae* (Knowlton dan Rohwer 2003), merupakan sumber potensial nitrogen untuk inangnya (Lesser dkk., 2004). *Zooxanthellae* yang hidup dalam jaringan inang tersebut sangat membutuhkan matahari untuk fotosintesis dari sehingga membatasi untuk penyebaran vertikalnya di kedalaman perairan.

Sebaran dan kemampuan *zooxanthellae* menyerap sinar matahari dan rentang suhu perairan yang dibutuhkan menjadi syarat bagi hidup hewan karang (Iglesias-Prieto dkk., 2004). Walaupun *zooxanthellae* membutuhkan hasil metabolisme berupa nutrisi dan CO² dari karang untuk proses fotosintesis, namun umumnya *zooxanthellae* dan hewan karang tidak mampu bertahan dalam kondisi perairan yang eutrofikasi atau yang kaya nutrisi (Ismail, 2010). Terumbu karang dekat pantai daratan utama saat ini terkena input nutrisi tinggi dan zat inorganik tinggi yang berasal dari produktivitas terestrial (Duarte dkk., 2013; Uthicke dkk., 2014), Terumbu karang di dekat daratan lebih besar peluangnya mengalami kekeruhan dibandingkan dengan terumbu lepas pantai, sehingga aktivitas penyerapan cahaya matahari terbatas. Sedangkan intensitas cahaya di perairan terumbu karang lepas pantai lebih dalam penetrasinya.

Semakin dalam perairan maka intensitas cahayanya akan semakin berkurang. Mengingat bahwa karang hidup pada setiap level kedalaman dan membutuhkan

intensitas cahaya yang optimal, maka diperkirakan dapat menyebabkan perbedaan jumlah sel *zooxanthellae* pada setiap level kedalamannya (Supriharyono, 2015).

Tingkat kepadatan *zooxanthellae* yang terdapat di dalam karang di pengaruhi oleh beberapa faktor salah satu faktor yang sangat mempengaruhi yakni kedalaman suatu perairan. Kedalaman suatu perairan mempengaruhi besarnya intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam perairan dimana semakin dalam suatu perairan kemampuan cahaya matahari yang masuk akan semakin berkurang, sebagai organisme autotrof *zooxanthellae* sangat membutuhkan cahaya matahari untuk proses fotosintesis (Salim, 2020). Dominansi pertumbuhan karang berbeda tiap kedalaman, seperti pada penelitian yang dilakukan Tombokan (2017), menjelaskan bahwa pada kedalaman 5m (*reef flat*) bentuk pertumbuhan karang didominasi oleh *Acropora tabulate* dan *coral branching*, *coral foliose*, kemudian pada kedalaman 10m (*reef slope*) didominasi oleh bentuk pertumbuhan *coral encrusting*, sedangkan pada kedalaman 15m (*reef base*) didominasi oleh bentuk pertumbuhan *coral massive*, *coral encrusting*, dan *coral branching*. Perbedaan dominansi sebaran bentuk pertumbuhan karang terjadi karena beberapa faktor seperti yang di kemukakan oleh Wicaksono (2019) bahwa, hal ini terjadi karena adanya aktivitas manusia, lalu pada daerah yang berhadapan langsung dengan laut terbuka besarnya pergerakan massa air, dan juga besarnya arus mempengaruhi larva karang menempel pada substratnya, sehingga menjadi faktor terjadinya perbedaan bentuk pertumbuhan karang. Karang keras dari ordo scleractinia hidup berdampingan dan berinteraksi dengan alga *zooxanthellae*, yakni alga bersel satu hidup terjebak dalam inang karang. Hubungan mutualisme terjadi antara dua makhluk hidup ini. *Zooxanthellae* hidup di dalam lapisan *endodermis*, lapisan sel bagian dalam pada karang yang kehadirannya sangat berperan penting bagi kelangsungan hidup karang, di antaranya berperan dalam proses pembentukan terumbu atau kalsifikasi. Alga ini menyediakan bahan organik hingga 95% dari total yang dibutuhkan oleh karang (Muscatine, 1990; Asmiati dkk., 2017).

Penelitian ini akan menjawab pertanyaan, apakah kepadatan *zooxanthellae* berbeda dari setiap bentuk pertumbuhan karang, kedalaman, mintakat dan zona dalam dan zona luar habitat karang di Kepulauan Spermonde. Penelitian kepadatan *zooxanthellae* ini bukan pertama yang dilakukan, seperti penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya oleh Ihsan (2016). Penelitian ini akan menambah referensi tentang *zooxanthellae* dari terumbu karang pada Kepulauan Spermonde, Makassar, Sulawesi Selatan. Mengingat Pulau langkai adalah pulau terluar dari Kepulauan Spermonde dengan tingkat kecerahan yang tinggi dan Pulau Samalona dengan tingkat eutrofikasi yang tinggi, maka kami ingin mengetahui apakah ada perbedaan

zooxanthellae dari setiap bentuk *life form* karang dari zona terumbu karang. Penelitian ini akan menjadi pembandingan kepadatan *zooxanthellae* diberbagai tempat, sebagai salah satu acuan untuk penilaian ekosistem terumbu karang yang ada di Kepulauan Spermonde Kota Makassar.

B. Tujuan dan Kegunaan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kepadatan *zooxanthellae* pada berbagai *lifeform* dan mintakat terumbu karang antar zona dalam dan zona luar di kondisi perairan yang berbeda.

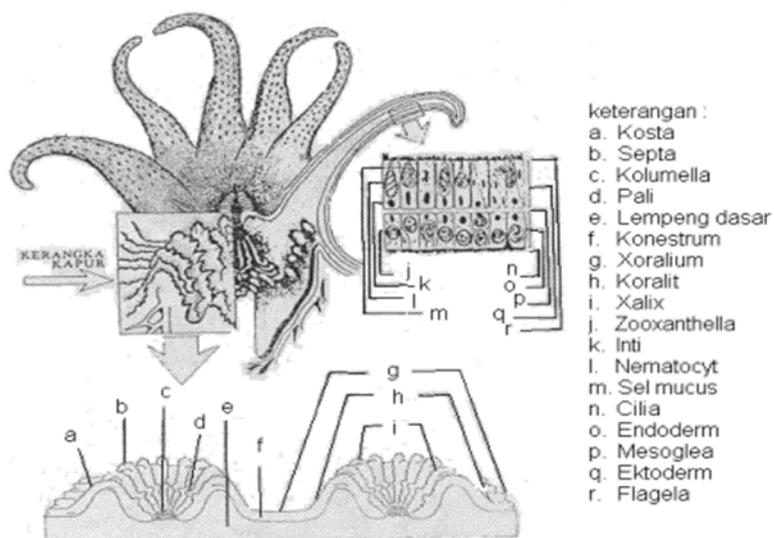
Penelitian ini diharapkan menjadi rujukan terhadap alga bersimbion, khususnya *zooxanthellae*. Selain itu juga dapat menjadi referensi dalam melakukan penelitian lanjutan terhadap terumbu karang untuk menilai kondisi terumbu karang dan alga bersimbion.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Biologi Karang

Karang (*Scleractinia*) yang biasanya dianggap sebagai batu atau tumbuhan walaupun sesungguhnya mereka merupakan hewan. Karang itu sendiri merupakan salah satu kelompok Coelenterata berbentuk polip yaitu semacam bentuk tabung dengan mulut di bagian atas yang dikelilingi oleh tentakel. Dari bentuk morfologisnya, binatang ini berbentuk mirip satu dengan lainnya, yang pembedanya spesies satu dengan yang lainnya adalah keragaman rangka yang dibentukkannya. Oleh karena itu, taksonomi karang didasarkan kepada rangka bentukannya. Dengan kemampuannya demikian maka karang bersifat menetap (Rembet, 2012).

Polip karang memiliki kerangka luar yang disebut koralit. Koralit pada umumnya memiliki septa yang menyerupai sekat-sekat. Polip karang terdiri dari usus yang disebut filamen mesentri, tentakel yang memiliki sel nematosis (penyengat) yang berfungsi melumpuhkan musuhnya. Tubuh polip karang terdiri dari dua lapisan yaitu ektoderm dan endoderm. Di antara kedua lapisan tersebut terdapat jaringan yang berbentuk seperti jelli yang disebut mesoglea. Di dalam lapisan endoderm tubuh polip hidup bersimbiosis dengan alga bersel satu *zooxanthellae*.



Gambar 1. Kerangka dan Struktur Kapur Karang (*Scleractinia*) (Suharsono, 2008)

Zooxanthellae adalah tumbuhan yang melakukan proses fotosintesis, hasil metabolisme dan O_2 (oksigen) akan diberikan kepada polip karang. Sedangkan polip karang memberikan tempat hidup dan hasil respirasi CO_2 kepada alga *zooxanthellae* (Coremap, 2010; Irawan dkk., 2016).

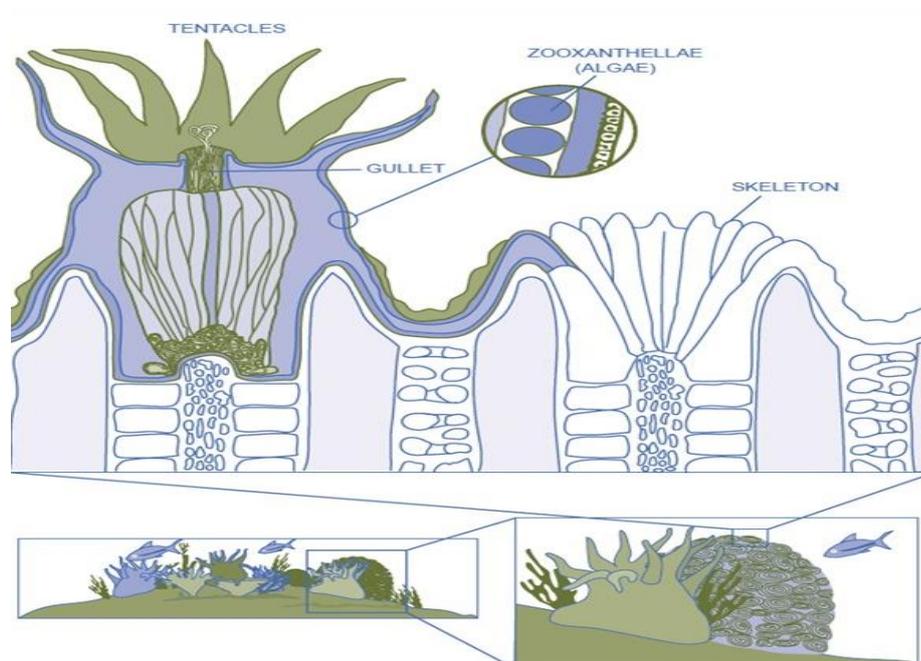
Keberadaan karang terbatas pada perairan yang dangkal, hal ini terjadi karena ganggang simbiotik karang yang membutuhkan sinar matahari untuk melakukan

proses fotosintesis. Kebutuhan dan adaptasi sinar dalam karang digunakan untuk kepentingan memelihara laju maksimum dari pengkapuran dan fotosintesis dapat terjadi pada kedalaman 20m dalam kondisi perairan yang bersih (Nybakken,1992).

Meskipun karang mempunyai kemampuan *feeding active*, akan tetapi kebanyakan proporsi terbesar makanan karang berasal dari simbiosis yang unik, yaitu *zooxanthellae*. *Zooxanthellae* ini merupakan alga uniseluler yang bersifat mikroskopik hidup dalam berbagai jaringan tubuh karang yang transparan dan menghasilkan energi langsung dari cahaya matahari melalui fotosintesis (Rembet, 2012).

B. Simbiosis Mutualisme *Zooxanthellae* dan Karang

Pada umumnya diketahui bahwa terumbu karang memiliki kekhasan dalam hal simbiosis antara karang dengan *zooxanthellae* yang berasosiasi secara saling menguntungkan. Karang menyediakan tempat untuk hidup yang cocok dan kaya akan zat hara yang dibutuhkan oleh *zooxanthellae* untuk proses fotosintesis. Di sisi lain, *zooxanthellae* menyediakan makanan dan pigmen warna bagi karang inangnya. Hubungan sinergis antara keduanya merupakan tulang punggung keberadaan dan kehidupan terumbu karang. Karena pentingnya simbiosis di antara karang dan *zooxanthellae*, maka dari itu perlu dipelajari mekanisme asosiasi yang mungkin terjadi (Hoegh – Gulberg, 1999; Waris, 2016).



Gambar 1. Hubungan Simbiosis *Zooxanthellae* dan Karang (Buddemeier dkk., 2004).

Zooxanthella digolongkan ke dalam kelompok dinoflagellata fototropik karena terdapat *endosimbion* pada beberapa invertebrata laut (Trench, 1993; Purnomo, 2010).

Pada kondisi awal dipahami bahwa simbiosis antara *zooxanthellae* dengan karang dalam ekosistem laut merupakan suatu simbiosis mutualisme yang diawali oleh bertemunya *zooxanthellae* dengan karang yang memiliki peluang tinggi, oleh sebab karang hidup menetap dan *zooxanthellae* bersifat planktonik. Pertemuan keduanya mendapat peluang yang besar oleh adanya kondisi dinamik oleh air laut. Dikemukakan bahwa proses recognisi pada akhirnya menjadikan relokasi *zooxanthellae* pada karang merupakan fenomena respon biotik sebagai turunan dari aktivitas fisik dinamik air laut dan proses interkoneksi kimiawi (Perez, 1982; Rember, 2012).

Beberapa tahapan endosimbiosis yang dikemukakan oleh Lenhoff & Muscatine (1990); Rember (2012) yang dijabarkan melalui 4 mekanisme, yaitu:

1. Kontak dan Pengenalan (*Recognition*). Meskipun terdapat argumentasi bahwa infeksi *zooxanthellae* pada jaringan seluler inangnya terjadi pada saat pelepasan planula, namun tahap ini diperlukan pada setiap perkembangan dari binatang karang. Proses ini merupakan proses transpor yang tidak saja mencakup proses fisik akan tetapi juga biokimiawi.
2. Endositosis. Merupakan proses pemasukan suatu alga selular ke dalam jaringan inang. Prosesnya dilakukan setelah mengalami tahap pengenalan dengan kecepatan dan jumlah yang bergantung kepada jenis dan kapasitas dari binatang karang.
3. Relokasi intraselluler dari simbion, ini berkaitan dengan sistem endoskeleton dari binatang karang. Proses enzimatik yang membantu pelaksanaannya ditentukan oleh fluktuasi *pH* seluler.
4. Pertumbuhan dan regulasi kuantitasnya. Proses ini terjadi setelah relokasi dan berlangsung dengan bergantung kepada perubahan faktor-faktor eksternal penentu (khususnya faktor *limiting*) pertumbuhan. Pemutihan (*bleaching*) merupakan salah satu fenomena regulasi dari *zooxanthellae* dalam jaringan binatang karang.

Karena begitu besarnya kontribusi *zooxanthellae* terhadap inangnya berbeda berdasarkan spesies inang yang ditempati. Pada karang *pocillophora damicornis* dan Kima *tridacna squamosal*, *zooxanthellae* mampu memberikan lebih dari 40% hasil fotosintesis pada hewan inangnya (Muscatine, 1967; Niartiningih, 2001; Ihsan, 2016). Penelitian dari Taylor (1969) mengemukakan bahwa *Anemonesulcata* mampu mentransfer lebih 60% dari total karbon untuk difiksasi oleh *zooxanthellae* melalui proses fotosintesis. Ditambah lagi fakta pada hewan karang yang mendapatkan hingga 98% hasil bersih produksi dari *zooxanthellae* (Niartiningih, 2001; Ihsan, 2016).

Dengan demikian peluang bertemunya keduanya sangat dimungkinkan terjadi di laut dengan dua pertimbangan tersebut. *Zooxanthellae* yang ditemukan di karang biasanya berdiameter 8-12 μM . Sel yang berada di membran vakuola, terikat dalam sel gastrodermal. Densitas mereka umumnya berkisar antara 1×10^6 sel/cm² sampai 2×10^6 sel/cm² sel permukaan karang, walaupun ini mungkin sangat bervariasi pada skala temporal dan spasial. Beberapa bukti menunjukkan bahwa perbedaan musiman mempengaruhi kepadatan *zooxanthellae* di karang (Muller-Parker & D'Elia, 1997; Ismail, 2010).

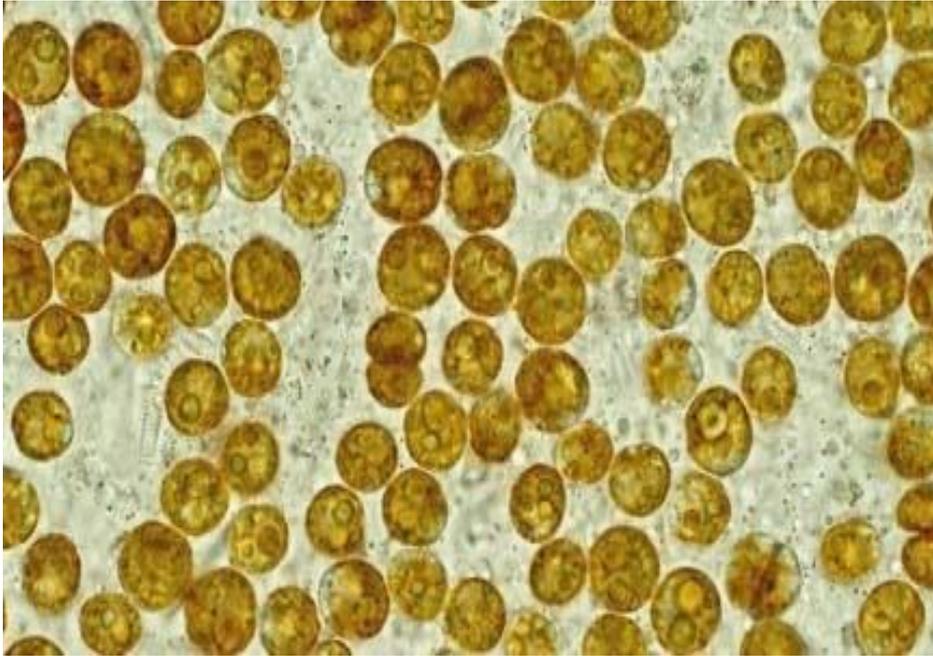
Grimsditch (2015) mengemukakan bahwa penelitian mikroalga memiliki simbiosis yang penting dengan polip karang, simbiosis akan terganggu apabila karang mengalami pemutihan (*bleaching*). Penelitian yang dilakukan oleh Grimsditch (2015) yaitu, mengkaji sejauh mana variasi yang terjadi secara alami dalam kepadatan *zooxanthellae*. Akan tetapi hanya dua dari sepuluh spesies yang menunjukkan variasi musiman yang signifikan meskipun beberapa spesies di antaranya menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan.

Dengan demikian menjadi jelas bahwa konsep simbiosis menjadi demikian penting dalam kehidupan karang dan kelestarian ekosistem bentukannya. Hubungan intra maupun ekstraspesifik yang terus berlangsung dalam proses pembentukan kestabilan ekosistem terumbu karang secara filosofis termasuk dalam konsep mikroevolusi yang ditampilkan oleh hubungan simbiosis antara *zooxanthellae* dan binatang karang (Rembet, 2012).

C. Simbion *Zooxanthellae*

1. Komponen Biologi dan Kimiawi *Zooxanthellae*

Zooxanthellae merupakan organisme ototrofik yang melakukan proses fotosintesis. Proses fotosintesis mutualisme terjadi karena karang membutuhkan O₂ dan zat-zat makanan dari hasil fotosintesis yang dilakukan oleh *zooxanthellae*. Sebaliknya, *zooxanthellae* membutuhkan hasil metabolisme berupa nutrisi dan CO₂ dari karang untuk proses fotosintesis, ditambah dengan cahaya matahari sebagai sumber utama (Romimohtarto dkk., 2007; Supriharyono dkk., 2015).



Gambar 2. Sel *zooxanthellae* (en.wikipedia.org/wiki/Symbiodinium)

Selama fotosintesis berlangsung, *zooxanthellae* memfiksasi sejumlah besar karbon yang dilewatkan pada polip inangnya. Karbon ini sebagian besar dalam bentuk gliserol termasuk di dalamnya glukosa dan alanin. Produk kimia ini digunakan oleh polip untuk menjalankan fungsi metaboliknya atau sebagai pembangun blok-blok dalam rangkaian protein, lemak dan karbohidrat. *Zooxanthellae* juga meningkatkan kemampuan *coral* dalam menghasilkan kalsium karbonat (Lalli & Parsons, 1995; Sunarto, 2008).

Menurut Jacques dkk., (1980) *zooxanthellae* yang berada dalam inang karang, memiliki kemungkinan untuk mengatur jumlah *zooxanthellae* yang keluar dari dalam inang dan yang masih tinggal di dalam inang karang sebagai salah satu cara untuk mengendalikan faktor mitogenesisnya agar karang dapat bertumbuh dan secara bertahap mengendalikan jumlah karbon atau nitrogen berlebih di dalam inangnya (McAuley, 1994).

Soedarsono dkk., (2013) mengemukakan bahwa status nutrisi bagi kebutuhan *zooxanthellae* dapat dijadikan sebagai indikator kesuburan terumbu karang. *Zooxanthellae* sama seperti biota laut pada umumnya memerlukan dukungan ketersediaan nutrisi yang cukup. Tingkat kebutuhannya akan nutrisi sangat berbeda atau berbanding terbalik dengan lingkungan eksternal di kawasan perairan terumbu karang, pada setiap waktu densitas *zooxanthellae* berfluktuasi, tergantung pada kualitas lingkungan perairan. Pada dasarnya keluar masuknya *zooxanthellae* terjadi setiap saat dari dalam tubuh karang. Jumlah *zooxanthellae* yang keluar tidak lebih dari 0,1% dari total standing stock simbiosis alga setiap hari.

Cahaya merupakan salah satu faktor penting untuk pertumbuhan karang, karena 90% makanan karang disalurkan oleh *zooxanthellae* (Zulfikar & Soedharma, 2012; Suliswati, 2016). Proses fotosintesis akan menghasilkan energi (ATP) yang berfungsi untuk biosintesis sel, pertumbuhan dan penambahan sel, bergerak atau berpindah dan bereproduksi. Selain itu cahaya yang diterima *zooxanthellae* akan mempengaruhi fisiologi, komponen biokimia dan ultrastruktur sel serta tingkat perilaku sel (Anthony & Hoegh, 2003; Suliswati, 2016).

Proses masuknya *zooxanthellae* ke dalam inang karang ditandai dengan adanya proses pencocokan atau adaptasi terlebih dahulu, dalam proses ini substrat sebagai tempat menempelnya inang karang memiliki komponen-komponen kimiawi dan bologi yang diperlukan *zooxanthellae* untuk bertahan pada inangnya. Karang yang mengalami stress akibat perubahan lingkungan, utamanya kenaikan suhu lingkungan melebihi batas toleransi dan dalam jangka waktu yang lama, akan memproduksi suatu penanda berupa *cytosolic calcium signal* (CCS) mengaktifasi proses transportasi vakuola yang berisi *zooxanthellae* ke membran sel karang inang. Vakuola tersebut kemudian ditempatkan pada sitoskeleton, dan pergerakannya ditunjang oleh protein motorik. *Zooxanthellae* bergerak mendekati membran dibantu oleh jaringan sitoskeleton. Akhirnya *zooxanthellae* dapat dikeluarkan dari sel setelah membran pada karang inang pecah (Gates dkk., 1992; Waris, 2016).

2. Berbagai Inang *Zooxanthellae*

Zooxanthellae pada dasarnya adalah istilah umum untuk semua ganggang berwarna emas yang hidup bersimbiosis pada hewan, termasuk karang, anemon laut, moluska, dan taksa lainnya. Walaupun istilah tidak memiliki arti taksonomi, *zooxanthellae* digunakan terutama untuk merujuk kepada simbion *dinoflagellata*, sekelompok alga yang beragam. Ini adalah label generik yang berguna, mengingat keadaan saat ini ketidakpastian dalam taksonomi simbion karang (Muller-Parker & D'Elia, 1997; Ismail, 2010).

Sebagian besar inang yang bersimbiosis merupakan karnivora dan yang memicu kegagalan inang untuk mencerna atau menyalurkan infasi simbion-simbion alga bergantung pada sifat yang dimiliki baik hewan karang maupun alga (Yonge, 1963; Thamrin, 2004; Ismail, 2010). Salah satu inang invertebrata yang bersimbiosis yaitu hewan karang dari Ordo Scleractinia. Hewan karang dari Scleractinia merupakan koloni dari polip-polip yang dihubungkan oleh sistem gastrovaskuler dimana individu hewan karang atau polip menempati mangkuk kecil atau koralit dalam kerangka yang

masif. Tiap mangkuk atau koralit mempunyai beberapa seri septa yang tajam dan berbentuk daun yang keluar dari dasar (Thamrin, 2004; Ismail, 2010).

3. Ekologi *Zooxanthellae*

Karena *zooxanthellae* bersimbiosis dengan karang maka dari itu *zooxanthellae* dikenal. *Zooxanthellae* sering mengalami infeksi bakteri yang menyerang karang. Misalnya, bakteri penyebab *Yellow Band/Blotch Disease (YBD)* pada spesies *Montastraea*, bakteri mempengaruhi proses endosimbion *zooxanthellae*. Banyak bakteri mengganggu proses fotosintesis organisme ini. *Zooxanthellae* dapat membantu menampung cahaya untuk makanan karang. Ini membantu karang untuk memenuhi kebutuhan karbon dan energinya. Selain daripada itu, *zooxanthellae* memberi warna pada inang karang. Karang dengan tentakel yang terus meluas memiliki populasi *zooxanthellae* yang lebih padat. Pemutihan karang menyebabkan gangguan antara karang dengan *zooxanthellae*. Hubungan simbiosis antara karang dengan *zooxanthellae* dan organisme lain biasa terjadi di perairan tropis dengan kelimpahan nutrisi yang rendah. Hubungan ini jauh lebih jarang terjadi di perairan beriklim sedang (Levy dkk., 2003).

D. Faktor Lingkungan Habitat *Zooxanthellae*

Kondisi suatu perairan karang yang mendapat pengaruh atau tekanan secara langsung terhadap faktor lingkungan perairan setiap waktu atau secara terus menerus setiap musim merupakan lokasi perairan yang berada pada perairan terbuka (*windward*). Sebaliknya apabila lokasi perairan tersebut berada pada daerah yang terlindung dari tekanan faktor lingkungan perairan dikarenakan adanya daerah atau daratan sebagai penghalang (*barrier*) terhadap pengaruh lingkungan, disebut daerah perairan tertutup (*leeward*) (Sukarno dkk., 1983; Pangabean & Setiadji, 2011).

Kehidupan ekosistem terumbu karang dan biota yang hidup di dalamnya seperti polip karang dan *zooxanthellae* sangat bergantung pada kondisi lingkungan yang ada di perairan seperti suhu, arus/gelombang, kedalaman, oksigen terlarut, *pH*, salinitas, nitrat dan fosfat. Khususnya pada kedalaman, nitrat dan fosfat sangat memengaruhi densitas *zooxanthellae* karena intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan sangat memengaruhi kehidupan *zooxanthellae* dan *zooxanthellae* membutuhkan nutrisi agar tetap hidup dan menempel pada polip karang (Purnomo dkk., 2018).

1. Cahaya

Supriharyono dkk., (2015) menyatakan bahwa, semakin dalam perairan maka intensitas cahaya yang masuk ke dalam perairan akan semakin berkurang. Mengingat bahwa karang hidup pada setiap level kedalaman dan membutuhkan intensitas cahaya yang optimal, maka diperkirakan dapat menyebabkan perbedaan jumlah sel *zooxanthellae* pada setiap level kedalamannya. Kebutuhan akan intensitas cahaya matahari yang tinggi menyebabkan terjadinya proses persaingan hidup yang baik pada beberapa jenis karang. Proses persaingan ini mengakibatkan terbentuknya naungan (*shading*) secara alami. Naungan yang terbentuk dari suatu individu karang yang memiliki kemampuan tumbuh yang lebih cepat akan menutupi individu karang yang lain. Hal ini mempengaruhi intensitas cahaya yang diperoleh karang yang tertutup naungan. Proses awal fotosintesis *zooxanthellae* adalah mengabsorpsi cahaya.

2. Suhu

Suhu atau temperatur sangat mempengaruhi pertumbuhan karang, dimana suhu terendah karang batu dapat hidup yaitu 15°C, tetapi kebanyakan ditemukan pada suhu air di atas 18°C dan tumbuh sangat baik antara 25°-29°C. Temperatur maksimum dimana terumbu karang masih hidup adalah 36°C. Menurut Suharsono dkk., (1998) & Santoso (2008), suhu terbaik untuk pertumbuhan karang batu adalah 25°-31°C. Dan masih dapat hidup pada suhu 15°C, tetapi perkembangbiakan, metabolisme dan pengapurannya akan terganggu. Menurut Levinton (1982) & Muhlis (2011), suhu adalah faktor lingkungan yang paling besar pengaruhnya terhadap pertumbuhan organisme laut termasuk karang. Beberapa pengaruhnya dapat dilihat pada kecepatan metabolisme, pertumbuhan dan reproduksi, dan perombakan bentuk luar dari karang sehingga akan berpengaruh pada laju pertumbuhan karang yang akhirnya secara terakumulasi terlihat pada persenutupan karang yang menggambarkan tentang kondisi terumbu karang.

3. Salinitas

Salinitas dimana karang batu dapat hidup yaitu 27-40‰, tetapi mereka hidup paling baik pada salinitas normal air laut yakni 36‰. Perairan pantai akan terus menerus mengalami pemasukan air tawar secara teratur dari aliran sungai, sehingga salinitasnya berkurang yang akan mengakibatkan kematian terumbu karang, yang juga membatasi sebaran karang secara lokal (Santoso, 2008).

4. Arus

Pergerakan air atau arus diperlukan untuk tersedianya aliran suplai makanan jasad renik dan oksigen maupun terhindarnya karang dari timbunan endapan. Di daerah terumbu karang siang hari oksigen banyak diperoleh dari hasil fotosintesa *zooxanthellae* dan dari kandungan oksigen yang ada di dalam massa air itu sendiri, sedangkan di malam hari sangat diperlukan arus yang kuat yang dapat memberi suplai oksigen yang cukup bagi fauna diterumbu karang. Di laut terbuka suplai oksigen selalu mencukupi, tetapi di perairan yang agak tertutup pertumbuhan karang batu lebih dihalangi oleh kekurangan makanan. Oleh karena itu pertumbuhan terumbu karang di tempat yang airnya selalu teraduk oleh angin, arus dan ombak lebih baik daripada yang tenang dan terlindung (Santoso, 2008). *Zooxanthellae* sebagai simbion pada karang bisa menghindari dari penurunan perubahan parameter lingkungan dengan cara keluar dari tubuh inang dengan bantuan arus atau dalam bentuk *zoospora* mencari inang atau lingkungan yang lebih menguntungkan (Thamrin, 2007).

5. Kedalaman

Kedalaman mempengaruhi aktivitas terumbu karang karena tidak dapat berkembang di perairan yang lebih dalam dari 50–70m. Kebanyakan terumbu tumbuh pada kedalaman 25m atau kurang, karena *zooxanthellae* sebagai alga simbiotik memerlukan cahaya. Tanpa cahaya yang cukup, laju fotosintesis akan berkurang sehingga bersama dengan itu kemampuan karang dalam menghasilkan kalsium karbonat akan berkurang pula. Titik kompensasi untuk karang nampaknya merupakan kedalaman dimana intensitas cahaya kurang sampai 15-20% dari intensitas permukaan (Nybakken, 1992; Soedarsono dkk., 2013). Faktor kedalaman juga membatasi kehidupan binatang karang. Perairan yang jernih memungkinkan penetrasi cahaya bisa sampai pada lapisan yang sangat dalam, sehingga binatang karang juga dapat hidup pada perairan yang cukup dalam. Namun secara umum karang tumbuh baik pada kedalaman kurang dari 20m (Supriharyono, 2007; Soedarsono, 2013). Distribusi vertikal terumbu karang hanya mencapai kedalaman efektif sekitar 10m dari permukaan laut. Hal ini disebabkan karena kebutuhan sinar matahari masih dapat terpenuhi pada kedalaman tersebut (Dahuri dkk., 1996; Soedarsono dkk, 2013).

6. Turbiditas

Kekeruhan di dalam air sangat dipengaruhi oleh kandungan zat-zat koloid, bahan-bahan organik serta material tersuspensi lainnya. Berdasarkan hasil pengukuran turbiditas pada **Zona Luar** dapat digolongkan perairan yang jernih sesuai dengan pernyataan Baka (1996), bahwa kekeruhan perairan yang kurang dari 5 NTU tergolong perairan yang jernih sehingga tidak berpengaruh terhadap efektifitas hewan uji, dan untuk **Zona Dalam** memiliki turbiditas yang agak keruh. Menurut Haryadi dkk., (1991), turbiditas terutama dipengaruhi oleh bahan-bahan tersuspensi seperti pasir, bahan organik dan anorganik, plankton serta organisme mikro lainnya.

7. TDS (*Total Dissolved Solid*)

Total dissolved solid (TDS) perairan sangat dipengaruhi oleh pelapukan batuan, limpasan dari tanah dan pengaruh antropogenik (berupa limbah domestik dan industri). Menurut Haryadi dkk.,(1991), *TDS* adalah bahan-bahan terlarut dalam air yang tidak tersaring dengan kertas saring millipore ukuran pori-pori (*porosity*) 0,45 μm . Hasil pengamatan *TDS* yang dilakukan oleh Kusumaningtyas & Sukamto (2015) yaitu berada pada kisaran $0,008 \pm 0,001 - 170,9 \pm 0,1$ g/L. Nilai *TDS* pada saat pengamatan tergolong perairan asin dimana menurut Effendi (2003), terdapat hubungan antara *TDS* dengan salinitas, dimana perairan tawar mempunyai nilai *TDS* 0-1mg/L, payau 1,001-10.000 mg/L, asin 10.001-100.000mg/L, dan sangat asin (brine) >100.000mg/L.

8. Do (*Dissolved Oxygen*)

Kehidupan mikroorganisme, seperti ikan dan hewan air lainnya, tidak terlepas dari kandungan oksigen yang terlarut di dalam air. Air yang tidak mengandung oksigen tidak dapat memberikan kehidupan bagi mikroorganisme, ikan dan hewan air lainnya. Oksigen yang terlarut di dalam air sangat penting artinya bagi kehidupan di perairan tersebut. Pada saat oksigen rendah keseimbangan akan menuju amoniak dan sebaliknya, dengan demikian nitrat adalah hasil akhir dari oksida nitrogen dalam laut (Indriyani, 2019).

9. pH

Perbedaan nilai *pH* dalam perairan disebabkan oleh adanya perbedaan waktu pengukuran. Perubahan konsentrasi *pH* dalam perairan mempunyai siklus harian. Siklus ini merupakan fungsi dari karbondioksida. Effendi (2003) mengatakan bahwa, jika perairan mengandung karbondioksida bebas dan ion karbonat maka *pH* cenderung

asam, dan *pH* akan kembali meningkat jika CO_2 dan HCO_3 mulai berkurang. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Indriyani (2019) memperlihatkan, adanya perbedaan *pH* pada tiap lokasi pengambilan sampel, tetapi secara keseluruhan nilai rata-rata pada stasiun penelitian di perairan Pulau Sembilan berada pada kisaran yang mendukung untuk dilakukannya budidaya rumput laut.

E. Kepadatan *Zooxanthellae*

Penelitian yang dilakukan Soedarsono dkk., (2013) menunjukkan bahwa, densitas *zooxanthellae* pada lokasi penelitian berkisar antara 44×10^6 - 78×10^6 sel/ml dengan rata – rata $63,25 \times 10^6$ sel/ml. *Zooxanthellae* bersimbiosis dengan koloni karang. Koloni karang merupakan penyuplai terbesar kebutuhan zat anorganik untuk fotosintesis *zooxanthellae*. Oleh sebab itu Soedarsono (2013) mengemukakan bahwa status nutrisi bagi kebutuhan *zooxanthellae* dapat dijadikan sebagai indikator kesuburan terumbu karang. *Zooxanthellae* sama seperti biota laut yang pada umumnya memerlukan dukungan ketersediaan nutrien yang cukup. Tingkat kebutuhan akan nutrien sangat berbeda atau berbanding terbalik dengan lingkungan eksternal di kawasan perairan terumbu karang, pada setiap waktu densitas *zooxanthellae* berfluktuasi, tergantung pada kualitas lingkungan perairan. Jumlah *zooxanthellae* yang keluar tidak lebih dari 0,1% dari total standing stock simbiosis alga setiap hari. Pada saat kepadatan *zooxanthellae* rendah di bawah kondisi normal, maka suplai energi ke inangnya akan berkurang sehingga kesehatan polip terganggu, laju kalsifikasi berkurang, kepadatan *zooxanthellae* dan penetrasi cahaya rendah sehingga pembentukan terumbu jadi lambat (Ismail, 2010). Alasan tersebut diperkuat lagi oleh pernyataan Stimson (1997), Fagoonee dkk., (1999), Brown dkk., (1999) Fitt dkk., (2000), Pillay dkk., (2005), Ismail (2010) bahwa respon karang terhadap tekanan lingkungan luar adalah hilangnya atau keluarnya *zooxanthellae* dari polip karang yang merupakan bentuk adaptasi. Perbedaan kepadatan *zooxanthellae* antar spesies juga menunjukkan perubahan pola musim, dimana respon karang terhadap berbagai faktor lingkungan pada musim *summer* lebih rendah kepadatan *zooxanthellae* daripada musim *winter*. Kelimpahan *zooxanthellae* pada karang memiliki hubungan yang erat dengan diameter koralit karang itu sendiri (Fachrurrozie, 2012; Pudjiarto 2015). Hal ini ditunjukkan dari penelitian yang dilakukan oleh Pudjiarto (2015), bahwa kelimpahan *zooxanthellae* cukup tinggi pada karang *Acropora branching* ($1.302.405$ sel/cm²) memiliki korelasi dengan diameter koralit yang berukuran 0,74 mm. Diameter koralit dari sampel fragmen karang *Montipora* diketahui relatif lebih kecil (0,5-1,00 mm) daripada diameter sampel fragmen karang *Echinopora* (2,5-5,00 mm). Kemudian

dijelaskan lagi bahwa kepadatan *zooxanthellae* pada karang dengan bentuk pertumbuhan *foliose* kemungkinan besar memiliki kepadatan yang kurang, hal ini disebabkan karena bagian dasar karang *foliose* berbentuk mengerucut sehingga bagian cekungan cenderung tertutup oleh endapan sedimentasi.

Ancaman bagi *zooxanthellae* adalah pemutihan karang (*bleaching*). Menurut (Coles & Brown (2003) & Sjafrie (2014) ada tiga skenario *bleaching* yang dapat terjadi:

1. *Bleaching* ringan, terjadi pemulihan. Pada skenario ini di 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, terjadi kematian sebagian dari jenis-jenis karang. Pada skenario ini, karang yang kuat akan mampu beradaptasi, sehingga pada akhirnya akan terjadi dominansi dari karang yang memiliki toleransi tinggi.
3. *Bleaching* berat, terjadi kematian massal. Pada skenario ini tidak ada jenis – jenis karang yang bertahan hidup, pada akhirnya akan terjadi perubahan struktur komunitas yang akan digantikan oleh dominansi dari makroalga.

Yone dan Nicholls (1931), Cole dan Brown (2003), Sjafrie dkk., (2014) mengemukakan bahwa, terjadinya *bleaching* pada karang disebabkan oleh naiknya suhu air laut yang tinggi menyebabkan konsentrasi *zooxanthellae* berkurang. Selain suhu yang tinggi, adapula acaman lain yaitu nutrisi pada karang yang menyebabkan *bleaching*. Pada dasarnya bukan hanya karang yang mengalami pemutihan, tetapi semua hewan bersimbiosa dengan dinoflagellate karena alga ini memberikan warna pada hewan yang menjadi simbiosanya.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Rifa'l dkk., (2013), efek stress pada anemone menyebabkan aktivitas metabolisme anemon terkonsentrasi pada upaya penyembuhan luka tubuh pasca fragmentasi. Selama proses penyembuhan ini sebagian besar hasil metabolisme tubuh anemon dikonsentrasikan untuk upaya memperbaiki sel-sel yang rusak, sedangkan fungsi biologis lainnya seperti suplai nutrisi bagi simbionnya turut mengalami gangguan. Akibat gangguan ini maka sel-sel alga *zooxanthellae* diduga sebagian akan keluar dari jaringan endodermis untuk melakukan migrasi, sebagian mengalami kerusakan sel, sebagian mengalami kematian, dan sebagian lagi mengurangi bahkan menghentikan aktivitas pertumbuhan untuk sementara waktu.

Pernyataan serupa dinyatakan oleh Yusuf (2010), bahwa anemon dan karang lunak juga merupakan hewan yang bersimbiosis dengan *zooxanthellae* sehingga memiliki kemungkinan dalam kehilangan *zooxanthellae* dari jaringan tubuhnya.

Tingginya kejadian *bleaching* terhadap karang keras merupakan suatu yang umum karena komposisi terumbu karang sebagian besar tersusun atau dibentuk oleh komunitas karang keras (*Scleractinia*). Pengecualian pada terumbu karang yang mengalami suksesi biasanya terjadi pergantian biota dominan ke biota selain karang keras seperti makro alga atau spons. Faktor lainnya yaitu struktur tubuh/epidermis karang keras yang lebih tipis menyebabkan kepekaannya terhadap perubahan lingkungan juga lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok karang lunak dan invertebrat lainnya (anemon). Kedua kelompok ini lebih tahan terhadap perubahan lingkungan dibanding karang keras.

F. Tipe – Tipe Pertumbuhan Karang

Dalam pernyataannya Ihsan (2016) mengemukakan bahwa karang memiliki enam tipe pertumbuhan dari tiap genera yang berbeda. Berikut adalah penjelasan dari pertumbuhan karang.

1. Tipe bercabang (*branching*)

Terumbu karang dengan tipe pertumbuhan ini banyak ditemukan di sepanjang tepi terumbu dan bagian atas lereng, terutama pada bagian yang terlindung. Keberadaan tipe ini sangat bergantung pada kondisi gelombang harian suatu perairan. Secara umum terumbu karang bercabang tidak dapat mentolelir kondisi gelombang yang kuat (Gambar 4).



Gambar 3. *Coral Branching* (Zainuddin, 2020)

2. Tipe Padat (Massive)

Terumbu karang ini berbentuk seperti bola yang dapat mencapai ukuran beberapa meter. Sebaran tipe masif banyak terdapat di tepi terumbu dan di atas lereng terumbu. Jika bagian dari karang ini mati atau rusak, maka akan berkembang menjadi tonjolan (Gambar 5).



Gambar 4. *Coral Massive* (Zainuddin, 2020)

3. Tipe kerak (*encrusting*)

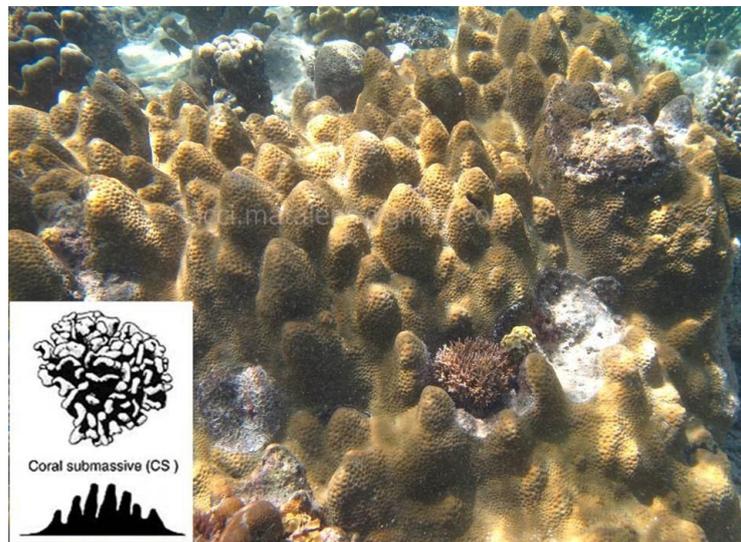
Tipe pertumbuhan karang kelompok ini biasanya menutupi permukaan dasar laut. Permukaannya kasar memiliki lubang-lubang kecil. Beberapa teori menyebutkan bahwa banyak tipe pertumbuhan karang itu berawal dari bentuk kerak (Gambar 6).



Gambar 5. *Coral Encrusting* (Zainuddin, 2020)

4. Tipe submassive

Bentuk kokoh dengan tonjolan-tonjolan atau kolom-kolom kecil.



Gambar 6. *Coral Submassive* (Zainuddin, 2020)

5. Tipe daun/lembaran (*foliose*)

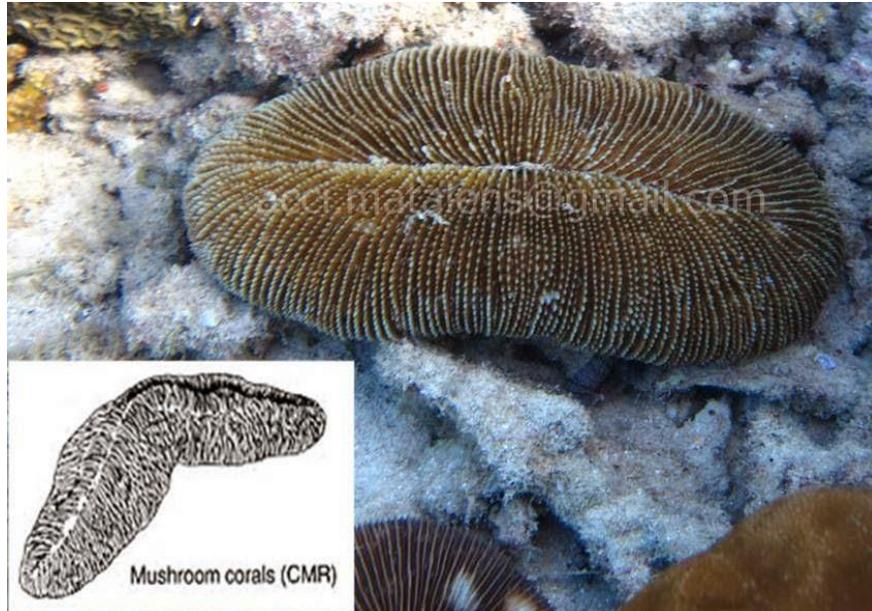
Terumbu karang dengan tipe pertumbuhan ini terlihat seperti lembaran-lembaran yang menonjol dari dasar terumbu, berukuran kecil dan membentuk lipatan melingkar (Gambar 8).



Gambar 7. *Coral Foliose* (Zainuddin, 2020)

6. Tipe jamur (*mushroom*)

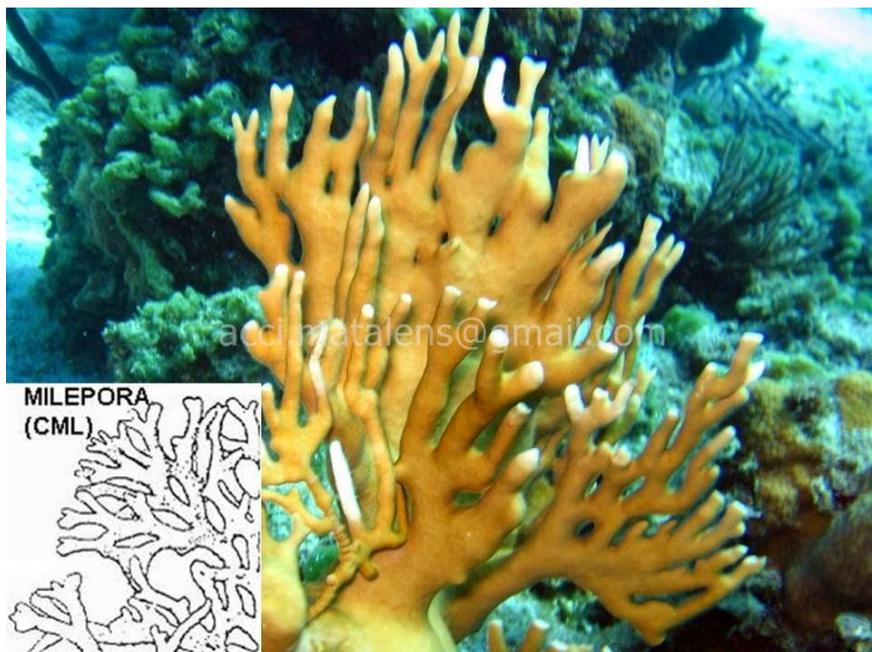
Berbentuk oval dan tampak seperti jamur. Di permukaannya ditemukan banyak tonjolan yang beralur dari tepi hingga pusat polip (Gambar 9).



Gambar 8. *Mushroom corals* (Zainuddin, 2020)

7. Tipe *millepora*

Semua karang *millepora* dapat dikenali dengan adanya warna kuning di ujung koloni serta rasa panas seperti terbakar jika tersentuh (Gambar 10).



Gambar 9. *Millepora* (Zainuddin, 2020)

8. Tipe *heliopora*

Semua karang *heliopora* yang dapat ditandai dengan warna biru pada rangka kapur karang (Gambar 11).



Gambar 10. *Heliopora* (Zainuddin, 2020)