



**TUGAS AKHIR - SB184830**

**DENSITAS DAN KEANEKARAGAMAN REKRUTMEN  
SCLERACTINIA PADA SUBSTRAT ALAMI DAN  
BUATAN DI PERAIRAN SEPULU, BANGKALAN,  
MADURA**

**ISABELLA RAHMA AZIZAH  
0131154000004**

**Dosen Pembimbing  
Farid Kamal Muzaki, S. Si., M. Si.**

**Departemen Biologi  
Fakultas Sains dan Analitika Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020**



**TUGAS AKHIR - SB184830**

**DENSITAS DAN KEANEKARAGAMAN REKRUTMEN  
SCLERACTINIA PADA SUBSTRAT ALAMI DAN  
BUATAN DI PERAIRAN SEPULU, BANGKALAN,  
MADURA**

**ISABELLA RAHMA AZIZAH  
0131154000004**

**Dosen Pembimbing  
Farid Kamal Muzaki, S. Si., M. Si.**

**Departemen Biologi  
Fakultas Sains dan Analitika Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020**





**FINAL PROJECT - SB184830**

**DENSITY AND DIVERSITY OF SCLERACTINIAN  
RECRUITS ON NATURAL AND ARTIFICIAL  
SUBSTRATA IN COASTAL WATERS OF SEPULU,  
BANGKALAN, MADURA**

**ISABELLA RAHMA AZIZAH  
0131154000004**

**Advisor  
Farid Kamal Muzaki, S. Si., M. Si.**

**Biology Department  
Faculty of Science and Data Analytics  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020**



**HALAMAN PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**DENSITAS DAN KEANEKARAGAMAN  
REKRUTMEN SCLERACTINIA PADA SUBSTRAT  
ALAMI DAN BUATAN DI PERAIRAN SEPULU,  
BANGKALAN, MADURA**


**TANGGAL 29 JANUARI 2020**

Oleh :

**ISABELLA RAHMA AZIZAH  
NRP. 0131154000004**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Farid Kamal Muzaki, S. Si., M. Si. .... (Pembimbing Tugas Akhir)



Mengetahui:  
Kepala Departemen Biologi

Dr. Dewi Hidayati, S.Si., M.Si  
NIP. 19691121 199802 2 001



DENSITAS DAN KEANEKARAGAMAN REKRUTMEN  
SCLERACTINIA PADA SUBSTRAT ALAMI DAN BUATAN  
DI PERAIRAN SEPULU, BANGKALAN, MADURA

**Nama Mahasiswa** : Isabella Rahma Azizah  
**NRP** : 0131154000004  
**Departemen** : Biologi  
**Dosen Pembimbing** : Farid Kamal Muzaki, S. Si., M. Si.

Abstrak

*Terumbu buatan merupakan struktur yang secara sengaja ditenggelamkan di dasar laut untuk meniru fungsi dari terumbu karang alami. Keberhasilan aplikasi terumbu buatan dapat dilihat salah satunya dari aspek rekrutmen karang yang tumbuh pada terumbu tersebut. Rehabilitasi terumbu karang telah dilakukan di perairan pesisir Desa Labuhan, Sepulu, Bangkalan-Madura menggunakan terumbu buatan model kubah berongga. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui densitas dan keanekaragaman rekrutmen karang pada substrat terumbu buatan dan membandingkannya dengan substrat terumbu alami; serta mengukur korelasi antara densitas rekrut karang dengan makroalga. Rata-rata densitas rekrut karang pada terumbu buatan adalah 15,5 koloni/m<sup>2</sup> dengan kategori tingkat rekrutmen sangat tinggi dan pada substrat alami karang mati adalah 4,5 koloni/m<sup>2</sup> dengan kategori tingkat rekrutmen rendah. Tercatat 16 spesies rekrut karang dari 7 famili pada kedua tipe substrat yang didominasi oleh Goniopora, Galaxea dan Goniastrea. Karang mati memiliki kekayaan spesies rekrut karang yang lebih tinggi dibandingkan substrat terumbu buatan. Makroalga Padina sp memiliki korelasi negatif dengan densitas rekrut karang meskipun tidak signifikan sedangkan crustose coralline algae (CCA) berkorelasi positif dan signifikan dengan densitas rekrut karang.*

*Kata Kunci: Desa Labuhan, makroalga, rekrutmen karang, terumbu alami, terumbu buatan*





DENSITY AND DIVERSITY OF SCLERACTINIAN  
RECRUITS ON NATURAL AND ARTIFICIAL SUBSTRATA  
IN COASTAL WATERS OF SEPULU, BANGKALAN,  
MADURA

**Student's Name** : Isabella Rahma Azizah  
**NRP** : 0131154000004  
**Department** : Biologi  
**Supervisor** : Farid Kamal Muzaki, S. Si., M. Si.

Abstract

Artificial reefs are artificial habitats laid in seabed by mimicking some of the characteristics of natural reefs. Success of artificial reef application could be indicated by recruitment of coral larvae occurred on their surface. One of coral rehabilitation effort was established in the coastal water of Labuhan Village, Sepulu, Bangkalan – Madura, using dome-shaped concrete artificial reef. The purposes of the research are to compare the density of coral recruits on artificial reef and natural reef (dead coral) and to access the correlation between density of coral recruits and macroalgae. Average density of coral recruits on artificial reef was 15,5 colonies/m<sup>2</sup> (categorized as very high density) while on dead coral was 4,5 colonies/m<sup>2</sup> (categorized as low density). At least 16 species from 7 families found on both substrates and dominated by *Goniopora*, *Galaxea* and *Goniastrea*, respectively. There is positive significant correlation between density of coral and crustose coralline algae (CCA); whereas negative correlation between density of coral and macroalgae *Padina* sp is not significant.

Keywords: artificial reef, coral recruitment, Labuhan Village, macroalgae, natural reef,



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul ***“Densitas dan Keanekaragaman Rekrutmen Scleractinia pada Substrat Alami dan Buatan di Perairan Sepulu, Bangkalan, Madura”***. Tugas Akhir ini telah penulis susun dengan maksimal serta tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Farid Kamal Muzaki, S. Si., M. Si. selaku dosen pembimbing,
2. Bapak Dr. rer. nat. Edwin Setiyawan, M. Sc. dan Ibu Dr. Dra. Dian Saptarini, M.Sc. selaku dosen penguji,
3. Orangtua dan keluarga, atas dukungan dan doanya, serta teman-teman angkatan 2015, 2016 dan seluruh pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih belum sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun penulis harapkan demi perbaikan selanjutnya. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, 29 Januari 2019

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	iii
TITLE PAGE .....	v
HALAMAN PENGESAHAN .....	vii
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Permasalahan .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan .....	4
1.5 Manfaat .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Terumbu Karang .....	5
2.2 Karang .....	6
2.2.1 Anatomi karang .....	7
2.2.2 Bentuk pertumbuhan karang .....	10
2.2.3 Reproduksi aseksual .....	12
2.2.4 Reproduksi seksual .....	14
2.2.5 Pencernaan karang .....	15
2.2.6 Asosiasi dengan zooxanthellae .....	18
2.2.7 Faktor pembatas pertumbuhan karang .....	21
2.3 Rekrutmen Karang .....	24
2.4 Terumbu Buatan .....	28
2.5 Kondisi Terumbu Karang di Perairan Sepulu .....	30
BAB III METODOLOGI .....	33
3.1 Waktu & Tempat Penelitian .....	33

3.2 Prosedur Kerja .....	33
3.2.1 Studi Pendahuluan .....	33
3.2.2 Pengambilan data parameter lingkungan abiotik dan biotik .....	34
3.2.3 Pengambilan data rekrutmen karang .....	38
3.2.4 Identifikasi rekrut karang .....	39
3.2.5 Analisis data .....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	41
4.1 Pengukuran Faktor Abiotik dan Biotik .....	41
4.1.1 Faktor abiotik .....	41
4.1.2 Faktor biotik .....	48
4.2 Densitas dan Keanekaragaman Rekrutmen Karang .	51
4.2.1 Densitas rekrut karang .....	51
4.2.2 Keanekaragaman rekrut karang .....	54
4.3 Korelasi antara Makroalga-Rekrut Karang dan CCA-Rekrut Karang .....	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	63
5.1 Kesimpulan .....	63
5.2 Saran .....	63
DAFTAR PUSTAKA .....	65
LAMPIRAN .....	81

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur anatomi karang .....	8
Gambar 2.2 Struktur skeletal karang .....	9
Gambar 2.3 Bentuk pertumbuhan karang .....	11
Gambar 2.4 Reproduksi aseksual karang tipe pertunasan .....	12
Gambar 2.5 Reproduksi aseksual karang tipe fragmentasi .....	13
Gambar 2.6 Reproduksi aseksual karang tipe <i>polyp bail out</i> .....	13
Gambar 2.7 Siklus reproduksi seksual karang .....	16
Gambar 2.8 Macam-macam struktur terumbu buatan.....	28
Gambar 2.9 Karang alami di pesisir sepulu .....	31
Gambar 3.1 Lokasi pengambilan data .....	33
Gambar 3.2 Ilustrasi terumbu buatan model beton berongga .....	34
Gambar 3.3 Ilustrasi <i>sediment trap</i> .....	36
Gambar 4.1 Hasil perhitungan densitas makroalga .....	48
Gambar 4.2 Hasil perhitungan densitas rekrut karang .....	51
Gambar 4.3 Komposisi keragaman rekrut karang pada TB .....	55
Gambar 4.4 Komposisi keragaman rekrut karang pada KM .....	57





## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.2 Tingkat rekrutmen karang .....	40
Tabel 4.1 Hasil pengukuran faktor abiotik .....	41
Tabel 4.2 Hasil uji korelasi makroalga <i>Padina</i> sp dan CCA dengan rekrut karang .....	59



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Tabel Hasil Pengukuran Faktor Abiotik .....	81
Lampiran 2 Tabel Perhitungan Densitas Biota .....	82
Lampiran 3 Tabel Komposisi dan Kelimpahan Genera Karang yang Ditemukan pada Lokasi Penelitian .....	83
Lampiran 4 Hasil Analisis Statistik .....	85
Lampiran 5 Beberapa Dokumentasi Kegiatan Penelitian .....	88
Lampiran 6 Beberapa Dokumentasi Genera Rekrut Karang yang Ditemukan pada Lokasi Penelitian .....	92



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Terumbu karang merupakan ekosistem laut yang memiliki biodiversitas tinggi dengan produktivitas yang juga tinggi meskipun hanya menempati 1 % bagian dari dasar laut (Burke *et al.*, 2011; Elliff & Kikuchi, 2017). Terumbu karang memiliki berbagai macam manfaat diantaranya yaitu sebagai tempat berlindung bagi hewan-hewan yang berharga, mampu menjaga pasir di pantai, dapat mengurangi gaya ombak yang keras, dan berperan dalam siklus biogeokimia (Moberg & Folke 1999; Burke *et al.*, 2011; Pascal *et al.*, 2016). Meskipun memiliki banyak manfaat, kondisi ekosistem terumbu karang tidak terlepas dari ancaman-ancaman yang ditimbulkan oleh aktivitas manusia, perubahan iklim global, dan kejadian alamiah (Elliff & Kikuchi, 2017; Hughes *et al.*, 2017). Kondisi terumbu karang di Indonesia sendiri tercatat dalam buku Status Terumbu Karang Indonesia 2018 (Hadi *et al.*, 2018), dimana kondisi kategori terumbu karang sangat baik memiliki persentase sebesar 6.56%, kategori baik sebesar 22.96%, kategori cukup sebesar 34.3% dan kategori buruk sebesar 36.18%. Berdasarkan data tersebut, perlu dilakukan upaya untuk memperbaiki kondisi terumbu karang di Indonesia mengingat manfaatnya yang sangat besar bagi manusia. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk memulihkan ekosistem terumbu karang adalah dengan menggunakan terumbu buatan (*Artificial Reef*) (Perkol-Finkel & Benayahu, 2005; Harris, 2009; Ng *et al.*, 2017).

Terumbu buatan merupakan struktur yang secara sengaja ditenggelamkan di dasar laut untuk meniru fungsi dari terumbu karang alami seperti, meregenerasi, mengkonsentrasikan, melindungi, dan atau meningkatkan populasi dari sumber daya laut (Fabi *et al.*, 2015). Terumbu buatan juga dapat digunakan untuk merehabilitasi dan mengembalikan kondisi karang yang telah menurun dengan memberikan tempat untuk rekrutmen larva karang atau dapat dijadikan sebagai tempat transplantasi karang

(Ng *et al.*, 2017). Dalam membangun terumbu karang buatan, terdapat beberapa aspek yang harus diperhatikan yaitu lokasi penempatan, material penyusun, tipe struktur, dimensi, kompleksitas, tujuan, dan ketahanannya (Perkol-Finkel & Benayahu, 2005; Fabi *et al.*, 2015). Suparno & Arlius (2016), menyatakan bahwa pemulihan terumbu karang dapat dilihat dari beberapa aspek, diantaranya aspek pemulihan kembali ke kondisi awal dan aspek rekrutmen karang. Rekrutmen karang adalah masuknya suatu individu baru kedalam suatu populasi. Rekrutmen secara tidak langsung mempengaruhi pembaruan dan pemeliharaan komunitas karang yang ada dan yang akan datang, biodiversitas terumbu karang, dan kemudian untuk ketahanan terumbu karang. Rekrutmen digunakan sebagai pengukuran tidak langsung untuk kesuksesan reproduksi dan merupakan tahap terakhir persebaran larva yang menyebabkan konektivitas populasi. Oleh karena itu, Rekrutmen karang telah dijadikan sebuah indikator kesehatan terumbu karang di daerah yang dilindungi, serta merupakan aspek utama proses pembuatan keputusan yang berkaitan dengan manajemen dan konservasi (Acosta *et al.*, 2011).

Fase rekrut karang merupakan fase yang paling sensitif dengan faktor-faktor lingkungan, salah satunya dengan keberadaan makroalga. Secara umum, makroalga dapat berkompetisi dengan karang melalui mekanisme pertumbuhan yang cepat, penutupan, abrasi, interaksi alelokemis dan mendukung pertumbuhan bakteri yang dapat menyebabkan kematian karang (Venera-Ponton *et al.*, 2011). *Padina* sp merupakan salah satu makroalga yang banyak ditemukan pada lokasi penelitian. Berdasarkan penelitian Birrel *et al.* (2008b), menunjukkan bahwa keberadaan makroalga *Padina* sp dapat mengurangi tingkat penempelan larva karang. Makroalga yang memiliki efek positif pada proses rekrutmen karang adalah *crustose coralline algae* (CCA) dimana CCA memiliki senyawa kimia yang dapat sesuai untuk menunjang penempelan dan metamorfosis dari larva karang (Hunte & Wittenberg, 1992).

Kondisi terumbu karang alami pada lokasi penelitian diperkirakan memiliki kondisi yang rusak dengan persentase penutupan karang hidup <25% (Amarullah *et al.*, 2019). Upaya rehabilitasi karang dilakukan dengan pembuatan terumbu buatan dan transplantasi karang. Upaya tersebut telah dilakukan pada pertengahan tahun 2017 dengan menggunakan terumbu buatan yang berbentuk kubah beton berongga dan bibit karang di sekitar terumbu alami yang masih layak. Bentuk kubah berongga dipilih karena memiliki bentuk yang kokoh dan bobot yang berat sehingga lebih tahan terhadap hantaman arus dan gelombang, memiliki luas permukaan yang tinggi dan kasar sehingga dapat mempercepat terjadinya rekrutmen karang, secara langsung dapat memberikan fungsi ekologis sebagai habitat untuk tinggal dan berlindung bagi ikan, larva ikan, dan berbagai macam invertebrata laut, serta mengandung kalsium yang diharapkan dapat mempercepat pertumbuhan fragmen karang transplantasi maupun rekrut karang alami. Fragmen bibit karang yang digunakan untuk transplantasi kemudian tercatat memiliki kesintasan sebesar 88.89% pada periode Agustus 2017 (Amarullah *et al.*, 2019). Meskipun begitu, sejauh ini belum terdapat informasi mengenai densitas dan keanekaragaman rekrutmen karang pada terumbu buatan tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi densitas dan keanekaragaman rekrutmen karang *Scleractinia* pada terumbu buatan tersebut beserta perbandingannya dengan terumbu alami sehingga dapat dilakukan evaluasi keberhasilan penggunaan terumbu buatan sebagai substrat penempelan bagi larva karang.

## **1.2 Rumusan Permasalahan**

Rumusan permasalahan dari penelitian ini adalah bagaimana densitas dan keanekaragaman rekrutmen juvenil karang pada struktur terumbu buatan kubah beton berongga dan terumbu karang alami serta bagaimana korelasi antara densitas rekrut karang dengan makroalga *Padina* sp dan *crustose coralline algae* (CCA) di sekitar perairan pesisir Desa Labuhan, Sepulu, Bangkalan-Madura.



### 1.3 Batasan Masalah

Batasan Masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Juvenil karang yang diamati adalah koloni karang Scleractinia dengan ukuran <5cm sesuai dengan metode yang digunakan oleh Penin *et al.* (2010), & Trapon *et al.* (2013);
2. Kategori tingkat rekrutmen karang mengacu pada Engelhardt (2000) dalam Suparno & Arlius (2016)
3. Identifikasi juvenil karang hanya dilakukan hingga tingkat genus mengacu kepada Veron (2000) dan Suharsono (2004)
4. Parameter lingkungan yang diukur dalam penelitian ini adalah suhu (°C), salinitas (‰), kecerahan (m), pH, & laju sedimentasi (mg/cm<sup>2</sup>/hari), turbiditas (NTU), kelimpahan CCA (*Crustose Coralline Algae*) & makroalga *Padina* sp., kecepatan arus dan oksigen terlarut.

### 1.4 Tujuan

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui densitas dan keanekaragaman rekrutmen karang pada substrat karang mati terumbu alami dan substrat terumbu buatan model kubah berongga, serta mengukur korelasi antara densitas rekrut karang dengan makroalga *Padina* sp dan *crustose coralline algae* (CCA) di perairan pesisir Desa Labuhan, Sepulu, Bangkalan-Madura.

### 1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi ilmiah mengenai keberhasilan rekrutmen karang di terumbu karang alami dan buatan di pesisir Desa Labuhan, Sepulu, Bangkalan-Madura yang memiliki kekeruhan cukup tinggi, sehingga dapat menjadi referensi atau dapat dijadikan rekomendasi dalam upaya memulihkan kondisi terumbu karang menggunakan terumbu buatan di kemudian hari.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Terumbu Karang**

Terumbu karang merupakan ekosistem air yang umumnya banyak ditemukan di daerah tropis dan subtropis, dimana terumbu karang hanya menutupi 1% dari permukaan bumi (Pabel & Prideaux, 2018). Meskipun hanya menempati 1% bagian dari permukaan bumi, ekosistem terumbu karang memiliki tingkat produktivitas yang. Hal ini didukung dengan kompleksnya susunan habitat di ekosistem terumbu karang sehingga ekosistem terumbu karang dapat memiliki tingkat biodiversitas yang tinggi dan dapat menunjang 25% kehidupan di laut (Moberg & Folke, 1999; Gattuso, *et al.*, 2014; Elliff & Kikuchi, 2016). Terumbu karang merupakan ekosistem yang sangat penting karena memiliki banyak sekali manfaat, baik dalam segi penyediaan, pengaturan, budaya, maupun sebagai penunjang. Aspek jasa penyediaan yang terdapat pada ekosistem terumbu karang adalah penyediaan makanan, material pembangunan, dan obat-obatan, jasa pengaturan berupa perlindungan garis pantai dan kualitas air, jasa budaya seperti untuk religi dan turisme, dan jasa penunjang seperti produktivitas primer dan siklus nutrisi (Gattuso *et al.*, 2014).

Ekosistem terumbu karang sendiri terbentuk dari kalsium karbonat yang umumnya disekresikan oleh hewan atau tumbuhan laut yang dapat mensekresikan kalsium karbonat, umumnya oleh karang hermatipik dan makroalga *encrusting* (Sorokin, 1993; Gattuso, *et al.*, 2014). Kemampuannya untuk membentuk substrat kerasnya sendiri membuat ekosistem terumbu karang dapat bertahan di tempat yang dekat dengan permukaan dan dekat dengan pantai yang menyediakan cahaya dan nutrisi yang cukup untuk menjunjangnya (Clark *et al.*, 1999; Garrison & Ellis, 2015).

Berdasarkan teori Darwin, terbentuknya terumbu karang merupakan sebuah perkembangan dari siklus satu terumbu karang. siklus tersebut membentuk 3 jenis terumbu karang, yang pertama *fringing reef*, yaitu terumbu karang yang terbentuk di

sepanjang garis pantai, *barrier reef*, yaitu terumbu karang yang terbentuk lebih jauh ke lepas pantai setelah laguna, dan *atoll*, yaitu terumbu karang yang membentuk susunan cincin dengan pulau-pulau kecil di permukaannya. Dalam teori Darwin, suatu pulau yang terendam dalam waktu tertentu terpenuhi oleh larva karang yang bersifat planktonik dari pulau karang terdekat. Larva karang tersebut kemudian menempel dan tumbuh di dekat pantai, membentuk *fringing reef*. Semakin bertumbuhnya karang, membuat pulau tersebut tenggelam secara perlahan. Tenggelamnya pulau tersebut memperluas tempat yang dapat diisi oleh karang, akan tetapi, karang-karang yang berada di bagian dalam perlahan mati karena kekurangan oksigen dan nutrisi sehingga membentuk laguna. Karang yang berada di bagian terluarpun akhirnya membentuk *barrier reef*. Tenggelamnya pulau tersebut kemudian terus berlanjut sehingga pulau tersebut tenggelam seutuhnya dan hanya meninggalkan pulau-pulau kecil yang membentuk struktur seperti cincin yang disebut *atoll* (Sorokin, 1993; Morrissey & Sumich, 2012).

## 2.2 Karang

Karang merupakan komponen yang penting di dalam ekosistem terumbu karang (Estradivari *et al.*, 2009). Karang termasuk kedalam filum Cnidaria dengan ciri khas memiliki sel penyengat yang disebut *Cnidoblast* yang terletak di tentakelnya. Cnidaria memiliki tubuh berbentuk radial simetris dan tidak memiliki kepala, akan tetapi hanya memiliki sistem saraf sederhana untuk merespon stimulus sehingga tergolong sebagai hewan yang sederhana. Karang sendiri termasuk kedalam golongan Cnidaria yang tidak memiliki fase medusa dan hanya memiliki fase sedenter yang menempel pada suatu permukaan atau substrat (Garrison & Ellis, 2015).

Karang membentuk terumbu karang dengan mensekresikan struktur skeletal yang terbentuk dari mineral aragonit (Kalsium karbonat) (Garrison & Ellis, 2015). Menurut Garrison & Ellis (2015), karang digolongkan berdasarkan kecepatan deposit kalsium karbonatnya terbagi menjadi dua, yaitu

*hermatypic* dan *ahermatypic*. Karang *hermatypic* merupakan karang tropis yang memiliki simbiosis dengan dinoflagellata yang dapat melakukan fotosintesis. Karena simbiosis ini, karang *hermatypic* dapat ditemukan pada kedalaman 5-10 meter. Simbiosis dengan dinoflagellata ini memberikan oksigen, karbohidrat, dan nutrisi lain untuk mempercepat laju deposit kalsium karbonat karang. Karang *ahermatypic* merupakan karang yang tidak bersimbiosis dengan dinoflagellata sehingga laju deposit kalsium karbonatnya lebih lambat dibandingkan karang *hermatypic*. Karang golongan *ahermatypic* dapat ditemukan di laut yang dingin di bagian iklim temperata.

### 2.2.1 Anatomi karang

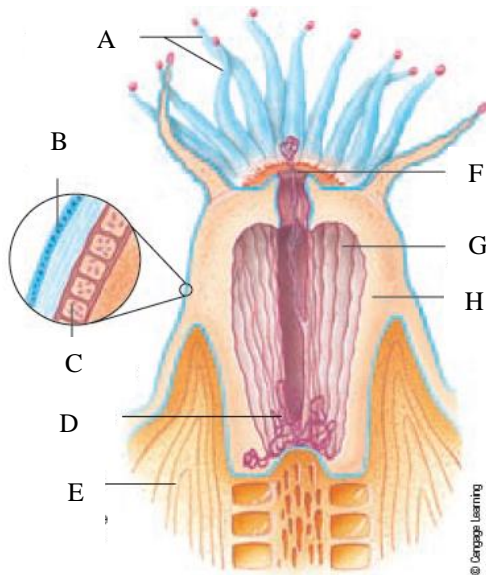
Karang merupakan hewan sederhana yang tersusun atas bagian skeleton kalsium karbonat yang dibungkus oleh jaringan lunak dan menempel pada suatu substrat (Garrison & Ellis, 2015). Jaringan lunak ini disebut juga polip. Polip memiliki tentakel di sekitar mulutnya untuk menangkap makanan. Mulut polip langsung terhubung dengan tenggorokan dan kemudian rongga perut. Didalam rongga perut polip terdapat jaringan semacam usus yang disebut mesentri filamen untuk mencerna makanan (Suharsono, 2008).

Polip terdiri atas 3 bagian lapisan yaitu ektoderma, mesoglea, dan endoderm (Suharsono, 2008).

- a. Bagian ektoderma yaitu lapisan yang terluar yang terdiri atas sel glandula yang berisi mukus dan sel knidoblast yang berisi sel *nematocyst*. *Nematocyst* merupakan sel penyengat yang berfungsi untuk menangkap makanan dan untuk melindungi diri. Sel glandula yang berisi mukus berfungsi untuk menangkap makanan dan untuk membersihkan diri dari sedimen yang melekat.
- b. Lapisan mesoglea merupakan bagian lapisan yang berada ditengah. Lapisan ini berstruktur seperti *jelly* dan terdapat fibril-fibril dan jaringan otot untuk mengatur pergerakan mengembang atau mengekerut.

- c. Lapisan endoderm berada dibagian dalam dan berisi alga simbiosis karang.

Jaringan syaraf karang merupakan jaringan syaraf sederhana yang tersebar baik di lapisan ektoderma, mesoglea, maupun endoderma. Jaringan-jaringan tersebut dikoordinasi oleh sel *junction* yang berfungsi untuk memberikan respon terhadap stimulus baik mekanis maupun kimiawi. Jaringan mesentriial filamen sendiri berfungsi sebagai alat pencernaan yang memiliki enzim untuk mencerna makanan. Selain sebagai alat pencernaan, terdapat organ-organ reproduksi karang yang berada diantara jaringan mesentriial filamen tersebut (Suharsono, 2008).



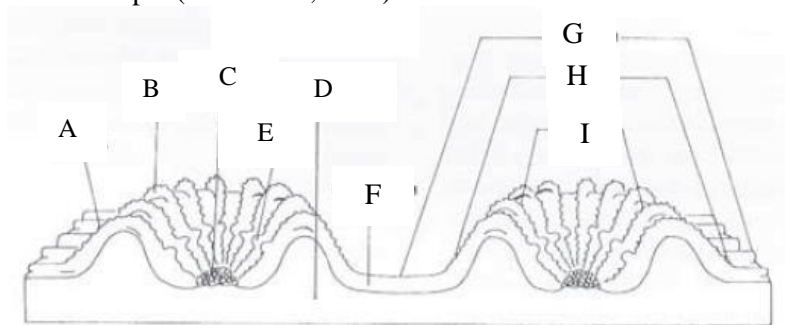
**Gambar 2.1** Struktur anatomi karang (Garrison & Ellis, 2015)

Keterangan gambar: (A: tentakel dengan sel penyengat; B: jaringan epiderma; C: zooxanthellae; D: mesentri filamen; E: skeletal; F: mulut; G: rongga pencernaan; H: *interior partition*).

Struktur skeletal karang terdiri atas beberapa bagian dan dapat digunakan sebagai tanda pengenalan karang karena pemberian

nama karang sendiri dilakukan berdasarkan skeletonnya. Bagian-bagian dari struktur skeletal karang antara lain adalah:

- a. Lempeng dasar merupakan lempeng yang terletak di bagian dasar karang dan memiliki fungsi sebagai fondasi dari septa.
- b. Septa merupakan bagian yang muncul membentuk struktur tegak dan melekat pada epiteka. Septa dapat dibedakan mejadi septa utama, septa kedua, septa ketiga, dan seterusnya.
- c. Epiteka (*Epitheca*) merupakan dinding tempat melekatnya septa
- d. Korallit (*Corallite*) merupakan keseluruhan skeleton dari satu polip karang
- e. Korallum (*Corallum*) merupakan keseluruhan skeleton yang dibentuk oleh keseluruhan polip dalam satu individu atau dalam satu koloni.
- f. Kaliks (*Calyx*) merupakan permukaan dari korallit yang terbuka
- g. Kosta (*Costae*) merupakan bagian dari septa yang tumbuh hingga mencapai dinding luar dari korallit.
- h. *Palli* merupakan lanjutan di bagian dalam dari septa
- i. Kolumela (*Columella*) merupakan struktur yang berada di dasar dan ditengah korallit dan seringnya merupakan lanjutan dari septa (Suharsono, 2008).



**Gambar 2.2** Struktur skeletal karang (Suharsono, 2008)

Keterangan gambar: (A: kosta; B: septa; C: kolumella; D: lempeng dasar; E: *palli*; F: konesteum; G: korallum; H: korallit; I: kaliks).

### 2.2.2 Bentuk pertumbuhan karang

Karang memiliki beberapa bentuk pertumbuhan yang berbeda. Karang akan tumbuh menjadi bentuk-bentuk tertentu yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis karang tersebut. Menurut Timotius (2003) dalam Guntur *et al.*, (2018) terdapat 6 bentuk pertumbuhan karang yang umum dijumpai yaitu:

a. Bercabang (*Branching*)

Karang dengan bentuk bercabang memiliki pertumbuhan koloni dengan arah vertikal dan horizontal, akan tetapi, pertumbuhan arah vertikal lebih dominan sehingga membentuk cabang. Percabangannya dapat berbentuk halus atau tebal. Karang dengan bentuk pertumbuhan bercabang memiliki rasio pertumbuhan yang cepat, mencapai 20 cm per tahunnya.

b. Padat (*Massive*)

Karang dengan bentuk padat memiliki pertumbuhan koloni dengan arah horizontal yang lebih dominan dengan permukaan yang halus dan padat.

c. Lembaran (*Foliose*)

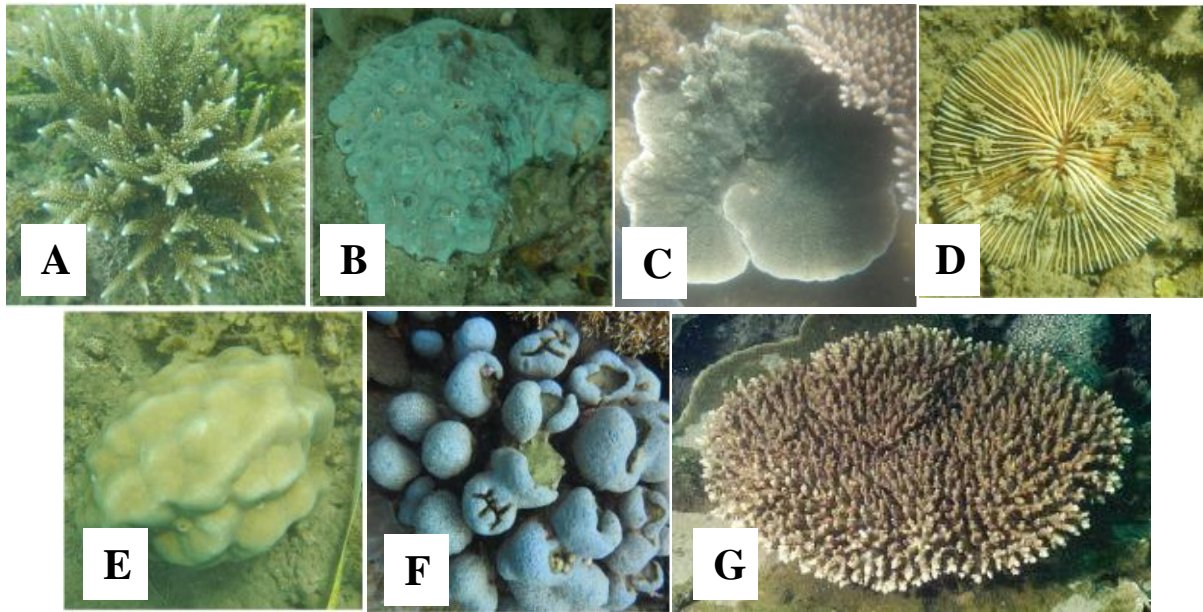
Karang lembaran bentuk pertumbuhannya relatif seperti lembaran daun yang melingkar atau melipat. Meskipun ukurannya kecil, karang lembaran dapat membentuk koloni yang luas.

d. Jamur (*Mushroom*)

Karang dengan bentuk pertumbuhan jamur umumnya berbentuk lingkaran atau oval pipih dengan sekat-sekat yang beralur dari sisi dan mengarah ke tengah atau membentuk berkas yang membagi karang menjadi dua bagian yang sama. Bentuk permukaan karang jamur cembung atau cekung dengan ukuran beragam.

e. Kerak (*Encrusting*)

Karang kerak tumbuh seperti kerak dengan menutupi bagian dasar terumbu. Karang kerak sangat tahan terhadap hempasan ombak. Karang ini memiliki permukaan yang kasar dan berlubang-lubang dengan ukuran kecil.



**Gambar 2.3** Bentuk pertumbuhan karang.

Keterangan gambar: (A: *Branching*; B: *encrusting*; C: *foliose*; D: *mushroom*; E: *massive*; F: *submassive*; G: *tabulate*; (Swierts & Vermeij, 2016; Duckworth *et al.*, 2017)



f. Meja (*Tabulate*)

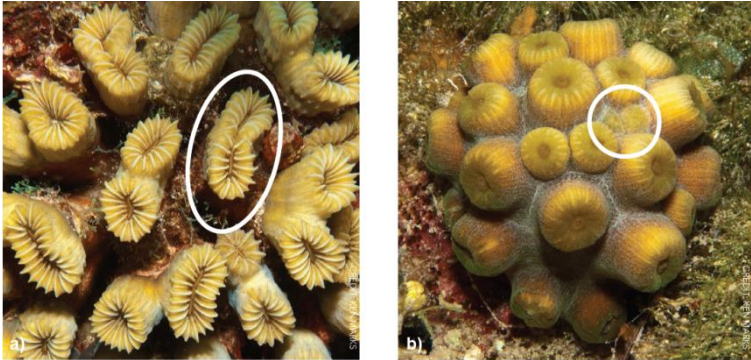
Karang meja tumbuh melebar pada puncaknya sehingga memiliki bentuk yang mirip dengan meja. Permukaannya datar dengan percabangan yang relatif pendek dan merata. Terdapat sebuah batang karang di bagian bawah karang meja sebagai tumpuan.

### 2.2.3 Reproduksi aseksual

Reproduksi aseksual pada karang dapat terjadi secara pertunasan, fragmentasi, *polyp bail out*, dan partenogenesis. Hasil anakan dari reproduksi aseksual akan memiliki genetik yang sama dengan orang tuanya (Sorokin, 1995; Richmond, 1997; Harrison, 2011):

a. Pertunasan (*budding*)

Pertunasan merupakan proses reproduksi yang membentuk koloni karang. pertunasan dapat terbentuk dari pertumbuhan dan pembelahan internal polip yang sudah ada (pertunasan intratentakular) atau perkembangan polip baru dari jaringan yang dekat, atau berada diantara polip yang sudah ada (pertunasan ekstratentakular) (Harrison, 2011).



**Gambar 2.4** Reproduksi aseksual karang tipe pertunasan (Heemsoth, 2014)

### b. Fragmentasi

Fragmentasi terjadi ketika bagian dari tulang dan jaringan karang terpisah atau patah, baik karena ombak yang keras, badai, predasi ikan atau dampak fisik lainnya. Patahan dari karang tersebut kemudian tenggelam, menempel pada dasar substrat dan tumbuh kembali jika keadaan lingkungan mendukung (Richmond, 1997; Richmond *et al.*, 2018).



**Gambar 2.5** Reproduksi aseksual karang tipe fragmentasi (Heemsoth, 2014)

### c. Polyp Bail Out

Jaringan pada karang dapat meninggalkan kerangka karang dan menggunakan ciliannya untuk berenang mencari substrat yang cocok untuk menempel dan kemudian tumbuh dan membentuk kerangkanya sendiri (Richmond, 1997; Harrison, 2011; Richmond *et al.*, 2018).



**Gambar 2.6** Reproduksi aseksual karang tipe *polyp bail out* (Serrano *et al.*, 2018)

#### d. Partenogenesis

Partenogenesis terjadi ketika karang menghasilkan telur yang tidak terbuahi oleh sperma, akan tetapi telur tersebut tetap berkembang menjadi larva dan memiliki genetik yang sama dengan induknya (Richmond, 1997; Harrison, 2011; Richmond *et al.*, 2018).

#### 2.2.4 Reproduksi seksual

Reproduksi seksual karang melibatkan peleburan antara gamet sperma dan ovum yang dibentuk oleh jantan dan betina karang (Richmond *et al.*, 2018). Hasil peleburan ini menghasilkan larva planula yang dapat berenang di air dengan waktu tertentu, untuk kemudian menempel pada suatu substrat yang cocok, dan membentuk koloni baru (Sorokin, 1995). Reproduksi seksual yang dilakukan oleh karang menyebabkan terjadinya kombinasi genetik antara induk jantan dan betina (Richmond, 1997).

Secara umum, reproduksi seksual karang dimulai dari pembentukan gamet (gametogenesis). Setelah gamet terbentuk, kemudian gamet dilepas ke kolom air dalam bentuk gumpalan berisikan sperma dan telur yang terbungkus mukus. Gumpalan gamet tersebut memiliki sifat *buoyancy* positif sehingga dapat mengapung ke bagian atas dan permukaan air. Lapisan mukus pada gumpalan gamet kemudian larut ketika gumpalan gamet tersebut mencapai permukaan air, sehingga melepaskan sperma dan ovum yang berada didalamnya. Fertilisasi antara sperma dan ovum terjadi di permukaan. Setelah fertilisasi terjadi, proses embriogenesis dimulai dengan terjadinya pembelahan menjadi 4 sel, 8 sel, morula, kemudian membentuk sel *convex-concave* (*Prawn chip stage*), kemudian masuk ke tahap *bowl stage*. Embrio kemudian membesar menjadi bentuk bulat. Setelah 36 jam, embrio membentuk *cilia* pada bagian epidermisnya. *Cilia* tersebut bergerak secara bersamaan sehingga dapat menunjang pergerakan larva planula. Larva planula kemudian memanjang dan memulai pencarian substrat yang cocok untuk penempelan dan melakukan metamorfosis menjadi polip juvenil (Jones *et al.*, 2015).

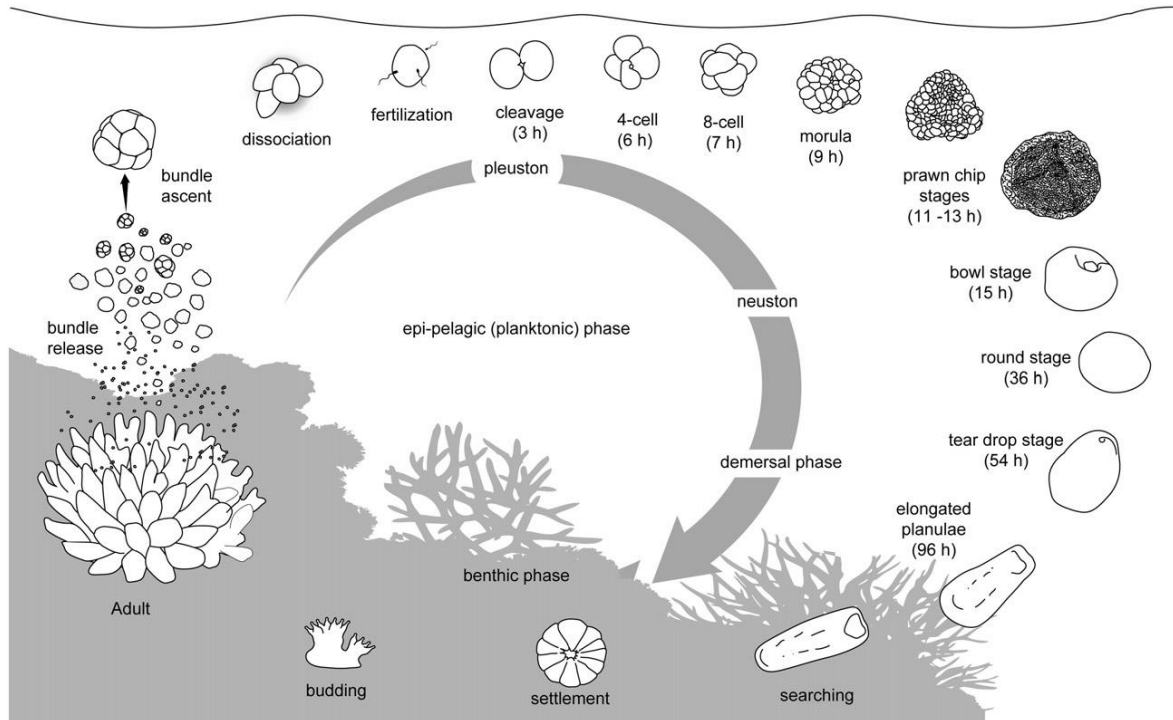
Karang memiliki 2 macam cara memproduksi gamet yang kemudian membagi mereka kedalam dua kelompok berbeda yaitu Gonokoris dan Hermafrodit. Gonokoris merupakan tipe karang yang memproduksi gamet jantan dan betina pada individu yang berbeda, sementara Hermafrodit merupakan tipe karang yang dapat memproduksi gamet jantan dan betina dari individu yang sama. Apabila satu individu karang memproduksi gamet jantan dan betina dalam waktu yang sama, maka karang tersebut adalah karang hermafrodit simultan. Apabila satu individu memproduksi gamet jantan dan betina pada waktu yang berbeda, dimana karang tersebut berfungsi sebagai jantan terlebih dahulu dan kemudian berfungsi sebagai karang betina atau sebaliknya, maka karang tersebut merupakan karang hermafrodit sekuensial (Richmond, 1997).

Cara pertemuan dari gamet jantan dan betina karang terbagi menjadi dua tipe yaitu, *brooding* dan *spawning*. Pada individu karang tipe *brooding*, telur terfertilisasi secara internal, kemudian embrio akan berkembang menjadi planula didalam polip sang induk, sementara pada individu karang tipe *spawning*, telur dan sperma dilepaskan ke kolom air. Fertilisasi dan perkembangan lanjutan embrio kemudian terjadi di kolom air. Perbedaan cara pertemuan gamet ini mempengaruhi pemindahan zooxanthellae, kompetensi larva, persebaran larva, pola distribusi larva, dan lain-lain (Richmond, 1997).

Siklus reproduksi seksual karang dapat dilihat pada Gambar 2.7

### **2.2.5 Pencernaan karang**

Karang bersimbiosis dengan zooxanthellae yang menggunakan energi matahari untuk membentuk energinya. Hingga 95% energi berupa fotosintat yang dihasilkan oleh zooxanthellae dipindahkan ke jaringan polip karang pada kondisi pencahayaan yang tinggi (Sorokin, 1995; Stambler, 2011). Fotosintat zooxanthellae mengandung gliserol, gula, asam organis, asam amino, lipid, dan asam lemak jenuh. Senyawa *Host-Release Factor* (HRF) merupakan senyawa yang dimiliki



**Gambar 2.7** Siklus reproduksi seksual karang (Jones *et al.*, 2015)

oleh karang untuk menstimulasi pelepasan fotosintat tersebut. Senyawa HRF juga mengontrol jumlah fotosintat yang dipindahkan dari zooxanthellae kedalam jaringan polip karang dan peningkatan fiksasi karbon inorganik oleh zooxanthellae. Fiksasi karbon tersebut memanfaatkan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh jaringan polip karang dari proses respirasi. Zooxanthellae juga dapat menggunakan nitrat dan amonium sebagai sumber nitrogennya (Stambler, 2011).

Selain melalui zooxanthellae, karang mampu mendapatkan makanannya sendiri dengan mengkonsumsi senyawa organik terlarut (DOM) dengan bantuan *ciliar apparatus* pada polip dan mengandalkan mekanisme transpor aktif untuk melewati senyawa tersebut melalui membran sel. Karang juga dapat melakukan mekanisme *filter feeding* menggunakan *ciliar apparatus* dan jaring mukus dan merupakan predator dengan kemampuan untuk menangkap, menelan, dan mencerna mangsa yang bergerak. Mangsa karang mengeluarkan jejak asam amino yang dapat memicu reaksi makanan pada polip sehingga karang akan menangkap dan menelan mangsanya. Karang menangkap mangsanya dengan menggunakan tentakel yang dilengkapi dengan knidosil. Mangsa tersebut kemudian akan lumpuh setelah terkena knidae yang beracun. Tentakel karang kemudian mengarahkan mangsa yang sudah lumpuh ke bagian mulutnya. Mangsa karang juga dapat ditangkap dengan menggunakan jaring mukus yang diproduksi oleh polip karang. Karang menelan mangsanya dengan bantuan mukus yang disedot secara bersamaan melalui mulut karang. Jika mangsa tertangkap oleh karang yang memiliki tentakel pendek, maka mulut polip akan memanjang membentuk tabung untuk mengambil mangsa tersebut (Sorokin, 1995).

Saat mulut polip tertutup dan sedang tidak aktif, polip akan mengeluarkan mukus yang tersusun diantara septae atau diantara tentakel-tentakelnya. Karena pergerakan *cilia*, mukus tersebut membentuk filamen jaring mukus yang lengket. *Cilia* karang membentuk arus *ciliar* yang berjalan melewati jaring

mukus tersebut. Jaring mukus kemudian menangkap zooplankton, telur, kista, bakteri, dan pseudoplankton. Senyawa mukus bermuatan positif sementara mangsa karang umumnya bermuatan negatif sehingga terjadi gaya elektrostatis diantara keduanya. Jika sudah terdapat cukup makanan pada jaring mukus, maka jaring mukus tersebut akan ditarik oleh polip menuju mulut polip dan ditelan. Jika partikel yang terdapat pada jaring mukus bukan merupakan makanan, maka jaring mukus akan dilepaskan dari polip oleh arus ciliar yang sama sehingga dapat membersihkan permukaan polip (Sorokin, 1995).

Karang mencerna makanannya dengan cepat menggunakan filamen mesentrial pada bagian mesentrium polip. Bagian ujung filamen mesentrial berisi jaringan epitel *ciliar*, knidosil, dan banyak sel kelenjar. Bagian pangkal filamen mesentrial merupakan zona spesial yang berisi sel fagosit. Zona spesial ini juga merupakan zona eksresi produk sisa yang sudah tidak berguna. Proses pencernaan karang sendiri terjadi dalam 2 tahap. Pertama, makanan diproses oleh enzim protease yang dieksresikan oleh sel kelenjar. pH yang berada disekitar makanan tersebut kemudian turun dari 8 menjadi 7. Protease melarutkan jaringan makanan karang dan menghidrolisis protein menjadi peptida. Secara bersamaan, filamen mesentrial menjadi aktif dan memecahkan makanan tersebut menjadi partikel yang lebih kecil yang kemudian langsung difagositosis oleh sel di filamen mesentrial. Sel tersebut memindahkan partikel makanan ke jaringan polip untuk dicerna. Sisa produk yang tidak dicerna kemudian dikembalikan ke rongga gastral dan dieksresikan (Sorokin, 1995).

### **2.2.6 Asosiasi dengan zooxanthellae**

Karang berasosiasi dengan alga uniseluler fotosintetik dan cyanobacteria. Alga ini sering disebut sebagai zooxanthellae karena berwarna kuning-coklat dan umumnya diklasifikasikan sebagai dinoflagellata dalam genus *Symbiodinium* sp. dengan 8 *clade* yang berbeda (A-H). 6 *clade* dari 8 klad *Symbiodinium* tersebut dapat ditemukan pada karang (A-D, F, & G). Karang

pada umumnya berasosiasi dengan *Symbiodinium clade C* dan beberapa dengan klad A, B, D, F, dan G. Beberapa karang hanya menggunakan satu tipe simbion, akan tetapi ada juga yang menggunakan dua atau lebih tipe simbion secara bersamaan. secara umum, *clade C* merupakan simbiodinium yang paling banyak tersebar, memiliki toleransi temperatur dan salinitas yang luas, dan mendominasi di area tropis. Beberapa tipe *clade D* telah teradaptasi terhadap toleransi tekanan. Simbion *clade B* teradaptasi terhadap kondisi cahaya yang rendah dan air yang lebih dingin di daerah iklim sedang (Stambler, 2011).

Zooxanthellae yang bersimbiosis dengan karang dapat ditemukan dalam bentuk *coccolid* dan membelah secara mitosis. Zooxanthellae tersebut berada didalam vakuola yang berada didalam sel-sel endoderm karang dan disebut sebagai simbiosom. Simbiosom terpisah dari sitoplasma gastrodermal akibat adanya kompleks multi membran. Akan tetapi, zooxanthellae dapat mengalami perubahan morfologi ketika mengalami tekanan. Perubahan tersebut antara lain adalah penurunan ukuran isi sel, peningkatan vakuolisasi, dan susunan tilakoidnya menjadi berantakan dan longgar. Pada kondisi temperatur yang tinggi ( $\geq 34^{\circ}\text{C}$ ), sel mengalami apoptosis, mengecil, dan organel sitoplasmiknya tergabung menjadi satu membentuk organel yang besar. Tahap terakhir apoptosis terjadi ketika membran sel zooxanthellae pecah (Stambler, 2011). Karang mendapatkan zooxanthellae melalui induknya atau dari lingkungan sekitarnya. Individu hasil reproduksi aseksual karang (fragmentasi) pada umumnya sudah memiliki simbiionnya sendiri. Pada reproduksi seksual, terdapat 2 kemungkinan perolehan zooxanthellae karang, yaitu simbion diturunkan oleh induk secara langsung dan proses ini disebut transmisi vertikal, *maternal* atau *closed-system*. Kemungkinan kedua adalah individu baru harus memperoleh zooxanthellae baru dari air sekitarnya atau dari host sekunder dan proses ini disebut transmisi horizontal. Transmisi horizontal terjadi ketika individu baru mendapatkan zooxanthellae yang dapat bertahan hidup setelah dilepaskan oleh individu lain pada



periode waktu yang pendek atau panjang karena terjadi predasi atau infeksi pada individu lain tersebut (Stambler, 2011).

Mekanisme pengontrolan populasi zooxanthellae dapat dilakukan sebelum proses mitosis, sesudah proses mitosis dan sebelum atau sesudah pembelahan terjadi. Mekanisme sebelum proses mitosis terjadi secara, (a.) bergantung densitas, dimana terjadi timbal balik negatif dengan pembatasan ruang atau nutrisi pada zooxanthellae, (b.) faktor karang yang menyebabkan pelepasan fotosintat dari simbion, dan (c.) efek karang yang dapat menghalangi siklus sel simbion. Mekanisme sesudah proses mitosis termasuk didalamnya adalah degradasi atau pengeluaran simbion atau pembelahan karang (Stambler, 2011).

Karang mengontrol densitas zooxanthellae melalui pengeluaran sel zooxanthellae yang sedang membelah. Saat zooxanthellae membelah karena kondisi lingkungan yang mendukung seperti peningkatan cahaya, temperatur, dan nutrisi, maka akan terjadi peningkatan laju pengeluaran zooxanthellae. Ketika karang mendapatkan nutrisinya dari DOM atau dari mangsanya, maka zooxanthellae akan menyimpan hasil fotosintatnya dan menggunakannya untuk meningkatkan biomasnya sehingga akan menyebabkan peningkatan densitas zooxanthellae. Pengeluaran zooxanthellae dari jaringan karang kemudian menjadi mekanisme untuk membatasi pertumbuhan zooxanthellae tersebut (Stambler, 2011).

Karang dapat kehilangan zooxanthellaenya melalui mekanisme yang berbeda-beda:

1. degradasi *in situ*: a. kematian sel yang terprogram (PCD), b. Apoptosis/ nekrosis yang disebabkan oleh proses biokimia dan patologis yang terpicu secara abnormal, c. Kematian dan degradasi akibat efek tekanan, d. dibunuh oleh sel karang,
2. eksositosis,
3. dilepaskan didalam sel karang yang terpisah dari mesoglea,
4. pelepasan simbion yang terdegradasi ke dalam sel karang yang mengalami apoptosis

5. nekrosis sel karang yang kemudian mengakibatkan pelepasan zooxanthellae

Zooxanthellae dilepas ke rongga gastrovaskular dan kemudian dilepaskan ke air disekitarnya (Stambler, 2011).

### **2.2.7 Faktor pembatas pertumbuhan karang**

Selama masa hidup individu karang, terdapat beberapa faktor lingkungan yang dapat membatasi aktivitas pertumbuhannya (Osinga *et al.*, 2011; Heemsoth, 2014; Giyanto *et al.*, 2017). Faktor-faktor lingkungan tersebut diantaranya adalah :

#### **a. Suhu**

Karang dapat hidup dengan suhu perairan yang berkisar antara 16°C-30°C, dengan suhu perairan ideal berkisar diantara 27°C-29°C (Heemsoth, 2014; Giyanto *et al.*, 2017). Karang akan tumbuh dengan baik apabila temperatur perairan disekitarnya bersifat stabil dan berada dalam kisaran temperatur idealnya (Heemsoth, 2014). Perubahan temperatur secara drastis dapat menyebabkan kematian karang, hingga hancurnya ekosistem terumbu karang (Hubbard, 1997).

#### **b. Salinitas**

Salinitas air yang cocok dihuni bagi karang berkisar antara 23-42 ppt, dengan salinitas air idealnya berkisar antara 30-36 ppt (Heemsoth, 2014; Giyanto *et al.*, 2017). Salinitas yang rendah mengurangi kecepatan kalsifikasi karang, sementara salinitas tinggi meningkatkan kecepatan kalsifikasi karang (Malone & Dodd, 1967). Karang memiliki sifat stenohaline dimana karang hanya dapat mentoleransi sedikit perubahan salinitas air. perubahan dari salinitas air dapat mempengaruhi fotosintesis zooxanthellae, reproduksi dan respirasi karang (Kuanui *et al.*, 2015). Selain itu, air dengan salinitas yang rendah dapat membunuh karang (Giyanto *et al.*, 2017).

#### **c. Cahaya**

Cahaya dapat mempengaruhi karang, tepatnya pada zooxanthellae yang bersimbiosis dengan karang. Karang memiliki struktur skeleton yang dapat memfasilitasi masuknya cahaya yang

dibutuhkan oleh zooxanthellae (Osinga *et al.*, 2011). Zooxanthellae membutuhkan cahaya untuk melakukan fotosintesis (Schutter *et al.*, 2012; Giyanto *et al.*, 2017). Fotosintesis yang dilakukan oleh zooxanthellae akan menghasilkan oksigen dan senyawa organik yang dapat disalurkan pada karang dan digunakan untuk pertumbuhan karang tersebut (Schutter *et al.*, 2012). Pencahayaan yang cukup secara tidak langsung dapat meningkatkan pertumbuhan skeletal dari karang (Osinga *et al.*, 2011).

d. Arus dan sirkulasi air laut

Karang merupakan hewan yang tidak dapat menginduksi terjadinya pergerakan air, sehingga karang harus bergantung pada arus air disekitarnya untuk mendapatkan karbon inorganik, gas-gas terlarut, nutrisi inorganik, dan makanan. Karang membutuhkan gas-gas terlarut dan nutrisi inorganik untuk menunjang fotosintesis yang dilakukan oleh zooxanthellae dan respirasi karang. Selain itu, arus juga berperan dalam membersihkan endapan atau sedimen yang melekat pada karang. Akan tetapi, arus dan ombak yang terlalu kencang dapat mengganggu pertumbuhan karang akibat berkurangnya kemampuan karang dalam menangkap mangsa dan perubahan bentuk (deformasi) (Osinga *et al.*, 2011; Heemsoth. 2014; Giyanto *et al.*, 2017).

e. Sedimen

Sedimentasi terjadi oleh adanya partikel-partikel sedimen yang tersuspensi di kolom air (Heemsoth, 2014). Partikel-partikel tersebut menyebabkan peningkatan turbiditas pada air sehingga cahaya matahari tidak mampu untuk masuk lebih jauh kedalam kolom air. Kurangnya cahaya yang masuk kedalam air dapat mempengaruhi proses fotosintesis yang dilakukan oleh zooxanthellae yang bersimbiosis dengan karang (Rogers, 1990; Heemsoth, 2014; Junjie *et al.*, 2014). Keberadaan sedimen yang berlebihan dapat menutupi polip karang, dan jika berlangsung dalam jangka waktu yang lama, dapat menyebabkan kematian (Giyanto *et al.*, 2017). Meskipun karang memiliki mekanisme

aktif dan pasif untuk menghilangkan sedimen dari polipnya, hal ini akan memperlambat pertumbuhannya. Kondisi ini terjadi karena karang menggunakan energinya untuk menghilangkan sedimen pada polipnya dan tidak untuk melakukan pertumbuhan (Rogers, 1990; Risk & Edinger, 2011; Junjie *et al.*, 2014).

f. pH

Ocean acidification merupakan sebuah peristiwa yang dipicu oleh kenaikan level CO<sub>2</sub> di dalam laut, yang kemudian menyebabkan penurunan pH air laut (Anthony *et al.*, 2008). Peristiwa ocean acidification ini menyebabkan terjadinya penurunan konsentrasi ion-ion karbonat dan kejenuhan mineral aragonit yang dibutuhkan dalam pertumbuhan skeletal karang (Anthony *et al.*, 2008; Wijgerde *et al.*, 2014; Mollica *et al.*, 2017). Selain menurunkan kemampuan pertumbuhan skeletal karang, kenaikan level CO<sub>2</sub> juga dapat memicu terjadinya peristiwa bleaching, yang jika berlangsung lama dapat mengakibatkan kematian karang (Anthony *et al.*, 2008; Giyanto *et al.*, 2017).

g. Kompetisi

Ruang yang cukup dan sesuai untuk pertumbuhan karang tersedia dalam jumlah yang terbatas di dalam laut. Hal ini kemudian menimbulkan kompetisi perebutan ruang yang terjadi antar sesama karang, karang dengan alga, maupun karang dengan hewan invertebrata sesil lainnya (Chadwick & Morrow, 2011). Kompetisi ruang merupakan proses yang umum terjadi dan dapat menentukan persebaran dan kelimpahan karang. Selain itu, Kompetisi juga dapat menyebabkan penurunan kecepatan pertumbuhan karang, fekunditas karang, dan kesintasan larva karang (Tanner, 1995; Chadwick & Morrow, 2011).

h. Predator

Beberapa organisme di laut merupakan organisme pemakan karang (*Corallivore*) dan diantaranya termasuk dalam golongan ikan (Tetraodontidae, Balistidae, Monacanthidae, Gobiidae, Labridae, Blennidae, Scaridae, Pomacanthidae, Pomacentridae, Zanclidae, Chatodontidae), cacing (Annelida), Arthropoda (Crustacea) echinodermata (Asteroidea, Echinoidea),

dan moluska (Robertson, 1970; Rotjan & Lewis, 2008). Predasi oleh *Corallivore* akan menurunkan kecepatan pertumbuhan dan fekunditas karang. Hal ini terjadi karena energi yang tersedia digunakan oleh karang untuk meregenerasi jaringannya yang rusak (Rotjan & Lewis, 2008; Shantz *et al.*, 2011). Ledakan populasi *Corallivores* dapat menyebabkan penurunan penutupan karang yang drastis (Bessey *et al.*, 2018).

### 2.3 Rekrutmen Karang

Rekrutmen merupakan suatu proses dimana individu baru masuk kedalam suatu populasi dan terjadi ketika larva karang menempel, mengalami metamorfosis, menjadi polip, dan juvenil karang tersebut bertahan hidup dalam periode waktu tertentu. Penempelan larva karang merupakan proses dimana larva karang memilih tempat untuk menempel pada substrat dan selesai ketika larva mengalami metamorfosis. Metamorfosis larva karang terjadi ketika larva dapat mensintesis dan mensekresikan kalsium karbonat untuk menyusun skeletalnya seperti septa dan koralit. Saat polip karang sudah berkembang dengan sempurna, maka karang tersebut sudah dapat disebut rekrut karang (Acosta *et al.*, 2011). Masa penempelan larva karang merupakan masa yang sulit untuk diamati dikarenakan tingkat kematian yang cukup tinggi hingga mencapai 99% selama bulan pertama, sehingga rekrut yang cocok untuk diamati secara *in situ* merupakan rekrut juvenil dengan ukuran diameter 10-50 mm (Penin *et al.*, 2010; Traçon *et al.*, 2013). Juvenil karang yang sudah tumbuh sehingga mencapai ukuran yang memungkinkan untuk diamati didalam air dapat dihitung secara efektif sebagai individu baru pada suatu populasi *in situ* (Acosta *et al.*, 2011). Juvenil karang merupakan penghitungan langsung dari rekrutmen karang. Berdasarkan ukuran tersebut dan perkiraan pertumbuhan karang secara umum, rekrut juvenil karang tersebut umumnya akan berumur 2-7 tahun dan belum melakukan reproduksi seksual (Penin *et al.*, 2010; Acosta *et al.*, 2011; Traçon *et al.*, 2013).

Rekrutmen karang telah diakui sebagai proses penting dalam menentukan kesehatan dan ketahanan terumbu karang,

terutama ketika terumbu karang rentan terhadap ancaman atau kerusakan. Rekrutmen karang juga merupakan faktor kunci untuk mengetahui dinamika populasi dan struktur komunitas dalam suatu ekosistem terumbu karang (Ho & Dai, 2014). Rekrutmen karang menggantikan keberadaan karang-karang yang sudah mati sehingga dapat memelihara kondisi terumbu karang dan dapat mengembalikan kondisi terumbu karang yang sudah rusak (Birrel *et al.*, 2005; Jouval *et al.*, 2019). Rekrutmen karang yang merupakan hasil reproduksi seksual bergantung pada tiga fase: 1. Ketersediaan larva, 2. Penempelan, dan 3. Pasca penempelan (Abelson *et al.*, 2005; Ritson-Williams *et al.*, 2009). Ketersediaan larva karang umumnya berasal dari individu dewasa lokal dengan jarak yang tidak jauh. Fase penempelan larva terjadi ketika larva karang merespon isyarat lingkungan. Umumnya isyarat tersebut difasilitasi oleh *Cructose Coralline Algae* (Ritson-Williams *et al.*, 2009; Vermeij *et al.*, 2011).

Karang yang baru saja menempel akan rentan terhadap faktor lingkungan pada fase pasca penempelan. Ketiga fase tersebut merupakan fase yang sangat krusial dalam rekrutmen karang untuk memelihara atau mengembalikan ekosistem terumbu karang (Ritson-Williams *et al.*, 2009). Faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi ketiga fase tersebut antara lain adalah sedimentasi (Birrel *et al.*, 2008; Fabricius, 2005; Ritson-Williams *et al.*, 2009), intensitas cahaya (Fabricius, 2005; Salinas-de-Leon *et al.*, 2013; Jouval *et al.*, 2019), kompetisi (Birrel *et al.*, 2008; Fabricius, 2005), arus laut (Harii & Kayanne, 2003) temperatur (Harii & Kayanne, 2003; Salinas-de-Leon *et al.*, 2013), ketersediaan substrat (Acosta *et al.*, 2011), sinyal kimiawi (Vermeij, 2005; Acosta *et al.*, 2011; Salinas-de-Leon *et al.*, 2013), eutrofikasi (Fabricius, 2005;), polusi (Fabricius, 2005; Ritson-Williams *et al.*, 2009), kedalaman (Ho & Dai, 2014), predasi (Ritson-Williams *et al.*, 2009; Salinas-de-Leon *et al.*, 2013; Jouval *et al.*, 2019), dan Salinitas (Ritson-Williams *et al.*, 2009)

Sedimen dapat menutupi permukaan karang dan membunuhnya (Salinas-de-Leon *et al.*, 2013; Perez III *et al.*, 2014; Duckworth *et al.*, 2017). Sedimen yang tersuspensi dapat menurunkan kadar pencahayaan, membatasi terjadinya fotosintesis, dan dapat menurunkan laju pertumbuhan karang. Larva karang tidak akan menempel pada permukaan substrat yang tertutupi sedimen (Salinas-de-Leon *et al.*, 2013; Perez III *et al.*, 2014; Jouval *et al.*, 2019). Ketika turbiditas suatu kolom air tinggi, maka radiasi sinar matahari kedalam kolom air akan berkurang sehingga akan menghambat proses fotosintesis Zooxanthellae pada karang. Hal ini kemudian dapat menghambat karang dewasa untuk melakukan reproduksi (Ho & Dai, 2014; Duckworth *et al.*, 2017). Aktivitas grazing herbivora dan sedimentasi merupakan faktor utama yang mencegah terjadinya penempelan dan mengancam kelangsungan hidup larva karang pada sisi atas substrat (Hunte & Wittenberg, 1992; Penin *et al.*, 2011; Ho & Dai, 2014). Akan tetapi, apabila intensitas cahaya rendah, maka larva karang akan cenderung menempel pada sisi atas substrat. Larva karang akan menempel pada tempat dengan pencahayaan yang cukup untuk menunjang perkembangannya (Risk & Edinger, 2011; Ho & Dai, 2014)

Senyawa kimia yang dikeluarkan oleh CCA merupakan senyawa yang dibutuhkan oleh larva karang sebagai sinyal untuk melakukan penempelan pada substrat (Vermeij *et al.*, 2011; Perez III *et al.*, 2014; Jouval *et al.*, 2019). Selain CCA, biofilm juga mengeluarkan senyawa sebagai sinyal bagi larva karang untuk menempel, bermetamorfosis dan tumbuh menjadi polip benthik (Hunte & Wittenberg, 1992; Perez III *et al.*, 2014; Jouval *et al.*, 2019). Tanpa ada senyawa sinyal tersebut, periode larva karang akan bertambah lama sehingga *post-settlement fitness* akan berkurang (Ritson-Williams *et al.*, 2009).

Temperatur yang menurun dapat memperlambat waktu spawning dari karang (Ho & Dai, 2014; Jouval *et al.*, 2019). Temperatur juga dapat membunuh larva dan mengurangi zooxanthellae pada larva karang (Ritson-Williams *et al.*, 2009).

Selain temperatur, fase bulan dan angin juga dapat mempengaruhi spawning karang dewasa (Jouval *et al.*, 2019).

Kompetisi ruang dengan bentos lain untuk tempat penempelan dan pertumbuhan organisme lain yang cepat juga dapat menekan rekrutmen karang (Ho & Dai, 2014; Jouval *et al.*, 2019). Peningkatan tingkat rekrutmen karang dapat terlihat ketika kompetisi dengan algae menurun. Hal ini terjadi ketika aktifitas herbivori dapat mengontrol perkembangan algae yang menghambat rekrutmen melalui kompetisi ruang dan penutupan rekrut karang oleh akumulasi sedimen (Ritson-Williams *et al.*, 2009; Jouval *et al.*, 2019). beberapa organisme bentos seperti ascidian, briozoa, polichaeta, dan teritip dapat berkembang biak secara cepat dan dapat dengan mudah menempati ruang kosong yang tersedia sehingga mencegah larva karang untuk menempel (Maida *et al.*, 1995; Ho & Dai, 2014; Ritson-Williams *et al.*, 2009). Selain itu, organisme tersebut dapat memperlambat perkembangan karang pada saat karang sudah menempel hingga menyebabkan kematian (Ritson-Williams *et al.*, 2009; Penin *et al.*, 2011).

Persebaran larva dipengaruhi oleh arus laut karena masih bersifat planktonik dan hanya dapat sedikit berenang (Harii & Kayanne, 2003; Jouval *et al.*, 2019). Polusi, eutrofikasi, dan sedimentasi dapat memiliki efek yang sangat jelek bagi rekrut karang (Jouval *et al.*, 2019). Kondisi eutrofik dapat menunjang pertumbuhan alga dan organisme invertebrata lain sehingga dapat dengan cepat menempati ruang kosong yang ada pada terumbu karang. Selain itu, kondisi eutrofik juga dapat mengurangi tutupan CCA pada suatu substrat. (Hunte & Wittenberg, 1992).

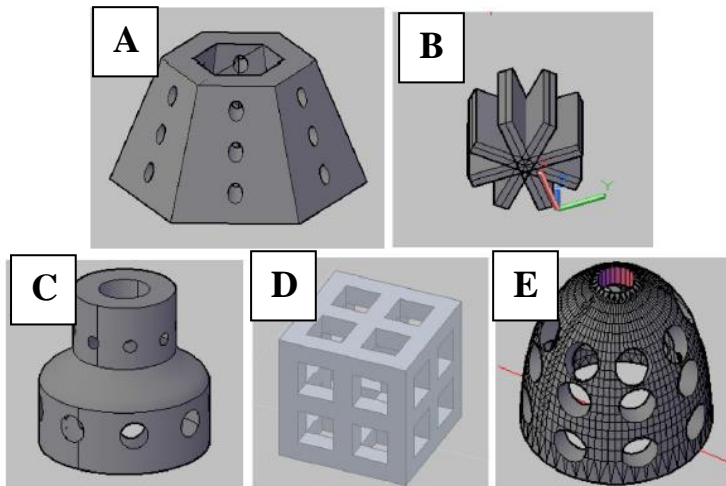
Perubahan salinitas dapat mengurangi fekunditas karang dewasa sehingga ketersediaan larva menjadi terbatas. Selain itu, kurangnya kadar salinitas selama tahapan larva dapat mengurangi laju pertumbuhan rekrut karang setelah menempel dan dapat menyebabkan kematian. Kurangnya kadar salinitas juga dapat mempertahankan larva pada tahap planktonik dan menyebabkan larva bergerak secara aktif untuk menghindari kondisi tersebut.



Penggunaan energi yang terlalu banyak kemudian akan menyebabkan kematian larva sebelum larva sempat menempel pada substrat (Ritson-Williams *et al.*, 2009).

#### 2.4 Terumbu Buatan

Terumbu buatan merupakan struktur yang secara sengaja ditenggelamkan di dasar laut untuk meniru fungsi dari terumbu karang alami seperti melindungi, meregenerasi, mengkonsentrasikan, dan atau meningkatkan populasi dari sumberdaya laut. Pembentukan terumbu buatan perlu memperhatikan beberapa aspek seperti lokasi penempatan terumbu buatan, material terumbu buatan, tipe struktur terumbu, dimensi terumbu buatan, penempatan terumbu buatan, dan waktu peletakan terumbu buatan. Pembentukan terumbu karang juga harus sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai (Fabi *et al.*, 2015).



**Gambar 2.8** Macam-macam struktur terumbu buatan.

Keterangan gambar: A: *hexareef*; B: *star reef*; C: *bottle reef*; D: *cube reef*; E: *seadome* (Fauzi *et al.*, 2017).

Secara umum, terumbu buatan memiliki beragam fungsi, yaitu untuk melindungi habitat yang sensitif terhadap aktivitas penangkapan ikan, merestorasi habitat yang rusak, mitigasi kehilangan habitat, memperkaya biodiversitas, meningkatkan populasi organisme akuatik dengan menyediakan perlindungan bagi juvenil dan individu dewasa, menyediakan substrat baru untuk alga dan moluska, meningkatkan perikanan profesional dan rekreasional, menciptakan area yang cocok untuk aktivitas menyelam, menyediakan jalan tengah untuk pengelolaan aktivitas pesisir dan mengurangi konflik, serta untuk aktivitas penelitian dan edukasi (Fabi *et al.*, 2015). Struktur terumbu buatan juga dapat berfungsi sebagai substrat stabil yang dapat memfasilitasi rekrutmen larva karang atau dapat berfungsi sebagai substrat untuk transplantasi karang pada area yang rusak akibat tekanan alami dan antropogenik (Ng *et al.*, 2016). Fungsi secara khusus terumbu buatan terbagi menjadi 5 kategori berdasarkan tujuan pembentukannya, yaitu:

a. Terumbu buatan proteksi

Fungsi utama terumbu ini adalah sebagai alat pencegahan perikanan dan sebagai alat proteksi bagi sumberdaya laut, lingkungan dan aktivitas yang diijinkan. Terumbu buatan ini digunakan untuk melindungi habitat kepentingan ekologi atau kepentingan tahap pertumbuhan tertentu sumber daya laut dari perikanan ilegal yang dapat merusak habitat dan sumberdayanya.

b. Terumbu buatan produksi

Secara keseluruhan, tujuan dari terumbu buatan produksi adalah untuk meningkatkan produktivitas lingkungan akuatik dan menunjang penggunaan sumberdaya yang berkelanjutan. Terumbu buatan ini dapat meningkatkan biomasa dan menyediakan berbagai macam bahan konsumsi bagi masyarakat dengan meningkatkan kelangsungan hidup, pertumbuhan, dan reproduksi sumberdaya. Terumbu buatan produksi memulihkan persediaan sumberdaya yang berkurang dengan menyediakan tempat berlindung dan makanan bagi juvenil. Terumbu buatan produksi juga meningkatkan perikanan lokal dengan

mengumpulkan populasi ikan permanen pada wilayah perikanan. Selain itu, terumbu buatan produksi dapat mengubah sumberdaya yang diambil untuk perikanan, kompensasi untuk mengurangi usaha perikanan, dan untuk menunjang perkembangan alga dan akuakultur moluska.

c. Terumbu buatan rekreasional

Terumbu buatan rekreasional dibentuk untuk menciptakan wilayah yang memadai untuk perikanan rekreasional dan penyelaman untuk menarik turis pada area yang kekurangan habitat bebatuan alami, mengurangi tekanan antropogenik pada habitat alami yang sensitif, dan untuk mengurangi konflik antara perikanan produksi dan rekreasional di wilayah pesisir.

d. Terumbu buatan restorasi

Terumbu buatan restorasi dapat digunakan untuk mengembalikan habitat dan ekosistem yang rusak ketika pencegahan untuk mengurangi tekanan antropogenik yang menyebabkan kerusakan sudah tidak efektif, dan sebagai kompensasi berkurangnya habitat yang penting secara ekologi yang disebabkan oleh aktivitas manusia.

e. Terumbu buatan serbaguna

Terumbu buatan serbaguna memiliki lebih dari satu tujuan konstruksi dan dibangun untuk memaksimalkan fungsi dari terumbu buatan dan mengurangi biaya produksinya (Fabi *et al.*, 2015).

## **2.5 Kondisi Terumbu Karang di Perairan Sepulu**

Perairan Sepulu terletak didekat Desa Labuhan, Pulau Madura. Banyak dari penduduk Desa Labuhan berprofesi sebagai nelayan yang menangkap ikan pada Perairan Sepulu. Profesi ini merupakan profesi turun temurun yang ditekuni oleh masyarakat setempat. Ikan dapat dengan mudah ditemukan dari jarak 1 mil hingga 3 mil ke tengah laut. Hal ini kemudian banyak menarik para nelayan dari luar untuk ikut mengambil ikan di perairan sepulu, akan tetapi banyak dari nelayan luar tersebut menggunakan alat pancing yang tidak ramah lingkungan dan

merusak terumbu karang di lingkungan Perairan Sepulu (Faisol, 2017).

Kondisi terumbu alami pada Perairan Sepulu termasuk kedalam kategori rusak dimana angka penutupan karang alami yang ditemukan hanya mencapai 10-25%. Karang alami yang ditemukan tersebut memiliki bentuk pertumbuhan *massive*, *encrusting*, *submassive*, dan *branching*. Karang-karang tersebut berasal dari genus *Porites*, *Montastrea*, *Goniastrea*, *Favia*, *Favites*, *Acropora*, dan *Turbinaria* (Amarullah *et al.*, 2019).



**Gambar 2.9** Karang alami di pesisir sepulu (Amarullah *et al.*, 2019)

Masyarakat setempat mengetahui bahwa terumbu karang merupakan tempat tinggal bagi ikan yang mereka konsumsi. Hal ini kemudian mendorong masyarakat setempat untuk ikut andil dalam melestarikan terumbu karang di Perairan Sepulu. Salah satu upaya yang dilakukan untuk melestarikan terumbu karang di Perairan Sepulu adalah dengan meletakkan terumbu buatan untuk kemudian dijadikan sebagai media transplantasi karang alami yang berada disekitar lokasi penempatan terumbu buatan tersebut.

Peletakkan terumbu buatan diharapkan dapat memperbaiki kondisi terumbu pada Perairan Sepulu (Faisol, 2017).

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Waktu & Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama bulan September 2019 hingga Januari 2020. Lokasi pengamatan adalah kawasan perairan Desa Labuhan, Sepulu, Madura. Pengamatan rekrutmen karang dilakukan pada substrat karang mati pada terumbu karang alami dan substrat terumbu buatan model kubah beton berongga. Identifikasi rekrutmen karang dan analisis data dilakukan di Laboratorium Ekologi, Departemen Biologi, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.



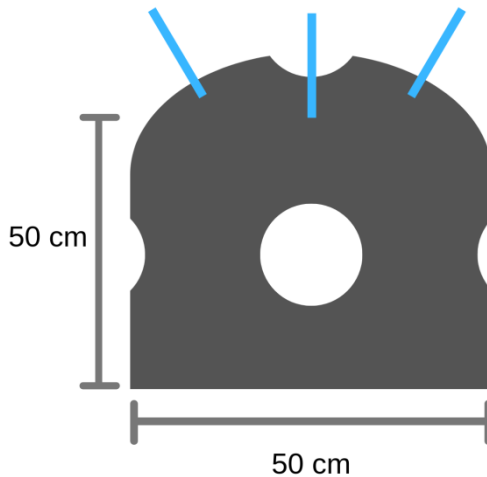
**Gambar 3.1** Lokasi pengambilan data

### 3.2 Prosedur Kerja

#### 3.2.1 Studi pendahuluan

Studi pendahuluan dilakukan untuk mengumpulkan data mengenai lokasi penelitian dan studi pustaka yang berkaitan

sebagai acuan dalam pengambilan data. Waktu dan Lokasi pengambilan data rekrut karang kemudian ditentukan. Lokasi yang sudah ditentukan kemudian ditandai dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS). Lokasi yang ditandai memiliki koordinat S 06°52'57.80" dan E 112°58'56.80". Setelah penandaan lokasi, kemudian dilakukan pemilihan 10 terumbu buatan karang secara acak dan 10 titik substrat karang mati pada lokasi terumbu karang alami disekitar terumbu buatan untuk rekrutmen karang pada lokasi tersebut.



**Gambar 3.2** Ilustrasi terumbu buatan model beton berongga.

### 3.2.2 Pengambilan data parameter lingkungan abiotik dan biotik

#### a. Temperatur

Pengambilan data temperatur dilakukan dengan menggunakan termometer alkohol PYREX® sesuai dengan lokasi terumbu buatan dan terumbu karang alami. Termometer dicelupkan 30 cm kedalam kolom air kemudian suhunya dicatat (English *et al.*, 1997).

### b. Kecerahan

Pengambilan data kecerahan dilakukan dengan menggunakan *Secchi disc*. Lempengan *Secchi disc* yang berwarna hitam dan putih dipasangkan dengan tali tambang dan pemberat dan kemudian diturunkan secara perlahan-lahan kedalam kolom air pada lokasi penelitian hingga warna pada lempengan *Secchi disc* tidak dapat terlihat dengan jelas perbedaannya. Tali tambang kemudian ditarik lagi ke atas dan diukur panjang tali yang basah terkena air mengikuti batasan ukuran meter yang telah tersedia. Panjang tali yang terukur merupakan angka kecerahan dari kolom air lokasi penelitian (English *et al.*, 1997).

### c. Laju sedimentasi

Pengambilan data laju sedimentasi dilakukan dengan menggunakan *sediment trap* dengan 2 replikasi. *Sediment trap* dilengkapi dengan 3 buah pipa paralon dengan diameter 5 cm dan tinggi 12 cm. Bagian bawah dari *sediment trap* tersebut kemudian diberi penutup. *Sediment trap* diletakkan 20 cm diatas dasar substrat lokasi penelitian dan dibiarkan selama 1 bulan. Setelah satu bulan, bagian atas *sediment trap* ditutup dan diambil dari lokasi. Sedimen yang berada didalam *sediment trap* diambil, dibungkus dengan aluminium foil yang sebelumnya sudah ditimbang, dan dikeringkan menggunakan oven Memmert UN 55 dengan suhu 60°C selama 24 Jam. Sedimen yang sudah kering kemudian ditimbang untuk diketahui berat keringnya (English *et al.*, 1997). Laju sedimentasi kemudian dianalisis dengan menggunakan rumus berdasarkan Prasetyo *et al.*, (2018):

$$LS = \frac{BS}{H \times (\pi \times r^2)}$$

Dengan,

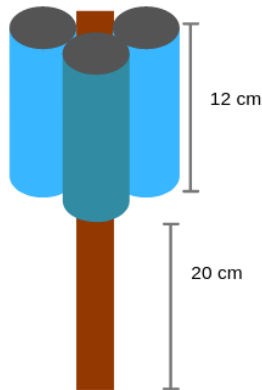
LS = laju sedimentasi

BS = Berat kering sedimen

H = jumlah hari

r = jari-jari lingkaran pipa paralon





**Gambar 3.3** Ilustrasi *sediment trap*.

#### d. Turbiditas

Uji turbiditas air sampel dilakukan dengan menggunakan Turbidimeter Lovibond TB 300 IR dan diujikan di Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan Departemen Teknik Lingkungan, ITS. Air sampel diletakkan kedalam wadah yang bersih untuk kemudian dituangkan kedalam vial bersih sebanyak  $\pm 12$  ml hingga batas pada vial. Vial kemudian ditutup dan dibersihkan dengan kain pembersih. Turbidimeter dinyalakan dan vial diletakkan pada chamber sampel dengan posisi yang benar, sesuai dengan tanda segitiga pada chamber. Setelah diletakkan, chamber sampel ditutup. Tombol read kemudian ditekan dan hasil pengukuran muncul pada layar dalam satuan NTU. Setelah selesai, vial dibersihkan (Tintometer GmbH, 2015).

#### e. Kecepatan arus

Uji kecepatan arus dilakukan dengan pendekatan metode Lagrange menggunakan pelampung bola duga. Pergerakan arus diamati dengan menggunakan bola duga. Bola duga secara perlahan dijatuhkan ke permukaan air laut hingga bola duga hanyut dan tali pada bola duga menegang ( $\pm 10$  m). Kemudian dilakukan pencatatan waktu yang ditempuh bola duga hingga tali

menegang. Kecepatan arus yang didapatkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$V = \frac{S}{t}$$

Dimana

V = Kecepatan arus m/s

S = jarak tempuh bola duga

t = waktu tempuh bola duga

(Sudarto *et al.*, 2013; Hernomo *et al.*, 2015; Subono *et al.*, 2017).

#### **f. pH**

Pengambilan data pH air laut dilakukan dengan menggunakan pH meter Oakton pH5+ pH6+ ion 6+. Pertama, pH meter dikalibrasi sebelum digunakan. pH meter dinyalakan dengan menekan tombol On/Off. Setelah semua indikator pada layar menyala untuk beberapa saat, tombol Mode ditekan. Cairan pH buffer dituangkan kedalam botol kontainer yang bersih kemudian probe dicelupkan kedalam cairan tersebut dan tombol CAL ditekan. Setelah kalibrasi selesai, tombol ENTER ditekan. Probe kemudian dibersihkan dan kemudian dicelupkan kedalam air sampel untuk diuji pH-nya. Hasil pengukuran pH ditampilkan di layar (Eutech, 2011).

#### **g. Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*)**

Pengambilan data oksigen terlarut dilakukan dengan menggunakan Digital Oxygen Meter model DO-5510. Sebelum dilakukan pengukuran, DO Meter dikalibrasi terlebih dahulu. Oxygen probe dilepas dari soketnya dan tombol power ditekan. Mode O2 kemudian dipilih dan tombol Zero ditekan sehingga tampil nilai kosong di layar. Probe kemudian dipasangkan lagi pada soketnya dan ditunggu 5 menit hingga nilai pada layar stabil ( $\pm 20.9$ ). Setelah dikalibrasi, mode DO dipilih dan probe dicelupkan ke air sampel yang sudah disiapkan sebelumnya. Hasil pengukuran DO kemudian dilihat pada layar (Lutron, 2006).

## **h. Salinitas**

Pengambilan data salinitas dilakukan dengan menggunakan Master Refractometer Atago. Air sampel diambil menggunakan botol sampel, kemudian diteteskan 1-2 tetes air pada prisma refractometer. Hasil pengukuran salinitas kemudian dilihat melalui eyepiece dalam kondisi pancahayaan yang cukup sehingga kadar salinitas dapat terbaca. Kadar salinitas yang ditemukan kemudian dicatat (English *et al.*, 1997).

## **i. Densitas makroalga dan CCA (*Crustose Coralline Algae*)**

Pengambilan data penutupan makroalga dan CCA dilakukan pada permukaan terumbu karang buatan berbentuk kubah berongga dan substrat karang mati pada terumbu karang alami, masing-masing dengan luas 1m<sup>2</sup>. Pengambilan data makroalga dan CCA pada terumbu buatan dilakukan dengan mencatat jenis dan luas penutupan makroalga dan CCA yang menempel pada 10 terumbu buatan, sementara pada terumbu alami dilakukan dengan menggunakan grid 50x50 cm sedemikian rupa sehingga membentuk luasan 1x1 m<sup>2</sup> (Setiyawan, 2012; Das *et al.*, 2018). Penutupan makroalga dan CCA didokumentasikan dengan kamera Canon G16 dan *housing* merek Meikon®.

Kerapatan makroalga dan CCA kemudian dihitung dengan menggunakan rumus:

$$D = \frac{ni}{A}$$

Dimana

D = Kerapatan alga

ni = Tegakan/koloni

A = Luas area yang diamati (Farito *et al.*, 2018)

### **3.2.3 Pengambilan data rekrutmen karang**

Pengambilan data rekrutmen karang dilakukan pada terumbu karang buatan berbentuk kubah berongga dengan luas permukaan 1 m<sup>2</sup> dan terumbu karang alami dengan substrat karang mati. Rekrut karang yang dicatat merupakan juvenil karang dengan diameter <5 cm sesuai dengan metode yang

digunakan oleh Penin *et al.* (2010), & Trapon *et al.* (2013). Pengambilan data rekrut karang pada terumbu buatan dilakukan dengan mencatat semua rekrut karang juvenil yang menempel pada 10 terumbu buatan, sementara pada substrat karang mati dilakukan dengan menggunakan grid 50x50 cm sedemikian rupa sehingga membentuk luasan 1x1 m<sup>2</sup> dengan replikasi sebanyak 10 kali (English *et al.*, 1997). Rekrut juvenil didokumentasikan dengan kamera Canon G16 dan *housing* merek Meikon®. Pengukuran rekrut juvenil dilakukan menggunakan kaliper, kemudian diamati orientasinya, dicatat genus dan jumlahnya.

### 3.2.4 Identifikasi rekrut karang

Identifikasi rekrut karang dilakukan setelah data rekrut karang selesai diambil. Rekrut karang diidentifikasi mengacu kepada literatur dari Veron (2000) dan Suharsono (2004) di Laboratorium Ekologi, Departemen Biologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

### 3.2.5 Analisis data

#### a. Pengamatan rekrutmen karang

Penelitian ini merupakan penelitian dengan analisis deskriptif kuantitatif. Semua rekrut yang berada pada terumbu buatan dan pada kuadrat yang sudah ditentukan di substrat karang mati dihitung kelimpahan dan densitasnya untuk menentukan tingkat rekrutmen karang. Densitas rekrutmen karang kemudian dihitung menggunakan rumus berdasarkan Lubis *et al.* (2018):

$$N = \frac{ni}{a}$$

Dengan

N = Densitas karang

ni = jumlah karang

a = luas area pengamatan

Hasil perhitungan densitas rekrutmen karang kemudian dikategorikan berdasarkan tabel tingkat rekrutmen karang menurut Engelhardt (2000) dalam Suparno & Arlius (2016):

**Tabel 3.1** Tingkat rekrutmen karang

Tingkat rekrutmen karang	Densitas karang pada luasan 1x1 m <sup>2</sup>
Sangat rendah	0-2.5
Rendah	2.6-5
Sedang	5.1-7.5
Tinggi	7.6-10
Sangat tinggi	>10

**b. Perbedaan densitas rekrutmen karang pada terumbu karang alami dan terumbu buatan**

Perbedaan densitas rekrutmen karang Scleractinia pada substrat karang mati dan terumbu buatan dianalisis menggunakan uji statistik. Sebelum dilakukan uji, data akan dianalisis normalitasnya menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov (Liliefors) / Shapiro-Wilk. Bila data terdistribusi normal, maka perbedaan densitas akan diuji dengan uji T dua sampel bebas (*independent sample t-test*) sedangkan bila data tidak terdistribusi normal maka akan diuji dengan uji Wilcoxon-Mann Whitney. Semua uji statistik dilakukan pada  $\alpha = 0,05$ .

**c. Korelasi antara makroalga & CCA dengan rekrut karang**

Korelasi antara makroalga *Padina* sp. dan CCA dengan rekrut karang pada substrat karang mati dan substrat terumbu buatan dianalisis menggunakan uji statistik. Sebelum dilakukan uji, akan dianalisis normalitas datanya dengan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov (Liliefors) / Shapiro-Wilk. Apabila data yang ditemukan normal, maka uji korelasi dilakukan dengan uji Pearson. Apabila data yang ditemukan tidak terdistribusi secara normal, maka uji yang dilakukan adalah uji Spearman. Semua uji statistik dilakukan dengan  $\alpha = 0.05$ .

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengukuran Faktor Abiotik dan Biotik

#### 4.1.1 Faktor Abiotik

Pengukuran faktor abiotik yang dilakukan pada penelitian ini merupakan pengukuran suhu, salinitas, kecerahan, turbiditas, laju sedimentasi, pH, oksigen terlarut, kecepatan arus. Hasil pengukuran faktor abiotik dapat dilihat pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1** Hasil pengukuran faktor abiotik

Parameter	Satuan	Kisaran	Rata-rata	BM	Literatur
Suhu	°C	28-31	28,5	28-30	27-29 <sup>[1]</sup>
Salinitas	‰	33-34	33,75	33-34	30-36 <sup>[1]</sup>
Kecerahan*	M	1,1-1,3	1,2	>5	>5 <sup>[2]</sup>
Turbiditas*	NTU	3,58-25,8	12,03	<5	<3 <sup>[3]</sup>
Laju sedimentasi*	Mg cm <sup>-2</sup> d	14,9-89,9	52,1		<10 <sup>[4]</sup>
pH		8,11-8,37	8,25	7-8,5	7-8,4 <sup>[5]</sup>
DO	mg/L	7,5-8,5	8,13	>5	>5 <sup>[6]</sup>
Kecepatan arus	cm/s	7,3-7,8	7,5		

Keterangan: DO: Dissolved oxygen; NTU: Nephelometric Turbidity Unit; BM: Baku Mutu berdasarkan KEPMEN LH No. 51 lampiran 3 tahun 2004; [1]: Giyanto., *et al.*, 2017; [2]: Mcfield & Kramer, 2007; [3] Cooper *et al.*, 2008; [4]: Perez III., *et al.*, 2014; [5]: Abbot & Marohasy, 2017; [6]: Ferrara *et al.*, 2017. Parameter yang diikuti tanda \* berarti tidak memenuhi baku mutu yang disyaratkan.

Hasil pengukuran suhu yang dilakukan pada penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan KEPMEN LH No. 51 Tahun 2004 Lampiran III tentang Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut. Suhu yang terukur adalah 28,5°C dan suhu yang dianjurkan oleh KEPMEN LH No. 51 Tahun 2004 untuk biota karang adalah 28°C-30°C. Temperatur dapat menjadi salah satu faktor

lingkungan yang dapat membatasi pertumbuhan dan perkembangan karang. Temperatur yang menurun dapat memperlambat waktu spawning dari karang (Ho & Dai, 2014; Jouval *et al.*, 2019). Peningkatan temperatur juga dapat membunuh larva dan mengurangi zooxanthellae pada larva karang (Ritson-Williams *et al.*, 2009).

Randal & Szmant (2009), menyatakan bahwa kenaikan suhu yang terjadi secara terus menerus dapat menyebabkan *bleaching* pada karang dewasa, hilangnya zooxanthellae, dan kemudian kematian jaringan. Meningkatnya temperatur juga dapat menyebabkan terjadinya produksi superoksida radikal oleh zooxanthellae. Kenaikan suhu memberikan efek negatif terhadap embriogenesis, perkembangan larva, kesintasan larva, dan mengurangi penempelan larva. Penelitian yang dilakukan oleh Randal & Szmant (2009), juga menunjukkan bahwa pada awalnya suhu tinggi dapat mempercepat perkembangan larva, akan tetapi, jika suhu tinggi tersebut berlangsung dalam jangka waktu yang panjang, maka akan ditemukan kecacatan pada larva, kematian larva dengan jumlah yang lebih banyak dibandingkan dengan larva pada suhu normal, dan menurunnya penempelan karang pada suhu tinggi.

Nozawa & Harrison (2007), menyatakan bahwa paparan suhu tinggi dalam waktu singkat akan memberikan efek positif terhadap larva karang dalam proses penempelan dan juga metamorfosis akan tetapi suhu tinggi yang berlangsung secara lama akan menyebabkan kematian karang pasca penempelan. Akan tetapi, Nozawa & Harrison (2007), juga menyatakan bahwa efek positif dari kenaikan suhu akan menutupi efek negatifnya karena di alam terjadi fluktuasi temperatur air laut secara alami, dan penempelan larva dapat di dukung dengan terjadinya kenaikan temperatur dalam waktu yang singkat.

Pengukuran salinitas yang dilakukan menunjukkan bahwa salinitas air laut pada lokasi penelitian masih sesuai dengan dengan KEPMEN LH Tahun 2004 No. 51 Lampiran III tentang Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut. Salinitas yang

terukur adalah 33,5‰ dan salinitas yang dianjurkan oleh KEPMEN LH no. 51 Tahun 2004 untuk biota karang adalah 33‰-34‰. Karang merupakan hewan tidak dapat melakukan osmoregulasi sehingga salinitas menjadi faktor pembatas yang dapat sangat mempengaruhi hidup karang (Chui & Ang Jr., 2015).

Kurangnya kadar salinitas selama tahapan larva dapat mengurangi laju pertumbuhan rekrut karang setelah menempel dan dapat menyebabkan kematian. Kurangnya kadar salinitas menyebabkan larva bergerak secara aktif untuk menghindari kondisi tersebut. Penggunaan energi yang terlalu banyak kemudian akan menyebabkan kematian larva sebelum larva sempat menempel pada substrat (Ritson-Williams *et al.*, 2009). Selain itu, menurut Vermeij *et al.* (2006), kondisi salinitas yang tidak sesuai dapat mengurangi kecepatan fase pra-penempelan larva karang, dan mengubah preferensi substrat penempelan. Kecenderungan larva untuk berenang menjauhi kadar salinitas yang rendah juga menghabiskan sumber energi yang dimiliki larva karang sehingga larva yang menempel akan memiliki ukuran tubuh yang kecil karena kekurangan energi untuk melakukan metamorfosis dan kalsifikasi. Hal ini kemudian akan mempersulit karang untuk melakukan tahap perkembangan selanjutnya (Vermeij *et al.*, 2006).

Penelitian dari Scott *et al.*, (2012), menunjukkan bahwa menurunnya kadar salinitas pada air akan menghalangi terjadinya fertilisasi. Sementara penelitian dari Chui & Ang Jr. (2015), menyatakan bahwa fertilisasi masih dapat terjadi pada kadar salinitas yang rendah akan tetapi larva yang terbentuk akan berkembang secara tidak normal. Penelitian lanjutan dari Chui & Ang Jr. (2017), juga menunjukkan bahwa menurunnya salinitas dapat mengurangi kesuksesan penempelan larva karang pada substrat, mengurangi ukuran dari rekrut karang yang sukses menempel pada kondisi tersebut. Berkurangnya ukuran pada rekrut karang yang sukses menempel pada kondisi salinitas tinggi menunjukkan kesesuaian dengan hipotesis bahwa energi yang dimiliki oleh rekrut telah digunakan untuk menghindari kondisi



stress lingkungan daripada digunakan untuk bermetamorfosis dan kalsifikasi (Chui & Ang Jr., 2017).

Hasil pengukuran kecerahan yang dilakukan menunjukkan hasil yang tidak sesuai dengan parameter KEPMEN LH No. 51 tahun 2004 Lampiran III tentang Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut. Hasil pengukuran yang didapatkan adalah 1,2 m, sementara kecerahan yang dianjurkan adalah >5m. Hal ini dapat terjadi karena pada waktu pengambilan sampel, terjadi ombak yang tinggi dan angin kencang. Larcombe *et al.* (1995) & Bachtiar *et al.* (2010), menyatakan bahwa angin dan ombak mengatur terjadinya resuspensi partikel sedimen. Jika pada kolom air laut terdapat banyak partikel yang tersuspensi, maka akan membatasi penetrasi cahaya kedalam kolom air laut sehingga ketersediaan cahaya berkurang (Jouval, *et al.*, 2019). Penelitian Mundy & Babcock (1998), menunjukkan bahwa intensitas cahaya menentukan pola rekrutmen karang. Spesies karang yang umum ditemukan pada *reef flat/crest* akan cenderung lebih banyak menempel pada substrat jika berada dalam kondisi pencahayaan yang tinggi, sementara spesies karang yang umum ditemukan pada reef slope akan cenderung lebih banyak menempel pada substrat dalam kondisi intensitas cahaya yang rendah (Mundy & Babcock, 1998).

Hasil pengukuran turbiditas yang dilakukan menunjukkan hasil yang tidak sesuai dengan parameter KEPMEN LH No. 51 tahun 2004 Lampiran III tentang Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut. Hasil yang terukur pada penelitian ini adalah 12,03 NTU, sementara turbiditas yang dianjurkan adalah <5 NTU. Tingginya nilai turbiditas yang didapatkan diduga karena pada saat pengambilan data, cukup sering terjadi angin kencang dan ombak yang tinggi sehingga mempengaruhi turbiditas pada lokasi penelitian (Orpin *et al.*, 2004). Sementara untuk rentang turbiditas yang terukur adalah 3,58-25,8 NTU yang menunjukkan bahwa adanya fluktuasi pada saat pengambilan data. Dengan demikian, hasil nilai turbiditas yang didapatkan dari lokasi tidak selalu melebihi batas parameter yang telah ditentukan dikarenakan

adanya pengaruh dari ombak dan angin pada lokasi penelitian pada saat pengambilan data sampel (Orpin *et al.*, 2004). Turbiditas merupakan efek dari adanya partikel-partikel yang tersuspensi pada kolom air sehingga kemudian mengurangi ketersediaan cahaya. Kurangnya cahaya pada kolom air akan menyebabkan pengurangan aktifitas fotosintesis pada zooxanthellae karang sehingga mengurangi keseimbangan energi dan mengurangi pertumbuhan karang. Turbiditas ekstrim juga berpotensi menyebabkan *coral bleaching* karena terjadi disosiasi simbiosis karang-alga (Bessel-Browne, *et al.*, 2017). Ho & Dai (2014), menyebutkan juga bahwa intensitas cahaya dapat menentukan preferensi penempelan larva karang, dimana larva karang akan menempel pada substrat dengan kondisi pencahayaan yang optimum.

Laju sedimentasi yang terukur pada lokasi penelitian adalah sebesar  $52,1 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$  dan sudah berada diatas batas laju sedimentasi yang normal yaitu  $<10 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Perez III., *et al.*, 2014). Laju sedimentasi merupakan proses pengendapan sedimen yang disebabkan oleh sifat mekanis materi yang tersuspensi di air atau proses pembentukan dan akumulasi sedimen pada lapisan permukaan dasar perairan (Bates & Jackson 1980 *dalam* Partini, 2009). Bila mengacu pada kategori laju sedimentasi berdasarkan Pastorok & Bilyard 1985 *dalam* Partini (2009), rentang laju sedimentasi yang ditemukan berada dalam 2 macam rentang kategori yaitu sedang-berat dan *catastrophic* (membahayakan) dimana rentang laju sedimentasi yang ditemukan adalah  $14,9\text{-}89,9 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Tinggi rendahnya sedimentasi yang terjadi dapat dipengaruhi oleh aliran sungai, erosi pantai, atau aktivitas pengerukan (Rogers, 1990; Fabricius, 2005). Menurut Partini (2009), Laju sedimentasi dapat dipengaruhi oleh materi yang tersuspensi, sifat fisik air laut, dan kondisi hidrologi lingkungan sekitar. Tingginya laju sedimentasi yang terjadi pada lokasi penelitian diduga disebabkan oleh karakteristik perairan pada lokasi penelitian yang sering terjadi ombak dan angin yang kencang (Perez III *et al.*, 2014). Sedimen yang mengendap pada

substrat akan mencegah larva karang untuk menempel pada substrat tersebut (Salinas de Leon *et al.*, 2013; Perez III., *et al.*, 2014). Selain itu, sedimen yang mengendap pada permukaan karang dapat membunuh karang tersebut dengan menghalangi pengambilan makan karang maupun fotosintesis zooxanthellae karang. Meskipun karang memiliki berbagai macam mekanisme untuk membersihkan sedimen dari permukaannya, hal tersebut membutuhkan energi, sehingga dapat membatasi pertumbuhan karang (Duckworth *et al.*, 2017). Menurut Rogers *et al.* (1990), sedimentasi dapat mempengaruhi distribusi dari larva karang. Sedimentasi yang tinggi akan mereduksi spesies karang yang sensitif terhadap sedimen, sementara spesies karang yang toleran akan bertahan (Fabricius, 2005).

Pengukuran pH yang dilakukan menunjukkan hasil yang sesuai dengan parameter KEPMEN LH No. 51 tahun 2004 Lampiran III tentang Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut. Hasil pengukuran pH yang didapatkan adalah 8,25 sementara pH yang dianjurkan adalah 7-8,5. Penelitian dari Albright *et al.* (2010), menunjukkan bahwa apabila pH di laut menurun maka akan terjadi penurunan kesuksesan fertilisasi, penurunan terjadinya penempelan larva karang, dan penurunan laju pertumbuhan larva karang yang sudah menempel. Penurunan kesuksesan fertilisasi yang terjadi akan menyebabkan penurunan ketersediaan larva. Penurunan laju pertumbuhan pada karang juvenil juga akan meningkatkan kemungkinan kematian juvenil (Albright *et al.*, 2010). Penelitian dari Viyakarn *et al.* (2015), menunjukkan bahwa penurunan pH memperlambat proses penempelan dan metamorfosis larva karang. Larva karang kemudian tidak dapat menyelesaikan proses metamorfosis pada pH yang rendah. Penelitian dari Caroselli *et al.* (2018), juga menyebutkan bahwa menurunnya pH juga dapat mempengaruhi perkembangan embrio karang sehingga dapat menurunkan efisiensi rekrutmen karang.

Pengukuran oksigen terlarut pada lokasi penelitian menunjukkan bahwa hasil yang didapat masih berada pada rentang parameter KEPMEN LH No. 51 tahun 2004 Lampiran III

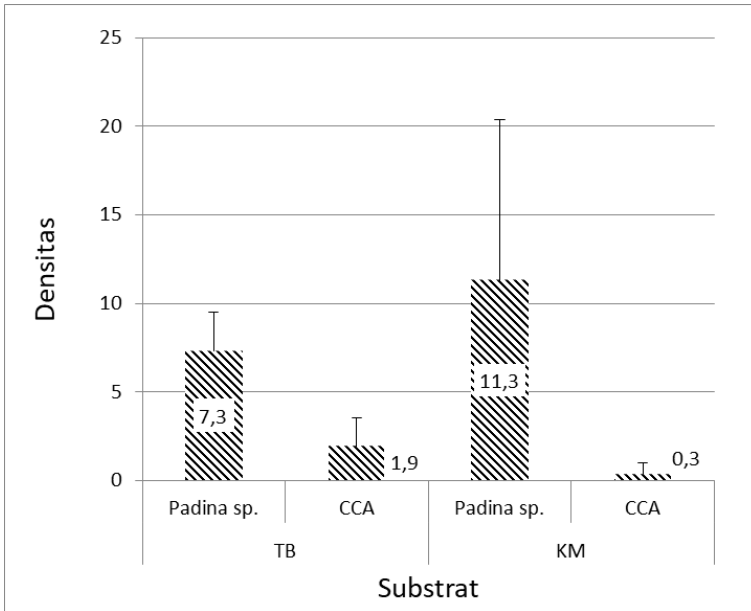
tentang Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut. Hasil pengukuran oksigen terlarut yang didapatkan adalah 8,13 mg/L dengan kadar oksigen terlarut yang dianjurkan adalah >5 mg/L. Karang membutuhkan oksigen untuk melakukan respirasi (Wijgerde, *et al.*, 2014). Penelitian dari Haas *et al.* (2014), menunjukkan bahwa ketika karang dihadapkan pada kondisi oksigen terlarut yang kurang (Hipoksia) maka akan terjadi kerusakan jaringan pada polip karang dan jika berlangsung lama, karang akan mati. Sementara Wijgerde *et al.* (2014), menyatakan bahwa ketika oksigen terlalu banyak didalam air (Hiperoksia), maka jaringan karang akan mengalami keracunan oksigen karena oksigen hasil fotosintesis zooxanthellae tidak dilepas ke lingkungan yang kemudian akan menyebabkan kerusakan sel karang. Terlalu banyak oksigen didalam jaringan karang juga akan mendorong karang untuk menggunakan energinya untuk memproduksi senyawa antioksidan dari pada untuk proses kalsifikasi (Wijgerde, *et al.*, 2014).

Hasil pengukuran kecepatan arus pada lokasi penelitian adalah 7,5 cm/s. Arus diperlukan bagi karang untuk membawa oksigen dan nutrisi (Fitriadi *et al.*, 2017). Persebaran larva karang yang bersifat planktonik selain dipengaruhi oleh sifat biologisnya, juga dipengaruhi oleh adanya arus laut sebelum larva karang tersebut melakukan penempelan (Harii & Kayanne, 2003). Penelitian dari Harii & Kayanne (2002), menemukan bahwa kecepatan arus dapat menentukan penempelan larva pada spesies yang berbeda. Dalam penelitiannya disebutkan bahwa Larva *Heliopora coerulea* lebih banyak melakukan penempelan ketika berada pada arus dengan kecepatan 1,6 cm/s dan 4,4 cm/s, sementara larva *Pocillopora damicornis* lebih bervariasi dan dapat menempel ketika berada pada arus 1,6 cm/s, 4,4 cm/s dan 9,8 cm/s. Penelitian sebelumnya dari Sari (2019), juga menunjukkan bahwa arus dengan kecepatan 19 cm/s dapat mendukung rekrutmen karang pada terumbu buatan dengan komposisi berbeda di Pantai Pasir Putih, Sepulu. Dengan

demikian, maka arus dengan kecepatan 7,5 cm/s pada lokasi penelitian diduga juga mendukung terjadinya rekrutmen karang.

#### 4.1.2 Faktor Biotik

Pengamatan faktor biotik yang dilakukan merupakan pengamatan densitas dari makroalga *Padina* sp dan *Crustose Coralline Algae* (CCA). Pengamatan dilakukan di kedua substrat yaitu substrat terumbu buatan (TB) dan karang mati (KM). Hasil pengamatan densitas makroalga *Padina* sp dan CCA dapat dilihat pada Gambar 4.1



**Gambar 4.1** Hasil perhitungan densitas makroalga

Keterangan: TB: Terumbu Buatan; KM: Karang Mati

Hasil perhitungan rata-rata densitas makroalga *Padina* sp. pada substrat TB dan KM adalah 7,3 tegakan/m<sup>2</sup> dan 11,3 tegakan/m<sup>2</sup>, sementara untuk CCA masing-masing adalah 1,9 koloni/m<sup>2</sup> dan 0,3 koloni/m<sup>2</sup>. Secara umum, makroalga dapat

berkompetisi dengan karang melalui mekanisme pertumbuhan yang cepat, penutupan, abrasi, interaksi alelokemis dan mendukung pertumbuhan bakteri yang dapat menyebabkan kematian karang. Makroalga juga dapat menempati ruang, sehingga karang tidak dapat melakukan penempelan sehingga terjadi pengurangan rekrut karang (Venera-Ponton *et al.*, 2011). Makroalga dapat meningkatkan sedimentasi lokal sehingga dapat menurunkan laju pertumbuhan karang, menurunkan kesempatan karang untuk mendapatkan makanan, mengurangi penyerapan nutrisi terlarut, dan mengurangi efisiensi pertukaran oksigen (Box & Mumby, 2007). Padatnya makroalga pada suatu lokasi dapat disebabkan oleh hilangnya herbivora dan terjadinya eutrofikasi (Vermeij *et al.*, 2011). Herbivora mengontrol keberadaan makroalga, sementara terjadinya eutrofikasi dan meningkatnya nutrisi dapat menunjang pertumbuhan makroalga (Edmunds & Carpenter, 2001; Vermeij *et al.*, 2011).

Penelitian yang dilakukan oleh Birrel *et al.* (2008b), menunjukkan bahwa keberadaan makroalga *Padina* sp dapat mengurangi tingkat penempelan larva karang. Makroalga dapat mempengaruhi penempelan larva karang melalui penggunaan senyawa kimia. *Padina* sp memiliki metabolit sekunder yang dapat menangkal herbivor dan juga bersifat sitotoksik (Birrel *et al.*, 2008b). Penelitian dari Sin *et al.* (2012), juga mendukung penelitian Birrel *et al.* (2008b), dimana *Padina* sp dapat menyebabkan terjadinya keterlambatan penempelan larva karang pada substrat yang tersedia. Birrel *et al.* (2008a), dalam jurnal lainnya menyatakan bahwa *Padina* sp juga memiliki potensi untuk menutupi karang karena memiliki bentuk *foliose*. Lain halnya dengan CCA, dimana Perez III *et al.* (2014), menyebutkan bahwa penempelan larva karang bergantung terhadap adanya CCA.

CCA dapat mensekresikan senyawa kimia berupa *glycosaminoglycan*, derivat *bromotyrosine*, *glycoglycerolipids* dan polisakarida yang dapat menjadi sinyal bagi larva karang untuk melakukan penempelan pada substrat (Vermeij *et al.*, 2011;

Tebben *et al.*, 2015). CCA dan kombinasi biofilm bakteri menyediakan permukaan dengan sinyal kimiawi yang sesuai untuk menunjang penempelan larva karang dan juga metamorfosisnya (Hunte & Wittenberg, 1992).

Ketika *overfishing*, sedimentasi dan polusi meningkat pada suatu wilayah, maka hal ini akan menunjang *non-calcareous* alga untuk tumbuh akan tetapi sebaliknya, kelimpahan CCA akan menurun (Vermeij *et al.*, 2011). Pada lokasi penelitian, kecerahan dan turbiditas pada kolom air yang terukur melebihi ambang batas yang dianjurkan oleh KEPMEN LH no. 51 Tahun 2004 Lampiran III tentang baku mutu air laut, begitu pula laju sedimentasi yang berada diatas ambang batas laju sedimentasi yang dianjurkan. Hasil pengamatan densitas *Padina* sp dan CCA juga menunjukkan bahwa pada kedua substrat, *Padina* sp memiliki densitas yang lebih tinggi daripada CCA. Lebih tingginya densitas *Padina* sp dari pada CCA diduga disebabkan oleh tingginya sedimentasi dan turbiditas pada lokasi penelitian jika mengacu kepada pernyataan Vermeij *et al.*, (2011). *Padina* sp merupakan jenis alga yang sering ditemui di laut, dan dapat menempati substrat berpasir atau substrat batuan (Farito *et al.*, 2018). *Padina* sp juga memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi sehingga dapat menempati lokasi yang terkena ombak secara langsung maupun terlindungi dari ombak. Selain itu, *Padina* sp dapat mentolerir keadaan kering dan memiliki tingkat pertumbuhan yang tinggi apabila kondisi lingkungannya mendukung (Ira, 2018).

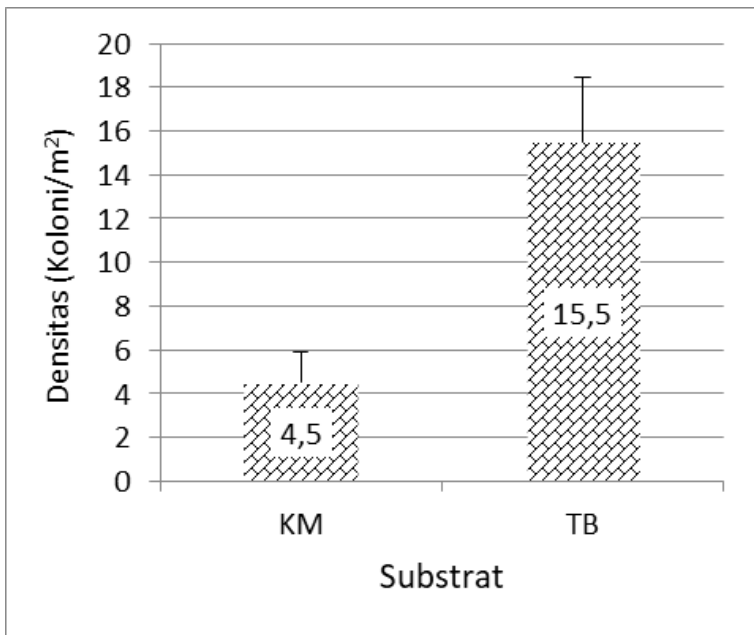
Hasil perhitungan densitas juga menunjukkan adanya perbedaan perbandingan densitas *Padina* sp dan CCA pada substrat terumbu buatan dan karang mati. Menurut Vermeij *et al.* (2011), meningkatnya densitas CCA dapat menurunkan kelimpahan makroalga dalam kuadrat yang sama. Pada substrat TB, densitas makroalga lebih sedikit dibandingkan pada substrat KM; dan sebaliknya, densitas CCA yang lebih tinggi pada TB dibandingkan pada substrat KM sehingga diduga adanya CCA menekan keberadaan *Padina* sp, mengacu pada pernyataan

Vermeij *et al.* (2011). Senyawa kimia yang dikeluarkan oleh CCA dapat berefek negatif pada makroalga lain. CCA juga dapat menjadi tempat berlindung bagi herbivora yang memakan makroalga lain dan memiliki mekanisme *thallus shedding* untuk mencegah pembentukan makroalga lainnya (Vermeij *et al.*, 2011).

## 4.2 Densitas dan Keanekaragaman Rekrutmen Karang

### 4.2.1 Densitas rekrut karang

Hasil perhitungan densitas rekrut karang pada substrat TB dan KM dapat dilihat pada Gambar 4.2



**Gambar 4.2** Hasil perhitungan densitas rekrut karang

Keterangan: KM: Karang mati, TB: Terumbu Buatan; densitas berbeda secara signifikan berdasarkan uji T dua sampel bebas pada  $\alpha = 0,05$ .

Berdasarkan kategori tingkat rekrutmen karang menurut Engelhardt (2000) dalam Suparno & Arlius (2016), densitas



rekrut karang pada substrat KM (4,5 koloni/m<sup>2</sup>) tergolong dalam kategori tingkat rekrutmen yang rendah, sementara densitas rekrut karang pada substrat TB (15,5 koloni/m<sup>2</sup>) tergolong dalam kategori tingkat rekrutmen sangat tinggi. Tingginya densitas pada TB membuktikan bahwa TB dapat menjadi substrat tambahan yang cocok untuk penempelan larva karang sesuai dengan penelitian Bachtiar (2000) dan penelitian sebelumnya dari Satria (2017). Hasil analisis statistik uji normalitas Kolmogorov-Smirnov untuk densitas rekrut karang pada kedua substrat menunjukkan bahwa data terdistribusi secara normal dengan nilai signifikansi sebesar 0,12 untuk KM dan 0,2 untuk TB (atau >0,05), sehingga kemudian dilanjutkan uji T dua sampel bebas (*independent sampel t-test*). Berdasarkan uji T dua sampel bebas, nilai signifikansi yang didapatkan adalah 0,000 (atau <0,05), sehingga data secara statistik menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Dapat diasumsikan berdasarkan data dan hasil densitas rekrut karang yang sudah dihitung bahwa terdapat perbedaan densitas rekrut karang yang signifikan dari substrat TB dan substrat KM.

Larva karang membutuhkan substrat yang stabil untuk melakukan penempelan karena substrat yang tidak stabil akan membuat larva susah untuk menempel dan juga dapat menyebabkan kematian larva karang (Sawal *et al.*, 2013; Giyanto *et al.*, 2017). Terumbu buatan merupakan struktur yang dapat memfasilitasi rekrutmen larva karang dengan menyediakan substrat yang stabil (Ng *et al.*, 2016). Struktur terumbu buatan yang digunakan pada lokasi penelitian merupakan terumbu buatan model kubah berongga yang diturunkan ke dasar laut Perairan Sepulu pada tahun 2017. Pertimbangan penggunaan terumbu buatan model tersebut adalah bentuk kubah berongga dipilih karena memiliki bentuk yang kokoh dan bobot yang berat sehingga lebih tahan terhadap hantaman arus dan gelombang, memiliki luas permukaan yang tinggi dan kasar sehingga dapat mempercepat terjadinya rekrutmen karang, secara langsung dapat memberikan fungsi ekologis sebagai habitat untuk tinggal dan

berlindung bagi ikan, larva ikan, dan berbagai macam invertebrata laut, serta mengandung kalsium yang diharapkan dapat mempercepat pertumbuhan fragmen karang transplantasi maupun rekrut karang alami (Amarullah *et al.*, 2019). Substrat karang mati juga merupakan substrat yang cocok untuk penempelan karang karena menyediakan permukaan yang kompleks (Yucharoen *et al.*, 2015).

Lebih tingginya densitas pada TB dibandingkan dengan KM diduga disebabkan oleh struktur dari terumbu buatan dan orientasi penempelan rekrut karang. Pada lokasi penelitian, banyak dari rekrut karang menempel pada sisi diagonal dan vertikal pada TB. Penelitian dari Blakeway *et al.* (2013), menunjukkan bahwa rekrut karang yang menempati substrat terumbu buatan dengan orientasi vertikal memiliki ukuran yang lebih besar dari pada rekrut karang yang menempati substrat dengan orientasi horizontal. Hal ini disebabkan oleh adanya sedimen yang dapat mengganggu pertumbuhan rekrut karang yang menempati substrat dengan orientasi horizontal, sementara rekrut karang dengan orientasi substrat vertikal mendapatkan lebih sedikit tekanan dari sedimen. Penelitian dari Davies *et al.* (2013), juga menunjukkan bahwa densitas rekrut karang ditemukan lebih banyak pada substrat dengan orientasi vertikal dan dengan permukaan yang kasar. Hal ini disebabkan oleh adanya terjadinya sedimentasi dan aktivitas herbivora pada permukaan horizontal substrat.

Pada substrat alami seperti karang mati, larva karang akan memilih untuk menempati area yang tersembunyi dan cenderung vertikal (Davies *et al.*, 2013). Lebih rendahnya densitas pada substrat KM dalam penelitian diduga disebabkan oleh jarangya ditemukan area yang tersembunyi tersebut sehingga karang mati belum mendukung penempelan larva karang dalam jumlah yang besar. Selain jarangya ditemukan area tersembunyi, jenis makroalga yang menempati substrat juga dapat mempengaruhi penempelan larva karang. CCA merupakan makroalga yang dapat mengeluarkan senyawa kimiawi sebagai

sinyal untuk larva karang menempel pada substrat (Vermeij *et al.*, 2011; Tebben *et al.*, 2015). Lebih banyak ditemukannya CCA pada substrat TB diduga merupakan salah satu penyebab lebih tingginya densitas rekrut karang pada TB. Pada TB juga dilakukan pembersihan selama kurang lebih 4 bulan pertama pasca penenggelaman. Perlakuan ini kemudian menyediakan substrat yang terbebas dari makroalga yang dapat mencegah terjadinya penempelan seperti *Padina* sp atau *turf algae* yang merupakan kompetitor ruang larva karang (Ritson-Williams *et al.*, 2009; Jouval *et al.*, 2019).

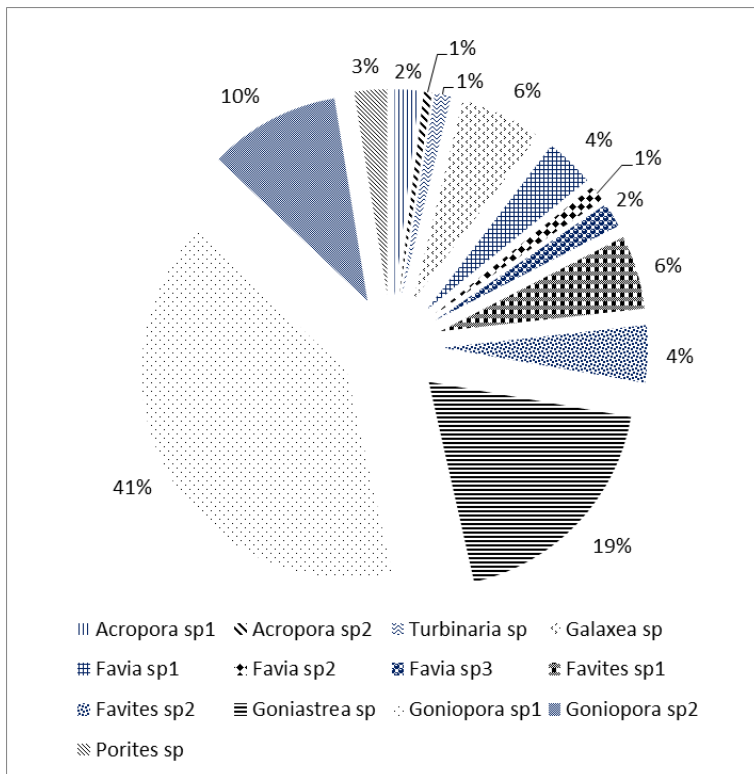
#### 4.2.2 Keanekaragaman rekrut karang

Hasil pengamatan keanekaragaman rekrut karang pada substrat terumbu buatan dapat dilihat pada Gambar 4.3

Pada substrat TB ditemukan 13 spesies dari 6 famili rekrut karang yaitu Acroporidae (*Acropora* sp), Dendrophylliidae (*Turbinaria* sp), Euphylliidae (*Galaxea* sp), Faviidae (*Favia* sp), Merulinidae (*Favites* sp., *Goniastrea* sp), Poritidae (*Goniopora* sp, *Porites* sp). Genus *Goniopora* sp 1 merupakan genus yang paling banyak ditemukan kemudian disusul dengan genus *Goniastrea* sp dan *Goniopora* sp 2. *Goniopora* sp 1 memiliki persentase sebesar 41% dimana 41% merepresentasikan 63 koloni rekrut karang dari total 155 koloni rekrut karang yang ditemukan, sementara *Goniastrea* sp memiliki presentase sebesar 19% yang merepresentasikan 29 koloni rekrut karang dari 155 rekrut karang yang ditemukan, dan *Goniopora* sp 2 memiliki persentase sebesar 10% yang merepresentasikan 16 koloni rekrut karang dari 155 koloni rekrut karang yang ditemukan pada terumbu buatan.

Tingginya persentase *Goniopora* diduga karena spesies karang *Goniopora* merupakan spesies karang yang tahan terhadap tekanan dari sedimentasi. Pernyataan ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Junjie *et al.* (2014), yang menyebutkan bahwa ketika dihadapkan pada kondisi sedimentasi dan turbiditas tinggi, *Goniopora* akan mengalami peningkatan aktivitas respirasi. Hal ini disebabkan oleh adanya aktivitas pembersihan diri dari partikel-partikel sedimen yang mendarat pada permukaannya

melalui proyeksi polip diatas permukaan koloni dan aktivitas *ciliary*. *Goniopora* dapat dengan cepat menghilangkan sedimen sehingga dapat bertahan hidup pada habitat yang sering mengalami resuspensi sedimen (Junjie *et al.*, 2014). Selain kemampuannya untuk menyingkirkan sedimen, *Goniopora* juga dapat menggunakan *sweeper polyps* untuk berkompetisi dengan koloni karang yang lain (Tomascik *et al.*, 2013). Akan tetapi, perilaku ini tidak diamati pada penelitian ini.



**Gambar 4.3** Komposisi keragaman rekrut karang pada TB  
Keterangan: genus dominan: *Goniopora* sp1 (41%), *Goniastrea* sp (19%) dan *Goniopora* sp2 (10%)

*Goniastrea* merupakan spesies yang umum ditemukan pada perairan laut yang dangkal dan keruh (Smith, 2006). *Goniastrea*, memiliki jaringan yang tebal yang dapat melindungi dari panas dan cukup resisten terhadap kondisi turbiditas tinggi dari pada karang tabular atau branching (Hongo&Yamano, 2013). Hal ini diduga merupakan salah satu faktor yang membuat *Goniastrea* banyak ditemukan pada lokasi penelitian yang memiliki tingkat turbiditas tinggi.

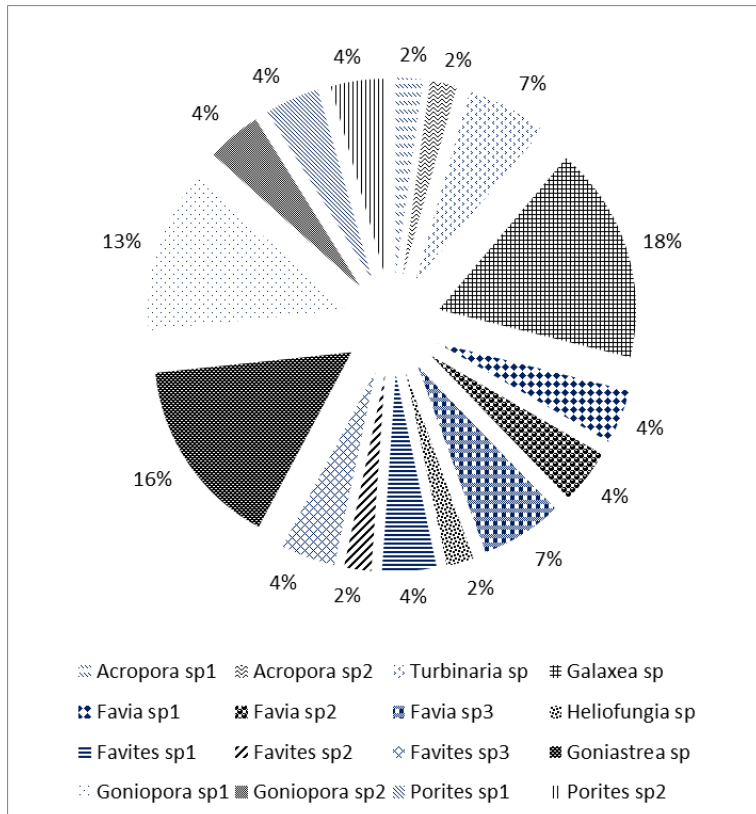
Hasil pengamatan keanekaragaman rekrut karang pada substrat KM dapat dilihat pada Gambar 4.4

Pada substrat KM, terdapat 16 spesies dari 7 famili rekrut karang yang ditemukan antara lain adalah Acroporidae (*Acropora* sp), Dendrophyllidae (*Turbinaria* sp), Euphylliidae (*Galaxea* sp), Faviidae (*Favia* sp), Fungiidae (*Heliofungia* sp), Merulinidae (*Favites* sp, *Goniastrea* sp), Poritidae (*Goniopora* sp, *Porites* sp). Spesies yang paling banyak ditemukan adalah spesies *Galaxea* sp yaitu 18%, yang merepresentasikan 8 koloni rekrut karang dari total 45 koloni rekrut karang, *Goniastrea* sp dengan persentase sebesar 16%, yang merepresentasikan 7 koloni rekrut karang dari total 45 koloni rekrut karang, dan *Goniopora* sp 1 dengan persentase sebesar 13% yang merepresentasikan 6 koloni rekrut karang dari total 45 koloni rekrut karang.

Tingginya persentase *Galaxea* diduga karena *Galaxea* memiliki mekanisme dalam membersihkan sedimen sehingga dapat tahan dengan tekanan sedimentasi (Browne, 2012). *Galaxea* dapat memindahkan sedimen yang menempel pada permukaannya dengan menggunakan *ciliary mechanism* selama beberapa jam. *Galaxea* juga termasuk salah satu spesies yang dapat membersihkan sedimen dengan cepat (Stafford-Smith, 1993). Lin *et al.* (2017) juga menyebutkan dalam penelitiannya bahwa *Galaxea* merupakan spesies yang lebih resisten terhadap eutrofikasi karena memiliki *trophic plasticity* yang tinggi.

Ditemukannya rekrut karang pada substrat tidak terlepas dari keberadaan karang dewasa yang memproduksi larva karang (Ritson-Williams *et al.*, 2009). Larva karang lebih menyukai

substrat yang kokoh dan tersembunyi atau berorientasi vertikal, serta memiliki permukaan yang kasar untuk melakukan penempelan (Sawal *et al.*, 2013; Davies *et al.*, 2013). Lebih lanjut, banyaknya rekrut dari genus *Goniopora*, *Goniastrea*, dan *Galaxea* disebabkan oleh banyaknya koloni karang dewasa dengan genera yang sama pada lokasi penelitian.



**Gambar 4.4** Komposisi keragaman rekrut karang pada KM  
Keterangan: genus dominan: *Galaxea* sp (18%), *Goniastrea* sp (16%) dan *Goniopora* sp1 (13%)

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, densitas pada TB termasuk kedalam kategori tingkat rekrutmen sangat tinggi, akan tetapi, kekayaan spesies dan komposisi rekrut yang ditemukan pada TB masih lebih rendah dibandingkan dengan substrat KM. Lebih banyaknya genera pada substrat KM pada penelitian ini diduga karena lebih kompleksnya mikrohabitat yang ditawarkan oleh substrat KM, sehingga mendukung penempelan dari genera lain yang tidak ditemukan pada substrat terumbu buatan. Hal ini didasarkan pada penelitian dari Burt *et al.* (2009), dimana substrat alami akan memiliki keragaman yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan substrat terumbu buatan meskipun pada terumbu buatan densitas rekrut karang ditemukan lebih tinggi dibandingkan dengan substrat alami.

Hasil penelitian Satria (2017), juga menunjukkan bahwa kekayaan spesies rekrut karang pada terumbu buatan adalah lebih rendah dibandingkan dengan karang mati; meskipun memiliki densitas yang lebih tinggi. Rekrut yang terdapat pada terumbu buatan dengan model kubus dengan dimensi 50x50x50 cm terdiri atas 5 genera dari 3 famili yaitu, Faviidae (*Favia* sp, *Goniastrea* sp.), Merulinidae (*Favites* sp, *Platygyra* sp), dan Poritidae (*Porites* sp), sementara pada substrat karang mati ditemukan 10 genera dari 7 famili yaitu, Acroporidae (*Acropora* sp), Agariciidae (*Pavona* sp), Faviidae (*Favia* sp), Euphyllidae (*Galaxea* sp), Merulinidae (*Merulina* sp, *Platygyra* sp) Pocilloporidae (*Seriatopora* sp), dan Poritidae (*Goniopora* sp, *Porites* sp).

Perkol-Finkel & Benayahu (2005), juga melaporkan bahwa keragaman rekrut karang pada substrat alami akan lebih tinggi jika dibandingkan dengan terumbu buatan meskipun jarak antara substrat alami dan terumbu buatan berdekatan. Hal ini disebabkan oleh terumbu buatan menyediakan mikrohabitat yang tidak sekompleks substrat alami sehingga dalam konstruksi terumbu buatan, struktur yang dapat menawarkan mikrohabitat yang kompleks dan heterogenus (Perkol-Finkel & Benayahu, 2005). Kompleksitas terumbu buatan dapat meningkat seiring

dengan lamanya periode penenggelman terumbu buatan. Burt *et al.* (2011), menemukan bahwa terumbu buatan yang sudah ditenggelman selama 31 tahun akan memiliki tingkat kompleksitas mikrohabitat yang sebanding dengan substrat alami disekitarnya, sementara untuk substrat yang baru ditenggelman 1-1,5 tahun masih akan banyak ditempati oleh *turf algae*. Perkol-Finkel & Benayahu (2004), menyatakan bahwa perbedaan keragaman pada substrat alami dan buatan dapat dipengaruhi oleh faktor abiotik dan biotik seperti orientasi spasial, intensitas cahaya, stabilitas susbtrat, lama penenggelman, tingkat sedimentasi, dan ketersediaan larva. Selain itu, materi penyusun, kompleksitas struktur dan jarak terumbu buatan dari terumbu karang alami juga menentukan keragaman rekrut karang.

### 4.3 Korelasi antara Makroalga dan CCA dengan Rekrut Karang

Hasil uji korelasi *Padina* sp dengan rekrut karang dan CCA dengan rekrut karang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Hasil uji korelasi makroalga *Padina* sp dan CCA dengan rekrut karang

Korelasi Pearson <i>Padina</i> sp-rekrut karang	
Koefisien korelasi	<b>-0,398</b>
Sig. (2-tailed)	<b>0,82</b>
N	20
Korelasi Spearman CCA-rekrut karang	
Koefisien korelasi	<b>0,517</b>
Sig. (2-tailed)	<b>0,02</b>
N	20

Hasil uji normalitas Kolmogorov-Smirnov untuk densitas *Padina* sp adalah terdistribusi normal dengan nilai signifikansi 0,2 (atau >0,05). Korelasi antara *Padina* sp dan rekrut karang kemudian dianalisis dengan menggunakan uji korelasi Pearson



yang menunjukkan bahwa tidak ada korelasi yang signifikan pada data yang diujikan, dimana nilai signifikansinya adalah 0,082 (atau  $>0,05$ ) dengan nilai R hitung -0,398.

Sarwono (2017), menyatakan bahwa R hitung yang berada dalam rentang 0,25-0,5 memiliki korelasi yang cukup, sehingga kemudian dapat diasumsikan berdasarkan data bahwa keberadaan *Padina* sp mempengaruhi keberadaan rekrut karang secara negatif meskipun tidak signifikan. *Padina* sp merupakan makroalga yang memiliki bentuk *foliose* sehingga memiliki potensi untuk tumbuh dan menutupi karang, serta menutupi substrat untuk penempelan larva karang (Birrel *et al.* 2008a). Makroalga dapat mempengaruhi penempelan larva karang melalui penggunaan senyawa kimia.

*Padina* sp memiliki metabolit sekunder yang dapat menangkal herbivor dan juga bersifat sitotoksik (Birrel *et al.*, 2008b). Birrel *et al.* (2008b), menemukan bahwa tangki yang berisi *Padina* sp hanya memiliki 1/3 larva karang yang berhasil melakukan penempelan pada tangki kontrol. Sementara Sin *et al.* (2012), menemukan bahwa jumlah penempelan larva karang dengan keberadaan *Padina* sp dalam suatu tangki tidak berbeda secara signifikan dengan penempelan larva karang pada tangki kontrol, meskipun banyak larva yang belum menempel pada tangki berisi *Padina* sp, sehingga dikatakan bahwa *Padina* sp memperlambat proses penempelan larva karang. Pada penelitian ini juga ditemukan bahwa keberadaan *Padina* sp tidak secara signifikan mempengaruhi keberadaan rekrut karang, akan tetapi, tetap memiliki hubungan korelasi yang negatif. Diduga terdapat faktor lain yang lebih berperan dalam menentukan densitas rekrut karang seperti sedimen dan ketersediaan substrat yang cocok.

Hasil uji normalitas untuk densitas CCA adalah data tidak terdistribusi dengan normal dimana nilai signifikansi yang didapatkan adalah 0,000 (atau  $<0,05$ ), sehingga kemudian uji korelasi dilakukan dengan menggunakan uji korelasi Spearman. Hasil uji korelasi Spearman menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang signifikan pada data densitas CCA dengan densitas rekrut

karang dalam penelitian ini, dimana nilai signifikansinya adalah 0,02 (atau  $<0,05$ ) dengan nilai  $R_s$  hitung 0,517. Nilai  $R_s$  hitung yang didapatkan menunjukkan bahwa terdapat korelasi positif yang cukup antara data densitas CCA dengan data densitas rekrut karang (Sarwono, 2010). Berdasarkan hal tersebut maka dapat diasumsikan bahwa berdasarkan data yang ditemukan, terdapat korelasi yang cukup signifikan dengan kecenderungan positif antara densitas CCA dengan densitas rekrut karang.

Penelitian dari Baird & Morse (2004), menemukan bahwa pada substrat yang memiliki CCA akan mendukung penempelan dan metamorfosis dari larva karang. CCA mengeluarkan senyawa kimia yang menjadi sinyal bagi larva karang untuk melakukan penempelan pada substrat (Vermeij *et al.*, 2011; Tebben *et al.*, 2015). Pada penelitian ini, ditemukan bahwa berdasarkan data, terdapat korelasi positif antara densitas CCA dengan densitas rekrut karang, sehingga dapat diasumsikan bahwa adanya CCA dapat mendukung terjadinya proses rekrutmen karang pada lokasi penelitian.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Densitas rekrutmen karang pada substrat karang mati adalah 4,5 koloni/m<sup>2</sup> yang tergolong dalam kategori tingkat rekrutmen karang rendah (2,6-5 koloni/m<sup>2</sup>), sementara pada substrat terumbu buatan adalah 15,5 koloni/m<sup>2</sup> yang tergolong dalam kategori tingkat rekrutmen karang sangat tinggi (>10 koloni/m<sup>2</sup>).
2. Komposisi keanekaragaman rekrutmen karang yang ditemukan pada lokasi penelitian terdiri atas 16 spesies dari 7 famili; substrat karang mati memiliki kekayaan spesies dan komposisi rekrut karang yang lebih tinggi (16 spesies) dibandingkan substrat terumbu buatan (13 spesies).
3. Genera rekrut karang yang paling melimpah adalah *Goniopora*, *Galaxea* dan *Goniastrea*.
4. Makroalga *Padina* sp memiliki korelasi negatif dengan densitas rekrut karang meskipun tidak signifikan sedangkan *crustose coralline algae* (CCA) berkorelasi positif dan signifikan dengan densitas rekrut karang.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat disampaikan adalah:

1. Penelitian mengenai rekrutmen karang dilakukan dalam jangka waktu yang lebih lama untuk melihat tingkat kesintasan rekrut karang pada lokasi penelitian.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai rekrut karang pada berbagai model terumbu buatan yang memiliki perbedaan bentuk dan kompleksitas struktur permukaan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abbot, J., and J. Marohasy. 2017. **Ocean Acidification: Not Yet a Catastrophe for the Great Barrier Reef** in Marohasy, J. Climate Change: The Facts 2017. Victoria: Institute of Public Affairs.
- Abelson, A., R. Olinky and S. Gaines. 2005. Coral Recruitment to the Reefs of Eilat, Red Sea: Temporal and Spatial Variation, and Possible Effects of Anthropogenic Disturbances. **Marine Pollution Bulletin**. 50: 576-582.
- Acosta, A., L. F. Duenas and V. Pizarro. 2011. Review on Hard Coral Recruitment (Cnidaria: Scleractinia) in Colombia. **Universitas Scientiarum**. 16(3): 200-218.
- Albright, R., B. Mason, M. Miller, and C. Langdon. 2010. Ocean Acidification Compromises Recruitment Success of the Threatened Caribbean Coral *Acropora palmata*. **PNAS**. 107(47):20400-20404.
- Amarullah, S. Priambodo, F. E. Pradana, N. Widiarti, E. Novalina, F. K. Muzaki, D. Saptarini, Buharianto dan L. S. Muchamad. 2019. **Program Konservasi Terumbu Karang Perairan Sepulu, Bangkalan – Madura**. Gresik: PT. Pertamina Hulu Energi.
- Anthony, K. R. N., D. I. Kline, G. Diaz-Pulido, S. Dove and O. Hoegh-Guldberg. 2008. Ocean Acidification Causes Bleaching and Productivity Loss in Coral Reef Builders. **Proceedings of the National Academy of Science**. 105(45): 17442-17446.
- Bachtiar, I. 2000. Promoting Recruitment of Scleractinian Corals Using Artificial Substrate in the Gill Indah, Lombok Barat, Indonesia. **Proceedings 9<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium**. 1:425-430.

Baird, A. H., and A. N. C. Morse. 2004. Induction of Metamorphosis in Larvae of the Brooding Corals *Acropora palifera* and *Stylophora pistillata*. **Marine and Freshwater Research**. 55:469-472.

Bessell-Browne, P., A. P. Negri, R. Fisher, P. L. Clode, A. Duckworth and R. Jones. 2017. Impacts of Turbidity on Corals: The Relative Importance of Light Limitation and Suspended Sediments. **Marine Pollution Bulletin**. 117:161-170.

Bessey, C., R. C. Babcock, D. P. Thomson and M. D. E. Haywood. 2018. Outbreak Densities of the Coral Predator *Drupella* in Relation to In Situ *Acropora* Growth Rates on Ningaloo Reef, Western Australia. **Coral Reefs**. 37(4): 985-993.

Birrel, C. L., L. J. McCook and B. L. Willis. 2005. Effects of Algal Turfs and Sediment on Coral Settlement. **Marine Pollution Bulletin**. 51: 408-414.

Birrel, C. L., L. J. McCook, B. L. Willis and G. A. Diaz-Pulido. 2008a. Effects of Benthic Algae on the Replenishment of Corals and the Implications for the Resilience of Coral Reefs. **Oceanography and Marine Biology: An Annual Review**. 46: 25-63.

Birrell, C. L., L. J. McCook, B. T. Willis and L. Harrington. 2008b. Chemical Effects of Macroalgae on Larval Settlement of the Broadcast Spawning Coral *Acropora millepora*. **Marine Ecology Progress Series**. 362:129-137.

Blakeway, D., M. Byers, J. Stoddart and J. Rossendell. 2013. Coral Colonisation of an Artificial Reef in a Turbid Nearshore Environment, Dampier Harbour, Western Australia. **PLoS ONE** 8(9):e75281.

- Box, S. J. and P. J. Mumby. 2007. Effect of Macroalgal Competition on Growth and Survival of Juvenile Caribbean Corals. **Marine Ecology Progress Series**. 342:139-149.
- Browne, N. K., S. G. Smithers and C. T. Perry. 2012. Coral Reef of the Turbid Inner-Shelf of the Great Barrier Reef, Australia: An Environmental and Geomorphic Perspective on Their Occurrence, Composition and Growth. **Earth-Science Review**. 115:1-20.
- Burke, L., K. Reytar, M. Spalding and A. Perry. 2011. **Reefs at Risk Revisited**. Washington: World Resources Institute.
- Burt, J., A. Bartholomew and P. F. Sale. 2011. Benthic Development on Large-Scale Engineered Reefs: A Comparison of Communities Among Breakwaters of Different Age and Natural Reefs. **Ecological Engineering**. 37:191-198.
- Burt, J., A. Bartholomew, P. Usseglio, A. Bauman and P. F. Sale. 2009. Are Artificial Reefs Surrogates of Natural Habitats for Corals and Fish in Dubai, United Arab Emirates?. **Coral Reefs**. 28:663-675.
- Caroselli, E., F. Gizzi, F. Prada, C. Marchini, V. Airi, J. Kaandorp, G. Falini, Z. Dubinsky and S. Goffredo. 2018. Low and Variable pH Decreases Recruitment Efficiency in Populations of a Temperate Coral Naturally Present at a CO<sub>2</sub> Vent. **Limnology and Oceanography**. 9999:1-11.
- Chadwick, N. E. and K. M. Morrow. 2011. **Competition Among Sessile Organisms in Coral Reefs** in Dubinsky, Z and N. Stambler. *Coral Reefs: An Ecosystem in Transition*. Dordrecht: Springer.
- Chui, A. P. Y. and P. Ang Jr. 2015. Elevated Temperature Enhances Normal Early Embryonic Development in the Coral *Platygyra acuta* Under Low Salinity Conditions. **Coral Reefs**. 34:461-469.



Chui, A. P. Y. and P. Ang Jr. 2017. High Tolerance to Temperature and Salinity Change Should Enable Scleractinian Coral *Platygyra acuta* from Marginal Environments to Persist Under Future Climate Change. **PLoS ONE**. 12(6): e0179423.

Clark, S. and A. J. Edwards. 1999. An Evaluation of Artificial Reef Structures as Tools for Marine Habitat Rehabilitation in the Maldives. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystem**. 9: 5-21.

Cooper, T. F., P. V. Ridd, K. E. Ulstrup, C. Humphrey, M. Slivkoff, and K. E. Fabricius. 2008. Temporal Dynamics in Coral Bioindicators for Water Quality on Coastal Coral Reefs of the Great Barrier Reef. **Marine and Freshwater Research**. 59: 703-716.

Das, L., H. Salvi, B. Brahmabhatt, N. Vaghela and R. D. Kamboj. 2018. Biomass and Percent Cover of Marine Macro Algae at Five South-Western Intertidal Areas of Gulf of Kachchh. **Phykos**. 48(1): 46-57.

Davies, S. W., M. V. Matz and P. D. Vize. 2013. Ecological Complexity of Coral Recruitment Processes: Effects of Invertebrate Herbivores on Coral Recruitment and Growth Depends Upon Substratum Properties and Coral Species. **PLoS ONE**. 8(9):e72830.

Duckworth, A., N. Giofre and R. Jones. 2017. Coral Morphology and Sedimentation. **Marine Pollution Bulletin**. 125: 289-300.

Edmunds, P. J. and R. C. Carpenter. 2001. Recovery of *Diadema antillarum* Reduces Macroalgal Cover and Increases Abundance of Juvenile Corals on Caribbean Reef. **PNAS**. 98(9):5067-5071.

Elliff, C. I. and R. K. P. Kikuchi. 2017. Ecosystem Services Provided by Coral Reefs in a Southwestern Atlantic Archipelago. **Ocean & Coastal Management**. 136: 49-55.

English, S., C. Wilkinson and V. Baker. 1997. **Survey Manual for Tropical Marine Resources**. Townsville: Australian Institute of Marine Science.

Estradivari, E. Setyawan dan S. Yusri. 2009. **Terumbu Karang Jakarta: Pengamatan Jangka Panjang Terumbu Karang Kepulauan Seribu (2003-2007)**. Jakarta: Yayasan Terumbu Karang Indonesia.

Eutech Instrument. 2011. **Oakton pH5+, pH6+ & Ion6+ Meters Instruction Manual**. Singapore: Eutech Instrument Pte Ltd.

Fabi, G., G. Scarcella, A. Spagnolo, S. A. Bortone, E. Charbonnel, J. J. Goutayer, N. Haddad, A. Lok and Michel Trommelen. 2015. **Practical Guidelines for the Use of Artificial Reefs in the Mediterranean and the Black Sea**. Rome: FAO.

Fabricius, K. E. 2005. Effects of Terrestrial Runoff on the Ecology of Corals and Coral Reefs: Review and Synthesis. **Marine Pollution Bulletin**. 50: 125-146.

Faisol, A. 2017. **PHE WMO Konservasi Terumbu Karang di Bangkalan, Kini Hasilnya Mulai Terlihat**. Diakses pada: <https://surabaya.tribunnews.com/2017/12/18/phe-wmo-konservasi-terumbu-karang-di-bangkalan-kini-hasilnya-mulai-terlihat?page=all> tanggal 30 September 2019 pukul 15.00.

Farito, M. Kasim dan A. I. Nur. 2018. Studi Kepadatan dan Keanekaragaman Makroalga pada Terumbu Karang Buatan dari Sampah Plastik di Perairan Desa Tanjung Tiram Kecamatan Moramo Utara Kabupaten Konawe Selatan. **Jurnal Manajemen Sumber Daya Perairan**. 3(2):93-103.

Fauzi, M. A. R., H. D. Armono, M. Mustain and A. R. Amalia. 2017. **Comparison Study of Various Type Artificial Reef Performance in Reducing Wave Height**. Regional Conference

in Civil Engineering (RCCE). The Third International Conference on Civil Engineering Research (ICCER). 1-2 August.

Ferrara, R., J. Weis, J. Kennen and M. Weinstein. 2017. **Report of the Marine Dissolve Oxygen Work Group**. Diakses pada: <https://www.nj.gov/dep/sab/marine-do-report-201704.pdf> tanggal 16 Desember 2019 pukul 16.00.

Fitriadi, C. A., Y. Dhahiyat, N. P. Purba, S. A. Harahap and D. J. Prihadi. 2017. Coral Larvae Spreading Based on Oceanographic Condition in Biawak Island, West Java, Indonesia. **Biodiversitas**. 18(2):681-688.

Garrison, T. and R. Ellis. 2016. **Oceanography: An Invitation to Marine Science**. Boston, MA: Cengage Learning.

Gattuso, J. P., Q. Hoegh-Guldberg and H. O. Portner. 2014. Cross-Chapter Box on Coral Reefs didalam **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press.

Giyanto, M. Abrar, T. A. Hadi, A. Budiyanto, M. Hafizt, A. Salatalohy dan M. Y. Iswari. 2017. **Status Terumbu Karang Indonesia 2017**. Jakarta: Pusat Penelitian Oseanografi – LIPI.

Guntur, A. B. Sambah dan A. A. Jaziri. 2018. **Rehabilitasi Terumbu Karang**. Malang: UB Press.

Haas, A. F., J. E. Smith, M. Thompson and D. D. Deheyn. 2014. Effects of Reduced Dissolved Oxygen Concentrations on Physiology and Fluorescence of Hermatypic Corals and Benthic Algae. **PeerJ**. 2:e235.

Hadi, T. A., Giyanto, B. Prayudha, M. Hafizt dan A. B. Suharsono. 2018. **Status Terumbu Karang Indonesia 2018**. Jakarta: Puslit Oseanografi – LIPI.

- Harii, S. and H. Kayanne. 2002. Larval Settlement of Corals in Flowing Water Using a Racetrack Flume. **MTS Journal**. 36(1):76-79.
- Harii, S. and Kayanne, H. 2003. Larval Dispersal, Recruitment, and Adult Distribution of the Brooding Stony Octocoral *Heliopora coerulea* on Ishigaki Island, Southwest Japan. **Coral Reefs**. 22: 188-196.
- Harris, L. E. 2009. Artificial Reefs for Ecosystem Restoration and Coastal Erosion Protection with Aquaculture and Recreational Amenities. **Reef Journal**. 1(1): 235-246.
- Harrison, P. L. 2011. **Sexual Reproduction of Scleractinian Corals** in Dubinsky, Z. and N. Stambler. 2011. Coral Reefs: An Ecosystem in Transition. New York: Springer Science + Business Media.
- Heemsoth, A. 2014. **Unit 9: Coral Growth**. Annapolis, MD: Khaled bin Sultan Living Oceans Foundation.
- Hernomo, A. D., Purwanto dan J. Marwoto. 2015. Pemodelan Distribusi Salinitas dan Suhu Permukaan Laut Perairan Selat Bali Bagian Selatan pada Musim Timur. **Jurnal Oseanografi**. 4(1): 64-73.
- Ho, M. and C. Dai. 2014. Coral Recruitment of a Subtropical Coral Community at Yenliao Bay, Northern Taiwan. **Zoological Studies**. 53(5): 1-10.
- Hongo, C. and H. Yamano. 2013. Species-Specific Responses of Coral to Bleaching Events on Anthropogenically Turbid Reefs on Okinawa Island, Japan, Over a 15-Year Period (1995-2009). **PLoS ONE**: 8(4): e60952.

Hubbard, D. K. 1997. **Reefs as Dynamic Systems** in Birkeland, C. 1997. *Life and Death of Coral Reefs*. New York: Chapman & Hall.

Hughes, T. P., M. I. Barnes, D. R. Bellwood, J. E. Cinner, G. S. Cumming, J. B. C. Jackson, J. Kleypas, I. A. van de Leemput, J. M. Lough, T. H. Morrison, S. R. Palumbi, E. H. van Nes and M. Scheffer. 2017. Coral Reefs in the Anthropocene. **Nature**. 546: 82-90.

Hunte, W. and M. Wittenberg. 1992. Effects of Eutrophication and Sedimentation on Juvenile Corals. **Marine Biology**. 114: 625-631.

Ira. 2018. Struktur Komunitas Makroalga di Perairan Desa Mata Sulawesi Tenggara. **Jurnal Biologi Tropis**. 18(1):45-56.

Jones, R., G. F. Ricardo and A. P. Negri. 2015. Effects of Sediments on the Reproductive Cycle of Corals. **Marine Pollution Bulletin**. 100: 13-33.

Jouval, F., A. C. Latreille, S. Bureau, M. Adjeroud and L. Penin. 2019. Multiscale Variability in Coral Recruitment in the Mascarene Islands: From Centimetric to Geographical Scale. **PLOS ONE**. 14(3): e0214163.

Junjie, R. K., N. K. Browne, P. L. A. Erftemeijer and P. A. Todd. 2014. Impacts of Sediments on Coral Energetics: Partitioning the Effects of Turbidity and Settling Particles. **Plos One**. 9(9): e107195.

Kuanui, P., S. Chavanich, V. Viyakarn, M. Omori and C. Lin. 2015. Effects of Temperature and Salinity on Survival Rate of Cultured Corals and Photosynthetic Efficiency of Zooxanthellae in Coral Tissues. **Ocean Science Journal**. 50(2): 263-268.

- Larcombe, P., P. V. Ridd, A. Prytz and B. Wilson. 1995. Factors Controlling Suspended Sediment on Inner-Shelf Coral Reefs, Townsville, Australia. **Coral Reefs**. 14:163-171.
- Lin, Z., M. Chen, X. Dong, X. Zheng, H. Huang, X. Xu and J. Chen. 2017. Transcriptome Profiling of *Galaxea fascicularis* and its Endosymbiont *Symbiodinium* Reveals Chronic Eutrophication Tolerance Pathways and Metabolic Mutualism Between Partners. **Scientific Reports**. 7(42100): 1-14.
- Lubis, M. Z., S. Pujiyati, D. S. Pamungkas, M. Tauhid, W. Anurogo, and H. Kausarian. 2018. Coral Reefs Recruitment in Stone Substrate on Gosong Pramuka, Seribu Islands, Indonesia. **Biodiversitas**. 19(4):1451-1458.
- Lutron. 2006. **Oxygen Meter Model: DO-5510 Instruction Manual**. Taiwan: Lutron Electronic Enterprise.
- Maida, M., P. W. Sammarco and J. C. Coll. 1995. Effects of Soft Corals on Scleractinian Coral Recruitment. I: Directional Allelopathy and Inhibition of Settlement. **Marine Ecology Progress Series**. 121: 191-202.
- Malone, P. G. and J. R. Dodd. 1967. Temperature and Salinity Effects on Calcification Rate in *Mytilus edulis* and Its Paleoecological Implications. **Limnology and Oceanography**. 12(3): 432-436.
- McField, M., and P. R. Kramer. 2007. **Healthy Reefs for Healthy People: A Guide to Indicators of Reef Health and Social Well-being in the Mesoamerican Reef Region**. Belize: The Smithsonian Institution.
- Moberg, F. and C. Folke. 1999. Ecological Goods and Services of Coral Reef Ecosystem. **Ecological Economics**. 29: 215-233.

Mollica, N. R., W. Guo, A. L. Cohen, K. Huang, G. L. Foster, H. K. Donald and A. R. Solow. 2018. Ocean Acidification Affects Coral Growth by Reducing Skeletal Density. **Proceedings of the National Academy of Science**. 115(8): 1754-1759.

Morrissey, J. F. and J. L. Sumich. 2012. **Introduction to the Biology of Marine Life**. Sudbury, MA: Jones & Bartlett Learning.

Mundy, C. N. and R. C. Babcock. 1998. Role of Light Intensity and Spectral Quality in Coral Settlement: Implications for Depth-Dependent Settlement?. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 223:235-255.

Ng, C. S., T. C. Toh and L. M. Chou. 2016. Artificial Reefs as a Reef Restoration Strategy in Sediment-Affected Environments: Insights from Long-Term Monitoring. **Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst**. 27: 976-985.

Nozawa, Y., and P. L. Harrison. 2007. Effects of Elevated Temperature on Larval Settlement and Post-Settlement Survival in Scleractinian Corals, *Acropora solitaryensis* and *Favites chinensis*. **Mar. Biol**. 152:1181-1185.

Orpin, A. R., P. V. Ridd, S. Thomas, K. R. N. Anthony, P. Marshall and J. Oliver. 2004. Natural Turbidity Variability and Weather Forecasts in Risk Management of Anthropogenic Sediment Discharge Near Sensitive Environments. **Marine Pollution Bulletin**. 49:602-612.

Osinga, R., M. Schutter, B. Griffioen, R. H. Wijffels, J. A. J. Verreth, S. Shafir, S. Henard, M. Taruffi, C. Gili and S. Lavorano. 2011. The Biology and Economics of Coral Growth. **Mar Biotechnol**. 13: 658-671.

- Partini. 2009. Efek Sedimentasi Terhadap Terumbu Karang di Pantai Timur Kabupaten Bintan. **Tesis**. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Pascal, N., M. Allenbach, A. Brathwaite, L. Burke, G. Le Port and E. Clua. 2016. Economic Valuation of Coral Reef Ecosystem Service of Coastal Protection: A Pragmatic Approach. **Ecosystem Services**. 21: 72-80.
- Penin, L., F. Michonneau, A. Carroll and M. Adjeroud. 2011. Effects of Predators and Grazers Exclusion on Early Post-Settlement Coral Mortality. **Hydrobiologia**. 663: 259-264.
- Penin, L., F. Michonneau, A. H. Baird, S. R. Connolly, M. S. Pratchett, M. Kayal and M. Adjeroud. 2010. Early Post-Settlement Mortality and the Structure of Coral Assemblages. **Marine Ecology Progress Series**. 408: 55-64.
- Perez III, K., K. S. Rodgers, P. L. Jokiel, C. V. Lager and D. J. Lager. 2014. Effects of Terrigenous Sediment on Settlement and Survival of the Reef Coral *Pocillopora damicornis*. **PeerJ**. 2: e387.
- Perkol-Finkel, S. and Y. Benayahu. 2004. Community Structure of Stony and Soft Corals on Vertical Unplanned Artificial Reefs in Eilat (Red Sea): Comparison to Natural Reefs. **Coral Reefs**. 23:195-205.
- Perkol-Finkel, S. and Y. Benayahu. 2005. Recruitment of Benthic Organisms onto a Planned Artificial Reef: Shifts in Community Structure One Decade Post-Deployment. **Marine Environmental Research**. 59: 79-99.
- Prasetyo, A. B. T., L. P. S. Yuliadi, S. Astuty dan D. J. Prihadi. 2018. Keterkaitan Tipe Substrat dan Laju Sedimentasi dengan Kondisi Tutupan Terumbu Karang di Perairan Pulau Panggang,



Taman Nasional Kepulauan Seribu. **Jurnal Perikanan dan Kelautan**. 9(2): 1-7.

Prideaux, B. and A. Pabel. 2018. **Coral Reefs: Tourism, Conservation and Management**. New York: Routledge.

Randall, C. J., and A. M. Szmant. 2009. Elevated Temperature Affects Development, Survivorship and Settlement of the Elkhorn Coral, *Acropora palmata* (Lamarck 1816). **Biological Bulletin**. 217(3): 269-282.

Richmond, R. H. 1997. **Reproduction and Recruitment in Corals: Critical Links in the Persistence of Reefs** in Birkeland, C. 1997. Life and Death of Coral Reefs. New York: Chapman & Hall.

Richmond, R. H. 2018. The Effects of Anthropogenic Stressors on Reproduction and Recruitment of Corals and Reef Organisms. **Frontiers in Marine Science**. 5(226): 1-9.

Risk, M. J. and E. Edinger. 2011. **Impacts of Sediment on Coral Reefs** in D. Hopley. 2011. Encyclopedia of Modern Coral Reefs. Berlin: Springer Science & Business Media.

Ritson-Williams, R., S. N. Arnold, N. D. Fogarty, R. S. Steneck, M. J. A. Vermeij and V. J. Paul. 2009. New Perspective on Ecological Mechanisms Affecting Coral Recruitment on Reefs. **Smithsonian Contributions to the Marine Science**. 38: 437-457.

Robertson, R. 1970. Review of the Predators and Parasites of Stony Corals, with Special Reference to Symbiotic Prosobranch Gastropods. **Pacific Science**. 24: 43-54.

Rogers, C. S. 1990. Responses of Coral Reefs and Reef Organisms to Sedimentation. **Marine Ecology Progress Series**. 62: 185-202.

Rotjan, R. D. and Lewis, S. M. 2008. Impact of Coral Predators on Tropical Reefs. **Marine Ecology Progress Series**. 367: 73-91.

Salinas-de-Leon, P., C. Dryden, D. J. Smith and J. J. Bell. 2013. Temporal and Spatial Variability in Coral Recruitment on Two Indonesian Coral Reefs: Consistently Lower Recruitment to a Degraded Reef. **Marine Biology**. 160: 97-105.

Sari, I. K. 2019. Rekrutmen Karang pada Terumbu Buatan Model Kubah Beton Berongga dengan Komposisi Bahan Berbeda di Perairan Pasir Putih, Situbondo. **Skripsi**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Sarwono, J. 2010. **Pintar Menulis Karangan Ilmiah-Kunci Sukses dalam Menulis Ilmiah**. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Sarwono, J. 2017. **Mengenal Prosedur-Prosedur Populer dalam SPSS 23**. Jakarta: Elex Media Komputindo.

Satria, I. P. 2017. Tingkat Rekrutmen Karang Pada Substrat Alami dan Buatan di Perairan Paiton dan Sekitarnya, Jawa Timur. **Skripsi**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Sawall, Y., J. Jompa, M. Litaay, A. Maddusila and C. Richter. 2013. Coral Recruitment and Potential Recovery of Eutrophied and Blast Fishing Impacted Reefs i Spermonde Archipelago, Indonesia. **Marine Pollution Bulletin**. 74:374-382.

Schutter, M., R. M. Van der Ven, M. Janse, J. A. J. Verreth, R. H. Wijffels and R. Osinga. 2012. Light Intensity, Photoperiod Duration, Daily Light Flux, and Coral Growth of *Galaxea fascicularis* in an Aquarium Setting: A Matter of Photons?. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**. 92(4): 703-712.

Scott, A., P. L. Harrison and L. O. Brooks. 2013. Reduced Salinity Decreases the Fertilization Success and Larval Survival

of two Scleractinian Coral Species. **Marine Environmental Research**. 92:10-14.

Setiyawan, E. 2012. Dinamika Ikan Terumbu Herbivora dan Makroalga *Padina minor* di Daerah Transplantasi Karang, Pulau Karya. **Skripsi**. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Shantz, A. A., A. C. Stier and J. A. Idjadi. 2011. Coral Density and Predation Affect Growth of a Reef-Building Coral. **Coral Reefs**. 30: 363-367.

Sin, L. C., J. Walford and B. G. P. Lee. 2012. The Effect of Benthic Macroalgae on Coral Settlement. **Contributions to Marine Science**. 2012:89-93.

Smith, J. 2006. **Factors Affecting the Distribution and Health of the Intertidal Coral *Goniastrea aspera* on the Reef Flat in Geoffrey Bay, Magnetic Island**. Diakses pada: <https://pdfs.semanticscholar.org/4496/6370e973f40479b1eb7c96c38a2c7845431a.pdf>. Tanggal 30 Desember 2019 pukul 13.00.

Sorokin, Y. 1995. **Coral Reef Ecology**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Stafford-Smith, M. G. 1993. Sediment Rejection Efficiency of 22 Species of Australian Scleractinian Corals. **Marine Biology**. 115:229-243.

Stambler, N. 2011. **Zooxanthellae: The Yellow Symbionts Inside Animals** in Dubinsky, Z. and N. Stambler. Coral Reefs: An Ecosystem in Transition. Dordrecht: Springer.

Subono, M., M Zainuri dan I. B. Prasetyo. 2017. Distribusi Klorofil-A dan Suhu Permukaan Laut di Perairan Astanajapura Kabupaten Cirebon. **Jurnal Oseanografi**. 6(2): 377-386.

Sudarto, W. Patty dan A. A. Tarumingkeng. 2013. Kondisi Arus Permukaan di Perairan Pantai: Pengamatan dengan Metode Lagrangian. **Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan Tangkap**. 1(3): 98-102.

Suharsono. 2008. **Jenis-Jenis Karang di Indonesia**. Jakarta: LIPI Press.

Suparno and Arlius. 2016. Recruitment Status of Coral Reefs (Scleractinian) after Earthquake and Tsunami in North Pagai Island of Mentawai Island Regency. **Ilmu Kelautan**. 21(4): 161-168.

Swierts, T. and M. J. A. Vermeij. 2016. Competitive Interactions between Corals and Turf Algae Depend on Coral Colony Form. **PeerJ**. 4:e1984.

Tebben, J., C.A. Motti, N. Siboni, D.M. Tapiolas, A.P. Negri, P.J. Schupp, M. Kitamura, M. Hatta, P.D. Steinberg, and T. Harder. 2015. Chemical mediation of coral larval settlement by crustose coralline algae. **Scientific Reports**. 5: 1-11.

Tintometer GmbH. 2015. **Turbidimeter TB300 IR Instruction Manual**. Germany: Tintometer GmbH Lovibond Water Testing.

Tomascik, T., A. J. Mah, A. Nontji and M. K. Moosa. 2013. **Ecology of the Indonesian Seas, Part 1**. Clarendont, Vermont : Tuttle Publishing.

Trapon, M. L., M. S. Pratchett and A. S. Hoey. 2013. Spatial Variation in Abundance, Size and Orientation of Juvenile Corals Related to the Biomass of Parrotfishes on the Great Barrier Reef, Australia. **PLOS ONE**. 8(2): e57788.

Venera-Ponton, D. E., G. Diaz-Pulido, L. J. McCook and A. Rangel-Campo. 2011. Macroalgae Reduce Growth of Juvenile

Corals but Protect Them from Parrotfish Damage. **Marine Ecology Progress Series**. 421:109-115.

Vermeij, M. J. A. 2005. Substrate Composition and Adult Distribution Determine Recruitment Patterns in a Caribbean Brooding Coral. **Marine Ecology Progress Series**. 295: 123-133.

Vermeij, M. J. A., M. L. Dailer and C. M. Smith. 2011. Crustose Coralline Algae Can Suppress Macroalgal Growth and Recruitment on Hawaiian Coral Reefs. **Marine Ecology Progress Series**. 422: 1-7.

Vermeij, M. J. A., N. D. Fogarty and M. W. Miller. 2006. Pelagic Conditions Affect Larval Behavior, Survival, and Settlement Patterns in the Caribbean Coral *Montastraea faveolata*. **Marine Ecology Progress Series**. 310:119-128.

Viyakarn, V., W. Lalitpattarakit, N. Chinfak, S. Jandang, P. Kuanui, S. Khokiattiwong and S. Chavanich. 2015. Effect of Lower pH on Settlement and Development of Coral, *Pocillopora damicornis* (Linnaeus, 1758). **Ocean Science Journal**. 50(2):475-480.

Wijgerde, T., C. I. F. Silva, V. Scherders, J. Van Bleijswijk and R. Osinga. 2014. Coral Calcification Under Daily Oxygen Saturation and pH Dynamics Reveals the Important Role of Oxygen. **Biology Open**. 3: 489-493.

Yucharoen, M., T. Yeemin, B. E. Casareto, Y. Suzuki, W. Samsuvan, K. Sangmanee, W. Klinthong, S. Pengsakun and M. Suttacheep. 2015. Abundance, Composition and Growth Rate of Coral Recruits on Dead Corals Following the 2010 Bleaching Event at Mu Ko Surin, the Andaman Sea. **Ocean Science Journal**. 50(2):307-315.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Tabel Hasil Pengukuran Faktor Abiotik

#### A. Hasil Pengukuran Faktor Lingkungan

Parameter	Satuan	Nilai				Rata-rata
		Jul	Sep	Okt	Des	
Suhu	°C	29	28	-	31	29,33
Salinitas	‰	34	33	34	34	33,75
pH		8,37	8,28	-	8,11	8,25
DO	mg/L	7,8	8,1	-	8,5	8,13
Kecerahan	m	1,3	1,1	-	1,2	1,2
Arus	cm/s	7,3	7,8	-	-	7,55
Turbiditas	NTU	3,58				12,03
		7,27	7,3	16,2	-	
		25,8				

#### B. Hasil Perhitungan Laju Sedimentasi

No.	Replikasi	Berat total	Hari (d)	Luas sediment trap (cm <sup>2</sup> )	LS	Rata-rata
1	1	54808,8	31	19,625	90,09	89,27
	2	54664,5	31	19,625	89,85	
	3	53459,4	31	19,625	87,87	
2	1	42465	89	19,625	24,31	14,96
	2	20675	89	19,625	11,83	
	3	15254	89	19,625	8,73	

Keterangan: LS: Laju Sedimentasi (mg cm<sup>-2</sup> d)

## Lampiran 2. Tabel Perhitungan Densitas Biota

## A. Densitas Rekrut Karang

Replikasi	Substrat	
	KM	TB
1	6	18
2	6	14
3	3	16
4	4	14
5	3	21
6	3	19
7	4	15
8	5	12
9	4	13
10	7	13
<b>Total</b>	<b>45</b>	<b>155</b>
<b>Rata-rata</b>	<b>4,5</b>	<b>15,5</b>

B. Densitas Makroalga *Padina* sp dan CCA

Replikasi	Substrat			
	TB		KM	
	<i>Padina</i> sp.	CCA	<i>Padina</i> sp.	CCA
1	7	1	0	0
2	11	5	0	2
3	4	1	23	0
4	9	2	15	0
5	5	0	8	0
6	7	2	11	0
7	6	0	12	0
8	6	1	27	0
9	8	3	14	0
10	10	4	3	1
<b>Total</b>	<b>73</b>	<b>19</b>	<b>113</b>	<b>3</b>
<b>Rata-rata</b>	<b>7,3</b>	<b>1,9</b>	<b>11,3</b>	<b>0,3</b>

Lampiran 3. Tabel Komposisi dan Kelimpahan Genera Karang yang Ditemukan pada Lokasi Penelitian

A. Substrat Terumbu Buatan

No.	Species	Famili	Ni										Total
			C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	C.6	C.7	C.8	C.9	C.10	
1	<i>Acropora</i> sp1	Acroporidae	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	<b>3</b>
2	<i>Acropora</i> sp2	Acroporidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	<b>1</b>
3	<i>Turbinaria</i> sp	Dendrophyllidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<b>2</b>
4	<i>Galaxea</i> sp	Euphylliidae	2	1	1	0	0	3	0	1	1	1	<b>10</b>
5	<i>Favia</i> sp1	Faviidae	1	1	0	1	0	1	0	0	2	0	<b>6</b>
6	<i>Favia</i> sp2	Faviidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	<b>2</b>
7	<i>Favia</i> sp3	Faviidae	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	<b>3</b>
8	<i>Favites</i> sp1	Merulinidae	0	1	2	0	1	1	3	0	0	1	<b>9</b>
9	<i>Favites</i> sp2	Merulinidae	1	1	0	1	2	0	1	1	0	0	<b>7</b>
10	<i>Goniastrea</i> sp	Merulinidae	4	2	1	3	6	5	2	2	1	3	<b>29</b>
11	<i>Goniopora</i> sp1	Poritidae	6	4	11	6	7	7	5	5	6	6	<b>63</b>
12	<i>Goniopora</i> sp2	Poritidae	3	4	0	2	1	1	1	2	2	0	<b>16</b>
13	<i>Porites</i> sp	Poritidae	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	<b>4</b>
<b>Jumlah koloni</b>			<b>18</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>155</b>
<b>Jumlah spesies</b>			<b>7</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>13</b>



## B. Substrat Karang Mati

No.	Species	Famili	Ni										Total	
			R.1	R.2	R.3	R.4	R.5	R.6	R.7	R.8	R.9	R.10		
1	<i>Acropora</i> sp1	Acroporidae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	<i>Acropora</i> sp2	Acroporidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	<i>Turbinaria</i> sp	Dendrophyllidae	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	3	
4	<i>Galaxea</i> sp	Euphylliidae	1	1	0	0	2	0	0	1	0	3	8	
5	<i>Favia</i> sp1	Faviidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	
6	<i>Favia</i> sp2	Faviidae	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	
7	<i>Favia</i> sp3	Faviidae	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	3	
8	<i>Heliofungia</i> sp	Fungiidae	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
9	<i>Favites</i> sp1	Merulinidae	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
10	<i>Favites</i> sp2	Merulinidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
11	<i>Favites</i> sp3	Merulinidae	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2	
12	<i>Goniastrea</i> sp	Merulinidae	0	2	0	1	0	0	0	3	0	1	7	
13	<i>Goniopora</i> sp1	Poritidae	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	6	
14	<i>Goniopora</i> sp2	Poritidae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	
15	<i>Porites</i> sp1	Poritidae	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	
16	<i>Porites</i> sp2	Poritidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	
<b>Jumlah koloni</b>			<b>6</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>45</b>	
<b>Jumlah spesies</b>			<b>5</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>16</b>	

#### Lampiran 4. Hasil Analisis Statistik

##### A. Hasil Uji Normalitas Densitas Rekrut Karang

###### Tests of Normality

	Substrat	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Densitas Rekrut Karang	KM	,236	10	,120	,886	10	,151
	TB	,194	10	,200*	,919	10	,351

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

##### B. Hasil Uji Normalitas Densitas Makroalga *Padina* sp

###### Tests of Normality

	Substrat	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Densitas <i>Padina</i> sp.	KM	,142	10	,200*	,942	10	,577
	TB	,154	10	,200*	,973	10	,915

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

## C. Hasil Uji Normalitas Densitas CCA

**Tests of Normality**

	Substrat	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Densitas CCA	KM	,472	10	,000	,532	10	,000
	TB	,206	10	,200*	,916	10	,325

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

## D. Hasil Uji t sampel bebas Densitas Rekrut Karang

**Independent Samples Test**

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Densitas Rekrut Karang	Equal variances assumed	5,184	,035	-10,596	18	,000	-11,00000	1,03816	-13,18109	-8,81891
	Equal variances not assumed			-10,596	13,019	,000	-11,00000	1,03816	-13,24248	-8,75752

E. Hasil Uji Korelasi Makroalga *Padina* sp dengan Rekrut Karang

**Correlations**

		Padina	Rekrut Karang
<i>Padina</i> sp	Pearson Correlation	1	-,398
	Sig. (2-tailed)		,082
	N	20	20
Rekrut Karang	Pearson Correlation	-,398	1
	Sig. (2-tailed)	,082	
	N	20	20

F. Hasil Uji Korelasi CCA dengan Rekrut Karang

**Correlations**

			CCA	Rekrut Karang
Spearman's rho	CCA	Correlation Coefficient	1,000	,517*
		Sig. (2-tailed)	.	,020
		N	20	20
	Rekrut Karang	Correlation Coefficient	,517*	1,000
		Sig. (2-tailed)	,020	.
		N	20	20

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

## Lampiran 5. Beberapa Dokumentasi Kegiatan Penelitian

## A. Pengukuran Data Faktor Lingkungan (Oksigen Terlarut)



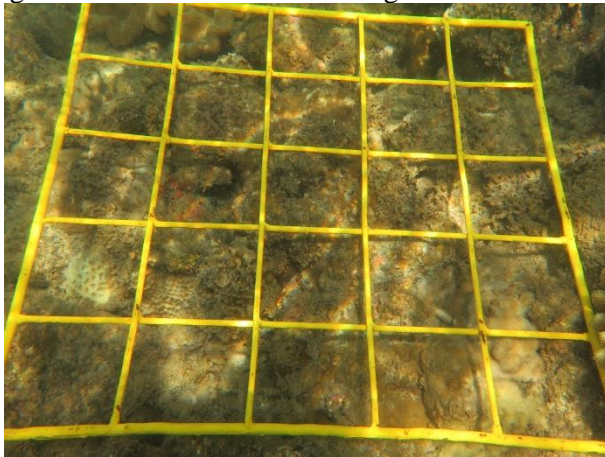
(Dokumentasi Pribadi, 2019)

## B. Pengukuran Berat Total Sedimen untuk Menentukan Laju Sedimentasi



(Dokumentasi Pribadi, 2020)

### C. Pengamatan Densitas Rekrut Karang



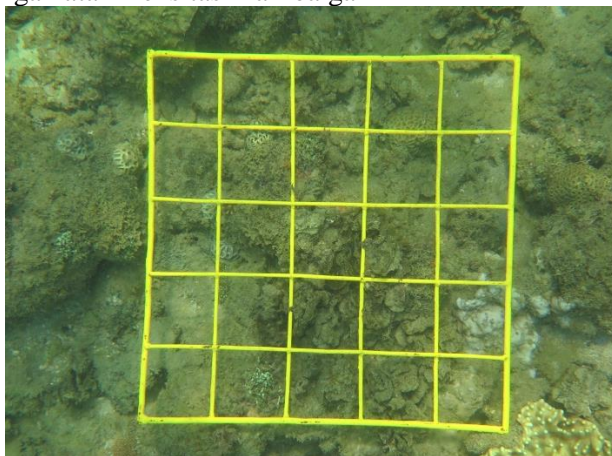
(Dokumentasi Pribadi, 2019)

### D. Pengukuran Panjang Rekrut Karang



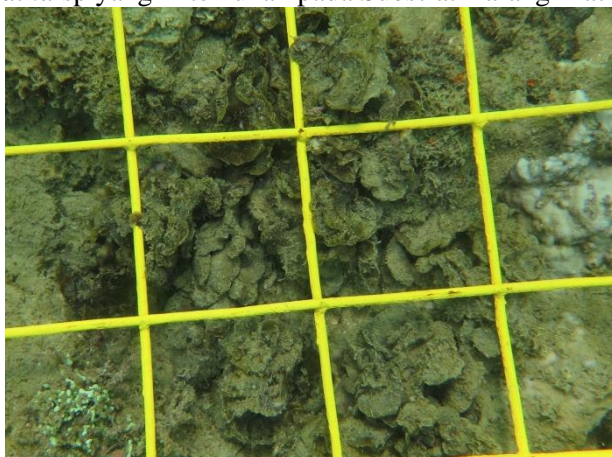
(Dokumentasi Pribadi, 2019)

E. Pengamatan Densitas Makroalga



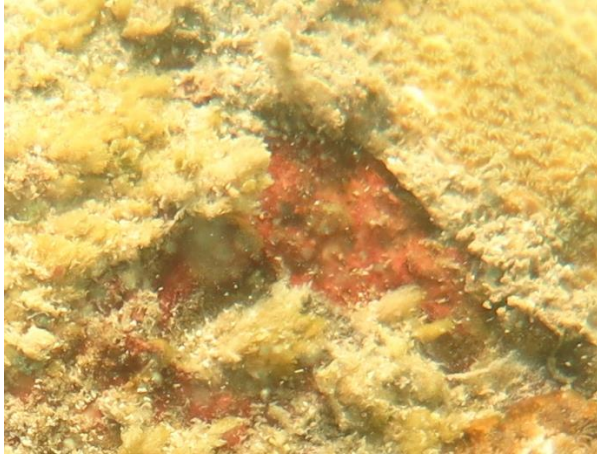
(Dokumentasi Pribadi, 2019)

F. *Padina* sp yang Ditemukan pada Substrat Karang Mati



(Dokumentasi Pribadi, 2019)

G. Crustose Coralline Algae dan Alga Lain yang Menempel pada Substrat Terumbu Buatan



(Dokumentasi Pribadi, 2019)



Lampiran 6. Beberapa Dokumentasi Genera Rekrut Karang yang Ditemukan pada Lokasi Penelitian

A. *Acropora*



(Dokumentasi Pribadi, 2019)

B. *Favia*



(Dokumentasi Pribadi, 2019)

C. *Favites*



(Dokumentasi Pribadi, 2019)

D. *Galaxea*

(Dokumentasi Pribadi, 2019)

E. *Goniastrea*

(Dokumentasi Pribadi, 2019)

F. *Goniopora*

(Dokumentasi Pribadi, 2019)

G. *Montastrea*



(Dokumentasi Pribadi, 2019)

H. *Porites*



(Dokumentasi Pribadi, 2019)

I. *Turbinaria*



(Dokumentasi Pribadi, 2019)

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bontang, pada 20 Juli 1997. Penulis adalah anak keempat dari pasangan Bapak Ismuri dan Ibu Rini. Pendidikan formal penulis dimulai dari TK Baiturrahman Bontang, kemudian SDIT Asy-Syaamil, kemudian SMP Tashfia, kemudian SMAI Al-Azhar 4, dan sekarang tengah menempuh pendidikan di Departemen Biologi, Fakultas Ilmu Alam, Institut

Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis merupakan pribadi yang menggemari musik, sehingga pada tahun pertama dan kedua perkuliahan, penulis aktif mengikuti kegiatan dan menjadi pengurus dari Unit Kegiatan Mahasiswa Musik ITS. Pada tahun pertama, penulis juga aktif dalam mengikuti kepanitiaan seperti *Biological Opus Fair*, *ITS Futsal Championship*, dan kepanitiaan skala kecil lainnya di departemen biologi. Pada tahun kedua penulis menjadi bagian aktif dari Dewan Perwakilan Mahasiswa ITS, menjadi panitia perlombaan musik *Metronome*, dan terpilih menjadi peserta *Student Excursion* ke Singapura pada tahun 2017. Pada tahun ketiga penulis menjadi tenaga *Surveyor* untuk Laboratorium Ekologi Departemen Biologi ITS dan melaksanakan Kerja Praktek di Instalasi Budidaya Air Tawar Punten, Batu. Pada tahun keempat, penulis mendapatkan kesempatan untuk melakukan pertukaran pelajar di Universitas Chulalongkorn, Thailand. Penulis juga aktif menjadi asisten praktikum seperti Biologi Karang dan Biomonitoring,

Selain aktifitas organisasi, penulis juga berpartisipasi dalam kegiatan sosial mengajar bagi anak-anak di kampung binaan Himpunan Mahasiswa Biologi ITS, mengikuti perlombaan basket, voli, dan futsal mewakili Departemen Biologi, serta mengikuti lomba *Birdwatching* tingkat Nasional.

