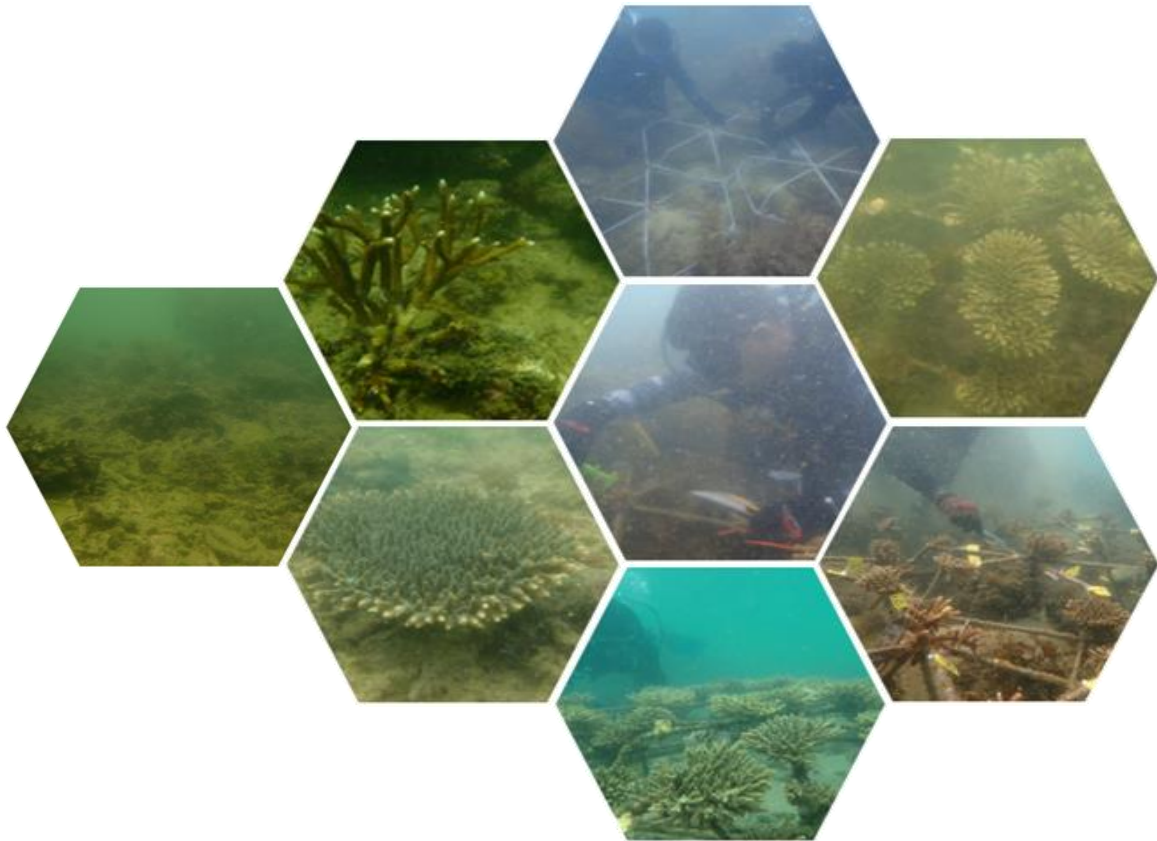


**KEANEKARAGAMAN, PERTUMBUHAN, KELANGSUNGAN HIDUP
DAN MORFOLOGI KARANG KERAS (*Scleractinia*)
GENUS *ACROPORA* DI PERAIRAN KERUH (*TURBID WATERS*)
KEPULAUAN SPERMONDE**

**DIVERSITY, GROWTH, SURVIVAL AND MORPHOLOGY OF HARD
CORALS (*Scleractinia*) GENUS *ACROPORA* IN TURBID WATERS
SPERMONDE ISLANDS**



DEDI PARENDE

L013191008



**PROGRAM DOKTOR ILMU PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN**

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

**KEANEKARAGAMAN, PERTUMBUHAN, KELANGSUNGAN HIDUP
DAN MORFOLOGI KARANG KERAS (*Scleractinia*)
GENUS *ACROPORA* DI PERAIRAN KERUH (*TURBID WATERS*)
KEPULAUAN SPERMONDE**

DEDI PARENDE

L013191008



**PROGRAM DOKTOR ILMU PERIKANAN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**DIVERSITY, GROWTH, SURVIVAL AND MORPHOLOGY OF HARD
CORALS (*Scleractinia*) GENUS *ACROPORA* IN TURBID WATERS
SPERMONDE ISLANDS**

DEDI PARENDEN

L013191008



**STUDY PROGRAM OF FISHERIES SCIENCE
GRADUATE SCHOOL
HASANUDDIN UNIVERSITY
MAKASSAR, INDONESIA
2024**

**KEANEKARAGAMAN, PERTUMBUHAN, KELANGSUNGAN HIDUP
DAN MORFOLOGI KARANG KERAS (*Scleractinia*) GENUS
ACROPORA DI PERAIRAN KERUH (*TURBID WATERS*)
KEPULAUAN SPERMONDE**

Disertasi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar doktor
Program Doktorat Ilmu Perikanan
Disusun dan diajukan oleh

DEDI PARENDE

L013191008

kepada

**PROGRAM DOKTORAL ILMU PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**DIVERSITY, GROWTH, SURVIVAL AND MORPHOLOGY OF HARD
CORALS (*Scleractinia*) GENUS *ACROPORA* IN TURBID WATERS
SPERMONDE ISLANDS**

Dissertation

As one of the requirements for achieving a doctoral degree

Study Program of Fisheries Science

Prepared and submitted by

**DEDI PARENDEN
L013191008**

To

**STUDY PROGRAM OF FISHERIES SCIENCE
GRADUATE SCHOOL
HASANUDDIN UNIVERSITY
MAKASSAR, INDONESIA
2024**

HALAMAN PENGAJUAN DISERTASI

**KEANEKARAGAMAN, PERTUMBUHAN, KELANGSUNGAN HIDUP
DAN MORFOLOGI KARANG KERAS (*Scleractinia*) GENUS
ACROPORA DI PERAIRAN KERUH (*TURBID WATERS*)
KEPULAUAN SPERMONDE**

Disertasi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar doktor

Program Studi Ilmu Perikanan

Disusun dan diajukan oleh

DEDI PARENDEN

L013191008

Kepada

**PROGRAM STUDI ILMU PERIKANAN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

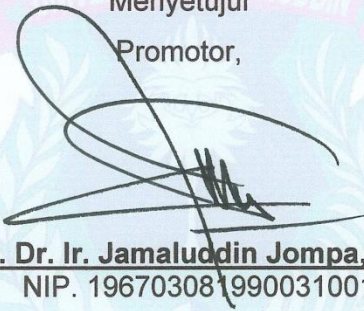
DISERTASI

KEANEKARAGAMAN, PERTUMBUHAN, KELANGSUNGAN HIDUP DAN MORFOLOGI
KARANG KERAS (*Scleractinia*)
GENUS *ACROPORA* DI PERAIRAN KERUH (*TURBID WATERS*)
KEPULAUAN SPERMONDE

DEDI PARENDE
L013191008

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Doktor Program Studi Ilmu Perikanan
Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin
pada tanggal 6 Maret 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui
Promotor,



Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.
NIP. 196703081990031001

Ko-Promotor,



Prof. Dr. Ir. Chair Rani, M.Si.
NIP. 196804021992021001

Ko-Promotor,



Prof. Dr. Willem Renema

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Ilmu Perikanan,



Prof. Dr. Ir. H. Musbir, M.Sc
NIP. 196508101989111001

Dekan Fakultas
Ilmu Kelautan dan Perikanan,



Prof. Saffuddin, S.Pi., M.P., Ph.D.
NIP. 197506112003121003

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, disertasi dengan judul: “Keanekaragaman, Pertumbuhan, Kelangsungan Hidup dan Morfologi Karang Keras (*Scleractinia*) Genus *Acropora* Di Perairan Keruh (*Turbid Waters*) Kepulauan Spermonde” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr. Ir. Jalamuddin Jompa, M.Sc sebagai Promotor serta Prof. Dr. Ir. Chair Rani, M.Si. dan Prof. Dr. Willem Renema sebagai Co-Promotor. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari disertasi ini telah dipublikasikan di Jurnal *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*; Sci. 921 012060 (2021); DOI 10.1088/1755-1315/921/1/012060, sebagai artikel dengan judul “Condition of Hard Corals and Quality of The Turbid Waters in Spermonde Islands (Case Studies in Kayangan Island, Samalona Island and Kodingareng Keke Island)”. Salah satu bagian lain dari disertasi juga sudah dipublikasikan pada Biodiversitas Journal of Biological Diversity (2023) dengan judul Biodiversity of Hard Coral (*Scleractinia*) and Relation to Environmental Factors Turbid Waters in Spermonde Islands, South Sulawesi, Indonesia, Vol. 24 No. 9 (2023); DOI: 10.13057/biodiv/d240903. Selain itu, terdapat bagian lain dari disertasi ini yang juga telah disubmit dan menunggu penugasan reviewer untuk proses selanjutnya.

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

Makassar, April 2024



Dedi Parenden,
NIM. L013191008

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Kuasa atas limpahan berkat dan rahmat-Nya kami dapat merampungkan penulisan disertasi ini. Disertasi ini merupakan salah satu syarat dalam penyelesaian program doktor pada Program Studi Ilmu Perikanan pada Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin. Disertasi ini berjudul “**Keanekaragaman, Pertumbuhan, Kelangsungan Hidup dan Morfologi Karang Keras (*Scleractinia*) Genus *Acropora* di Perairan Keruh (*Turbid Waters*) Kepulauan Spermonde**”. Hasil penelitian ini diajukan sebagai disertasi dalam rangka menyelesaikan studi Program Doktor Ilmu Perikanan di Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin.

Ucapan terimakasih penulis ucapkan kepada Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc sebagai Promotor serta Prof. Dr. Ir. Chair Rani, M.Si. yang telah banyak meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyusun disertasi ini serta petunjuk-petunjuk yang diberikan selama penulis mengikuti proses perkuliahan program doktor di Program Studi Ilmu Perikanan Unhas. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Willem Renema sebagai Co-Promotor atas segala bantuan yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian untuk penyelesaian studi program doktor ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada para Tim Penguji : Prof. Dr. Ir. Abdul Harris, M.Si., Prof. Dr. Ir. Joeharnani Tresnati, DEA., Dr. Inayah Yasir, M.Sc., Dr. Syafyudin Yusuf, ST., M.Si., dan Dr. Giyanto, S.Si., M.Sc (penguji eksternal) yang telah banyak memberikan masukan untuk perbaikan penulisan disertasi ini mulai dari pelaksanaan seminar proposal, seminar hasil dan ujian tutup disertasi. Ucapan terimakasih yang sama penulis sampaikan juga kepada semua dosen dan Ketua Program Studi, pimpinan dan staf pada Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, serta kepada pimpinan Universitas Hasanuddin atas berbagai dukungan yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan doktor dengan baik.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada (i) Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Indonesia, yang telah memberikan beasiswa BPPDN untuk penulis; (ii) Proyek 4D-REEF yang didanai oleh program penelitian dan inovasi Horizon 2020 Uni Eropa untuk menyediakan pendanaan dan masukan parsial. Secara khusus penulis juga menyampaikan terima kasih kepada

Halwi Masdar S.Si, MSi bersama Tim Moncongloe Dive Center, Dr. Hartati Tamti, ST, M.Si, Dr. Singgih Afifah Putera, S.Ik. M.Si, Dr. Andi Nur Apung Masisseng, S.Pi. M.Si, Yermias Rumala Tuhumena, S.Ik., M.Si, Muhammad Rezky Yapie, S.Kel yang banyak membantu di lapangan saat pengambilan data dan penyusunan jurnal untuk publikasi. Terima kasih juga penulis haturkan kepada seluruh teman-teman kuliah Program Studi S3 Ilmu Perikanan angkatan 2019 atas dukungannya dan kekompakannya.

Penulis menyadari bahwa disertasi ini masih terdapat kekurangan untuk mendapatkan perbaikan di kemudian hari. Semoga disertasi ini dapat berkontribusi pada upaya pengelolaan dan pelestarian sumberdaya terumbu karang yang berkelanjutan, utamanya yang berkaitan dengan kegiatan rehabilitasi karang.

Makassar, April 2024

Penulis

ABSTRAK

DEDI PARENDE. L013191008. Keanekaragaman, Pertumbuhan, Kelangsungan Hidup dan Morfologi Karang Keras (*Scleractinia*) Genus *Acropora* di Perairan Keruh (*Turbid Waters*) Kepulauan Spermonde. Dibimbing oleh **JAMALUDDIN JOMPA** sebagai pembimbing utama dan **CHAIR RANI, WILLEM RENEMA** sebagai pembimbing anggota.

Meningkatnya degradasi terumbu karang yang disebabkan oleh faktor alami dan buatan di perairan keruh (*turbid waters*) yang bersumber dari peningkatan sedimentasi dan kekeruhan di Kepulauan Spermonde sangat mengancam kelestarian sumberdaya terumbu karang di salah satunya jenis karang keras. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kondisi dan keanekaragaman terumbu karang keras di daerah perairan yang keruh (Tahap I), melakukan uji coba rehabilitasi karang keras di perairan keruh dengan metode transplantasi (Tahap II), menganalisis karakter morfologi jenis karang keras dan kaitannya dengan parameter lingkungan perairan yang keruh (Tahap III). Penelitian ini menggunakan metode analisis statistik deskriptif untuk mengetahui pengaruh dan keterkaitan antar parameter penelitian meliputi kondisi tutupan karang, parameter lingkungan perairan keruh, parameter morfologi karang dengan metode PCA dan regresi. Hasil kajian pada Tahap I didapatkan data kondisi tutupan terumbu karang keras di Pulau Samalona sebesar 15%, Pulau Lae-Lae sebesar 7,67%, Pulau Kayangan sebesar 5,53% dan Gusung Tallang sebesar 3% dan berada pada kondisi jelek. Keanekaragaman karang di Pulau Samalona berada dalam kategori tinggi, sedangkan tiga pulau yang lain berada dalam kondisi sedang dan berdasarkan hasil analisis regresi linear terlihat bahwa parameter lingkungan meliputi : kekeruhan TDS, TSS, nitrat dan fosfat berdampak negatif terhadap tutupan terumbu karang. Hasil kajian pada Tahap II diketahui bahwa laju pertumbuhan tinggi karang keras jenis *Acropora donei* dan *Acropora millepora* lebih cepat dibandingkan jenis *Acropora muricata*. Tingkat sintasan karang jenis *Acropora millepora* pada Stasiun 3 memiliki sintasan lebih tinggi dibandingkan jenis karang lain yang ditransplantasi. Pada Tahap III didapatkan data karakter morfologi untuk parameter jumlah gigi per septum berbeda nyata antara *Acropora muricata* dan *Acropora millepora* di perairan keruh dan jernih. Selain itu, parameter yang berbeda nyata berdasarkan hasil analisis *Independent sample t-test* yaitu ketebalan dinding pada *Acropora donei* dan *Acropora muricata* di perairan keruh dan jernih. Penelitian ini membuktikan bahwa pelaksanaan transplantasi karang tidak hanya dapat dilakukan pada perairan jernih tetapi juga dapat dilakukan pada perairan keruh dengan keberhasilan pertumbuhan, laju pertumbuhan karang dan sintasan dari jenis karang yang ditransplantasi di perairan keruh. Penelitian ini merekomendasikan kegiatan transplantasi karang pada perairan keruh menggunakan fragmen karang keras jenis *Acropora donei*, *Acropora muricata* dan *Acropora millepora*. Diantara ketiga spesies karang tersebut fragmen dari jenis karang *Acropora millepora* karena memiliki ketahanan hidup yang lebih baik di perairan keruh berdasarkan hasil penelitian ini.

Kata Kunci : Perairan Keruh; Keanekaragaman; *Acropora* sp;
Transplantasi; Morfologi

ABSTRACT

DEDI PARENDE. L013191008. Diversity, Growth, Survival and Morphology of Hard Corals (*Scleractinia*) Genus *Acropora* in Turbid Waters Spermonde Islands. Supervised by **JAMALUDDIN JOMPA** as promotor and **CHAIR RANI** and **WILLEM RENEMA** as co-promotor

The increasing degradation of coral reefs caused by natural and artificial factors in turbid waters sourced from increased sedimentation and turbidity in the Spermonde Islands threatens the sustainability of coral reef resources, including hard coral species. This study aims to assess the condition and diversity of hard coral reefs in turbid waters (Chapter I), conduct hard coral rehabilitation trials in turbid waters with transplantation methods (Chapter II), analyze the morphological characteristics of hard coral species genus *Acropora* and their relationship with environmental parameters of turbid waters (Chapter III). This study used descriptive statistical analysis methods to determine the influence and interrelationship between research parameters, including coral cover conditions, turbid water environmental parameters, and coral morphological parameters with PCA and regression methods. The results of the study in Chapter I obtained data on the condition of hard coral reef cover on Samalona Island by 15%, Lae-Lae Island by 7.67%, Kayangan Island by 5.53%, and Gusung Tallang by 3% and are in poor condition. Coral diversity on Samalona Island is in the high category, while the other three islands are in moderate condition. Based on the results of linear regression analysis, it can be seen that environmental parameters, including turbidity of TDS, TSS, nitrate, and phosphate, have a negative impact on coral reef cover. The study results in Chapter II showed that the growth rate of *Acropora donei* and *Acropora millepora* hard corals was faster than *Acropora muricata*. The survival rate of *Acropora millepora* corals at Station 3 is higher than that of other transplanted corals. In Chapter III, the morphological character data for the number of teeth per septum parameter was significantly different between *Acropora muricata* and *Acropora millepora* in turbid and clear waters. In addition, parameters that are significantly different based on the results of the Independent sample t-test analysis are wall thickness in *Acropora donei* and *Acropora muricata* in turbid and clear waters. This study proves that coral transplantation can be implemented in clear waters and turbid waters with success in growth, coral growth rate, and survival of transplanted coral species in turbid waters. This study recommends coral transplantation activities in turbid waters using hard coral fragments of *Acropora donei*, *Acropora muricata* and *Acropora millepora*. Among the three coral species, fragments of *Acropora millepora* coral species have better survival in turbid waters based on the results of this study.

Keywords: Turbid Waters; Diversity; *Acropora* sp; Transplantation; Morphology

DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN PENGANTAR DISERTASI	v
HALAMAN PERSETUJUAN	vi
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN KELIMPAHAN HAK CIPTA	vii
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAK	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR ARTIKEL	xix
BAB I. PENDAHULUAN UMUM	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Penelitian Terdahulu	3
1.3. Identifikasi dan Batasan Masalah	4
1.4. Rumusan Masalah	4
1.5. Tujuan Penelitian	5
1.6. Hipotesis Penelitian	5
1.7. Kerangka Pikir Penelitian	6
1.8. Kebaharuan (Novelties)	8
1.9. Terumbu Karang	8
1.10. Genus <i>Acropora</i>	10
1.11. Kualitas Lingkungan Pesisir	17
BAB II. SEBARAN DAN KEKAYAAN JENIS KARANG DI PERAIRAN KERUH (<i>Turbid Waters</i>) KEPULAUAN SPERMONDE	26
2.1. Pendahuluan	26
2.2. Zonasi Perairan Keruh Berdasarkan Kandungan TSS (<i>Total Suspended Solid</i>) di Perairan Spermonde	30
2.3. Karakteristik Lingkungan Perairan Keruh (<i>Turbid Waters</i>)	41
2.4. Kekayaan Spesies Karang Keras di Perairan Keruh (<i>Turbid Waters</i>) Kepulauan Spermonde	46
2.5. Kesimpulan	52
BAB III. KONDISI DAN SEBARAN JENIS KARANG KERAS (<i>HARD CORAL</i>) PADA PERAIRAN KERUH (<i>TURBID WATERS</i>) ...	62
3.1. Pendahuluan	62
3.2. Metode Penelitian	64
3.3. Hasil dan Pembahasan	71
3.4. Kesimpulan	82
BAB IV. PERTUMBUHAN DAN KELANGSUNGAN HIDUP KARANG KERAS GENUS <i>ACROPORA</i> DI PERAIRAN KERUH (<i>TURBID WATERS</i>).....	89
4.1. Pendahuluan	89
4.2. Metode Penelitian	91
4.3. Hasil dan Pembahasan	95
4.4. Kesimpulan	115
BAB V. KARAKTER MORFOLOGI KARANG KERAS GENUS <i>ACROPORA</i> DI PERAIRAN KERUH (<i>TURBID WATERS</i> ...	120
5.1. Pendahuluan	120

5.2.	Metode Penelitian	122
5.3.	Hasil dan Pembahasan	128
5.4.	Kesimpulan	142
BAB VI. PEMBAHASAN UMUM		147
6.1.	Keanekaragaman Karang Keras dan Parameter Lingkungan Perairan Keruh (<i>Turbid Waters</i>)	147
6.2.	Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Karang Keras Genus <i>Acropora</i> di Perairan Keruh (<i>Turbid Waters</i>) Dengan Metode Transplantasi	148
6.3.	Karakter Morfologi Karang Keras Genus <i>Acropora</i> di Perairan keruh (<i>Turbid waters</i>)	150
6.4.	Pengelolaan dan Rehabilitasi Karang Genus <i>Acropora</i> sp. di Perairan Keruh (<i>Turbid Waters</i>)	152
6.5.	Kesimpulan	153
LAMPIRAN		158

DAFTAR TABEL

Nomor		Hal.
1.	Kategori Tingkat Kekeruhan berdasarkan Kandungan TSS (Total Suspended Solid) di Perairan Spermonde yang tersebar dari zona dalam hingga ke zona luar (Faizal, 2012)	32
2.	Kandungan TSS (<i>Total Suspended Solid</i>) di Perairan Spermonde yang tersebar dari zona dalam hingga ke zona luar pada musim hujan (Faizal, 2012)	34
3.	Kandungan TSS (<i>Total Suspended Solid</i>) di Perairan Spermonde yang tersebar dari zona dalam hingga ke zona luar pada musim kemarau (Faizal, 2012)	37
4.	Kandungan TSS (<i>Total Suspended Solid</i>) rata-rata tahunan di Perairan Spermonde yang tersebar dari zona dalam hingga ke zona luar (Faizal, 2012)	40
5.	Faktor Lingkungan Perairan Keruh (<i>Turbid Waters</i>) di Kepulauan Spermonde	41
6.	Kekayaan spesies karang keras pada jernih dan keruh (<i>turbid waters</i>) di Kepulauan Spermonde	47
7.	Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Penelitian	65
8.	Kode Biota dan Substrat	67
9.	Pengelompokan Kondisi Terumbu Karang Berdasarkan Nilai Tutupan Karang Hidup	70
10.	Parameter Kualitas Perairan di masing-masing Lokasi Penelitian	71
11.	Genera Karang pada masing-masing Lokasi Penelitian	78
12.	Alat dan Bahan yang digunakan dalam penelitian ini	92
13.	Parameter Kualitas Perairan di Ketiga Stasiun Pengamatan .	97
14.	Alat dan Bahan yang digunakan dalam penelitian	119
15.	Jumlah spesimen yang dikoleksi berdasarkan kelompok <i>Lifeform Acropora</i> pada lokasi penelitian di Gusung Tallang (<i>Turbid Waters</i>)	122
16.	Jumlah Spesies dari setiap kelompok <i>Lifeform Acropora</i> pada lokasi penelitian di Gusung Tallang dan berbagai perairan di Indonesia	123
17.	Jenis Karang berdasarkan kelompok <i>Lifeform</i> dan jenis <i>Acropora</i> yang ditemukan di lokasi penelitian Gusung Tallang dan beberapa Lokasi di Indonesia	124
18.	Jenis Karang Keras Genus <i>Acropora</i> yang teridentifikasi dari hasil transplantasi karang di lokasi penelitian perairan keruh Gusung Tallang	125
19.	Klasterisasi masing-masing stasiun penelitian berdasarkan jumlah spesies karang <i>Acropora</i> yang ditemukan	129
20.	Hasil Identifikasi Bentuk Morfologi Spesimen Karang Uji Genus <i>Acropora</i> di perairan keruh (<i>Turbid Waters</i>) dan Jernih (Lokasi Kontrol)	130

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Hal.
1.	Kerangka Pikir Penelitian	7
2.	Representasi bentuk kategori koloni karang: a. arborescent, b. hispidose, c. corymbose, d. caespitose, e. caespitose-corymbose, f. digitate, g. table, h. plate, i. arborescent table, j. cuneiform (Wallace, 1998)	11
3.	Hubungan antara polip dan unsur kerangka dalam karang keras (FAO, 1998)	12
4.	Struktur kerangka di dalam karang keras (FAO, 1998)	13
5.	Representasi diagram aksial dan radial koralit, yang digunakan dalam deskripsi spesies (Wallace, 1999)	14
6.	Representasi bentuk kategori radial corallite karang: a: tubular, round opening; b: tubular, oblique opening; c: tubular appressed; d: tubular, dimidiate opening; e: tubular, nariform opening; f: rounded tubular; g: dimidiate; h: nariform; i: labellate scaly lip; j: labellate flaring lip; k cochleariform; l: sub immersed; m: immersed. (Wallace, 1998)	15
7.	Representasi kategori umum yang digunakan untuk mengidentifikasi bentuk radial corallite dari karang <i>Acropora</i> (Wallace, 1999)	16
8.	Representasi coenosteum dari karang <i>Acropora</i> : (a-b). costate; (c-f). costate, with increasing degrees of spinule development; (g). reticulate; (h-j). simple spinules; (k). forked spinules; (l-q). increasingly elaborate spinules; (r). meandroid elaborate spinules. (Wallace, 1999)	17
9.	a) Kekerusuhan perairan akibat faktor alamiah (dibagian kiri) dan faktor Antropogenik (dibagian kiri); b) Jenis rezim kekerusuhan pada skala temporal. (Sweifler et al., 2021)	28
10.	Sebaran spasial TSS pada musim hujan di Perairan Kepulauan Spermonde	33
11.	Sebaran spasial TSS pada musim kemarau di Perairan Kepulauan Spermonde	36
12.	Sebaran spasial TSS Rata-Rata Tahunan di Perairan Kepulauan Spermonde	39
13.	Lokasi Penelitian di zona dalam perairan Kepulauan Spermonde, Kota Makassar	65
14.	Pengambilan data karang menggunakan <i>Underwater Photo Transect</i> (UPT), a) ilustrasi penempatan garis transek di atas karang dan penempatan frame yang berselang seling di atas transek, b) contoh penempatan frame pada garis transek/roll meter bernomor ganjil; dan c) contoh penempatan frame pada garis transek/roll meter bernomor genap	67
15.	Ilustrasi Pengambilan Data Karang Menggunakan Transek Kuadran	68
16.	Grafik Persentase Tutupan Karang pada Lokasi Penelitian	74
17.	Keanekaragaman Karang Pada Masing-Masing Lokasi Penelitian	77

18.	Biplot Faktor lingkungan, kategori mayor setiap lokasi. (HC: Hard Coral; DC: Dead Coral; DCA: Dead Coral with Algae; SC: Soft Coral; SP : Sponge; FS: Flesy Seaweed; OT: Others)	79
19.	Grafik Hubungan Parameter Lingkungan dan Tutupan Karang Hidup	81
20.	Lokasi Penelitian (Penempatan Media Transplantasi) di Gusung Tallang	92
21.	Desain dan Penempatan Rangka Spyder di Lokasi Penelitian	95
22.	Pengukuran Pertumbuhan Karang Menggunakan Jangka Sorong	96
23.	Laju Pertumbuhan Tinggi Karang <i>Acropora</i> sp. (<i>a. Acropora donei</i> ; <i>b. Acropora muricata</i> ; dan <i>c. Acropora millepora</i>) (ns = tidak berbeda nyata ; * : berbeda nyata)	99
24.	Laju Pertumbuhan Lebar Karang <i>Acropora</i> sp. (<i>a. Acropora donei</i> ; <i>b. Acropora muricata</i> ; dan <i>c. Acropora millepora</i>) (ns = tidak berbeda nyata ; * : berbeda nyata)	102
25.	Sintasan Karang Transplantasi Ketiga Jenis <i>Acropora</i> (karang uji)	104
26.	Biplot Faktor Penciri Parameter Lingkungan Perairan di setiap Stasiun Pengamatan (Sumbu F1 dan F2 adalah nilai persentase keragaman dari data yang digunakan)	107
27.	Analisis Regresi Linier Pengaruh Kekeruhan Terhadap Laju Pertumbuhan Karang Genus <i>Acropora</i>	109
29.	Lokasi Pengambilan Sampel Karang Keras Genus <i>Acropora</i> sp di Gusung Tallang dan Pulau Langkai	119
30.	Pengamatan Karakteristik Morfologi Menggunakan Mikroskop Digital. a dan d. <i>Axial corallite</i> ; b. <i>Radial corallite</i> ; c. <i>Coenosteum</i>	121
31.	Diagram Venn Jumlah Spesies yang Terdapat pada ketiga Stasiun Pengamatan (Keterangan : AY = <i>Acropora yongei</i> , AT : <i>Acropora tenuis</i> , AS : <i>Acropora secale</i> , AL = <i>Acropora latistella</i> , AMC = <i>Acropora muricata</i> , AML = <i>Acropora millepora</i> , AD = <i>Acropora donei</i> , ACM = <i>Acropora acuminata</i> , AA = <i>Acropora abrolhosensis</i> , AMD = <i>Acropora microclados</i>	128
32.	Pengukuran Axial Luar pada tiga spesimen karang uji para perairan keruh dan jernih serta hasil analisis Independent Sample t-test. (ns = tidak berbeda nyata ; * : berbeda nyata)	137
33.	Pengukuran Axial Dalam pada tiga spesimen karang uji pada perairan keruh dan jernih serta hasil analisis Independent Sample t-test. (ns = tidak berbeda nyata ; * : berbeda nyata)	139
34.	Pengukuran Panjang Septa Axial pada tiga spesimen karang uji pada perairan keruh dan jernih serta hasil analisis Independent Sample t-test. (ns = tidak berbeda nyata ; * : berbeda nyata)	141

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Hal.
1.	Persentase Tutupan Bentik (life form) Karang di Masing-Masing Lokasi Penelitian	159
2.	Hasil Analisis PCA (<i>Principal Component Analysis</i>)	160
3.	Hasil Analisis Regresi Pengaruh Keekeruhan Terhadap Tutupan Karang	162
4.	Hasil Analisis regresi Pengaruh TDS terhadap tutupan karang	162
5.	Hasil Analisis Regresi pengaruh Nitrat Terhadap Tutupan Karang	163
6.	Hasil Analisis Regresi pengaruh Fosfat Terhadap Tutupan Karang	163
7.	Hasil Analisis Regresi Pengaruh TSS terhadap Tutupan Karang	164
8.	Laju Pertumbuhan (Tinggi) Karang <i>Acropora donei</i> pada masing-masing stasiun pengamatan selama 7 kali monitoring ..	165
9.	Laju Pertumbuhan (Tinggi) Karang <i>Acropora muricata</i> pada masing-masing stasiun pengamatan selama 7 kali monitoring ..	168
10.	Laju Pertumbuhan (Tinggi) Karang <i>Acropora millepora</i> pada masing-masing stasiun pengamatan selama 7 kali monitoring ..	171
11.	Laju Pertumbuhan (Lebar) Karang <i>Acropora donei</i> pada masing-masing stasiun pengamatan selama 7 kali monitoring ..	174
12.	Laju Pertumbuhan (Lebar) Karang <i>Acropora muricata</i> pada masing-masing stasiun pengamatan selama 7 kali monitoring ..	174
13.	Laju Pertumbuhan (Lebar) Karang <i>Acropora millepora</i> pada masing-masing stasiun pengamatan selama 7 kali monitoring ..	175
14.	Analisis ANOVA Laju Pertumbuhan (Tinggi dan Lebar) karang uji masing-masing stasiun pengamatan selama 7 kali monitoring	175
15.	Analisis Regresi Linier Pengaruh Keekeruhan Terhadap Laju Pertumbuhan Karang <i>Acropora</i> sp	176
16.	Morfologi Karang <i>Acropora</i> sp. di Perairan Keruh Kelompok <i>Divaricata</i>	176
17.	Morfologi Karang <i>Acropora</i> sp. di Perairan Keruh Kelompok <i>horrida</i>	177
18.	Morfologi Karang <i>Acropora</i> sp. di Perairan Keruh Kelompok <i>Aspera</i>	189
19.	Morfologi Karang <i>Acropora</i> sp. di Perairan Jernih Kelompok <i>Divaricata</i>	192
20.	Morfologi Karang <i>Acropora</i> sp. di Perairan Jernih Kelompok <i>Horrida</i>	196
21.	Morfologi Karang <i>Acropora</i> sp. di Perairan Jernih Kelompok <i>Aspera</i>	202
22.	Analisis Axial Luar (<i>Outer Axial</i>) Menggunakan independent samples t-student Karang <i>Acropora</i> sp	215
23.	Analisis Inner Axial (<i>Inner Axial</i>) Menggunakan independent samples t-student Karang <i>Acropora</i> sp	217
24.	Analisis Septa axial Menggunakan independent samples t-student Karang <i>Acropora</i> sp	219

DAFTAR ARTIKEL

1. Condition of Hard Corals and Quality of the Turbid Waters in Spermonde Islands (Case Studies in Kayangan Island, Samalona Island and Kodingareng Keke Island). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*; Sci. 921 012060 (2021); **DOI** 10.1088/1755-1315/921/1/012060. (Published).
2. Biodiversity of Hard Coral (*Scleractinia*) and Relation to Environmental Factors Turbid Waters in Spermonde Islands, South Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* (2023), Vol. 24 No. 9 (2023); **DOI**: 10.13057/biodiv/d240903. (Published).
3. Growth Rate and Survival of Hard Coral *Acropora* sp in Turbid Waters of the Spermonde Islands, South Sulawesi, Indonesia. (Submitted)

BAB I. PENDAHULUAN UMUM

1.1. Latar Belakang

Kepulauan Spermonde merupakan gugusan pulau yang terdiri dari kurang lebih 121 pulau yang memiliki paparan terumbu karang yang luas (Jompa, 2010). Pulau-pulau ini tersebar mulai dari Kota Makassar hingga Kabupaten Barru. Luas terumbu karang perairan Kepulauan Spermonde mencapai 60.000 ha yang meliputi tipe karang *fringing reef* yang tumbuh di tepi pantai pulau, maupun *patch reef* atau gosong karang di antara pulau-pulau dan yang membentuk *barrier reef* (terumbu karang penghalang) di sisi luar berhadapan dengan laut lepas. Gugusan karang (*patch reef*) yang tersebar di Kepulauan Spermonde memiliki jumlah yang lebih banyak dibanding dengan jumlah pularunya. Keberadaan ekosistem terumbu karang yang luas, perbedaan kondisi geografis, perubahan iklim, dan kondisi lingkungan menjadi faktor perbedaan jenis-jenis karang. Beberapa jenis karang yang penyebarannya cukup tinggi di perairan Spermonde berasal dari genus *Acropora*, *Pocillopora*, *Porites* dan *Stylopora* dapat ditemukan pada beberapa lokasi pemantauan kondisi kesehatan karang dengan jumlah individu yang cukup tinggi (LIPI, 2018).

Degradasi ekosistem terumbu karang di berbagai belahan dunia dewasa ini merupakan isu global yang telah menjadi subjek penelitian dan usaha-usaha pengelolaan secara intensif (Douvere, 2008; Aswani *et al.*, 2012; Anthony *et al.*, 2015). Degradasi terumbu karang yang parah telah berlangsung lebih dari lima puluh tahun terakhir dan penyebab utamanya adalah dampak dari aktivitas manusia dan perubahan iklim global (Pandolfi *et al.*, 2011; Burke *et al.*, 2011). Pada umumnya terumbu karang terpapar oleh praktek penangkapan ikan yang merusak, reklamasi pantai, penambangan karang dan eksploitasi berlebihan ikan-ikan herbivora. Selain itu, tekanan juga berasal dari peningkatan masukan sedimen, nutrisi dan polutan dari lahan atas serta ledakan populasi predator dan ancaman penyakit. Tekanan-tekanan ini telah menyebabkan penurunan nilai persentase tutupan terumbu karang dari sekitar 60% pada lima puluh tahun yang lalu, menjadi sekitar 20% pada kondisi saat ini (Hughes *et al.*, 2010; Atweberhan *et al.*, 2013). Selain itu, kerusakan yang terjadi juga diakibatkan oleh limbah domestik dan industri (Jompa, 1996; Edinger & Risk, 2000).

Ekosistem terumbu karang yang mengalami penurunan tutupan karang hidupnya perlu dilakukan upaya penanganan untuk mengembalikan struktur dan fungsi dari ekosistem tersebut. Kegiatan yang dapat dilakukan salah satunya adalah melakukan rehabilitasi karang dengan metode transplantasi karang. Menurut Soong dan Chen (2003), transplantasi karang dilakukan karena rendahnya kemampuan karang untuk kembali ke kondisi semula (*recovery*) dan kurangnya jumlah anakan karang yang muncul di alam. Kegiatan transplantasi yang

dilakukan lebih banyak menggunakan fragmen karang *acropora* karena karang *Acropora* mampu tumbuh 5-10 cm pertahun (Harriot dan Fisk, 1988). Hal ini didukung oleh Supriharyono (2007) bahwa karang *branching* memiliki kemampuan untuk tumbuh sampai lebih dari 2 cm/tahun sedangkan karang masif memiliki pertumbuhan lambat yakni lebih kecil dari 1 cm/tahun. Karang keras memiliki pertumbuhan yang lambat, namun memiliki keuntungan yaitu mampu membersihkan dirinya sendiri (Barus *et al.*, 2018).

Terdapat beberapa penelitian yang sudah dilakukan terkait dengan rehabilitasi karang. Penelitian Yuliantri *et al.* (2006) di perairan Barrang Lompo Sulawesi Selatan, Muhidin (2012) di Pulau Kelapa Kepulauan Seribu, Saifullah *et al.* (2023) di Pulau Satonda, Suparno *et al.* (2018) di sungai Pinang, Jipriandi *et al.* (2013) di Kepulauan Anambas, Rani *et al.* (2017) di Kepulauan Spermonde, Subhan (2020) di Teluk Kendari, Sulawesi Selatan, Yucharoen *et al.* (2013) di Rad Island Thailand, Hamzah dan Nursinar (2021) di Botutonuo Marine Area Kabupaten Bolango, dan Mulyadi *et al.* (2018) di Perairan Banyak Tree Lahoi Bintan. Secara keseluruhan fragmen yang digunakan dari jenis *Acropora* sp. dengan pertumbuhan cukup baik. Genera *Porites*, *Goniopora*, *Galaxea*, *Pavona*, *Turbinaria* merupakan jenis karang yang resisten terhadap perubahan lingkungan dan mampu bertahan pada perairan yang keruh (James *et al.*, 2005; Mcclanahan, 2004; Muzaki *et al.*, 2020; Siringoringo *et al.*, 2020).

Tingkat keberhasilan transplantasi karang tidak terlepas dari proses pengambilan fragmen sampai penanaman. Menurut Rani *et al.* (2017) transplantasi terumbu karang dikatakan berhasil apabila sudah dapat meminimalisir stress dari fragmen karang. Tingkat kedalaman perairan juga dapat mempengaruhi proses fotosintesis karang sehingga dapat mempengaruhi pertumbuhan karang. Menurut Bukhari *et al.* (2021) waktu pembersihan dapat mempengaruhi kelangsungan hidup karang, karena polip karang akan tertutup oleh partikel apabila tidak dibersihkan dan mempengaruhi proses fotosintesis. Menurut Mulyadi *et al.* (2018) semakin besar kandungan *Zooxanthellae* maka akan semakin besar mempengaruhi pertumbuhan karang.

Proses fotosintesis yang terus menerus berlangsung dengan baik akan mempengaruhi kerangka kapurnya. Hasil dari proses fotosintesis dapat dijadikan sebagai bahan pembentuk terumbu (Nybakken, 1988; Nontji, 2005; Zurba, 2019). Parameter lingkungan akan mempengaruhi adaptasi yang dilakukan untuk tetap mempertahankan diri (Prada *et al.*, 2008). Parameter lingkungan akan mempengaruhi bentuk dari setiap kerangka kapur baik itu perubahan parameter secara alamiah maupun perubahan parameter lingkungan yang disebabkan oleh manusia. Menurut Zurba (2019) bahwa akan terdapat perbedaan-perbedaan struktur karang antara satu karang dengan yang lain, karena terkait dengan habitat dan cara menyesuaikan diri dengan lingkungan.

Sistematika pengklasifikasian karang bertujuan untuk mengetahui hubungan kekerabatan dan evolusinya (Stobart 2000, Flot *et al.*, 2008, Casebolt 2011), hingga saat ini masih didasarkan pada morfologi kerangka karang (Wolstenholme *et al.*, 2003, Schmidt-Roach *et al.*, 2012, Arrigoni *et al.*, 2014a). Namun demikian, karang memiliki tingkat plastisitas tinggi karena karang memiliki sifat responsif terhadap lingkungan (Hilbish 1985, Doebeli dan Dieckmann 2003, Prada *et al.*, 2008), sehingga karang memiliki morfologi yang beranekaragam.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keanekaragaman jenis karang keras yang hidup pada kondisi perairan yang keruh (*turbid waters*) kemudian pada tahapan selanjutnya dilakukan uji coba rehabilitasi karang keras pada perairan yang keruh dengan metode transplantasi karang untuk mengetahui laju pertumbuhan dan sintasan karang hidup yang ditransplantasi pada perairan keruh (*turbid waters*) dan pengaruh dari beberapa kualitas perairan keruh. Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih spesifik terkait pengaruh dampak kekeruhan yang tinggi, dilakukan analisis untuk mengetahui karakter morfologi jenis karang keras dan kaitannya dengan ketahanan hidup secara alami dari adanya kekeruhan yang tinggi ini. Proses ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon pertumbuhan karang terhadap kondisi perairan yang keruh. Hasil penelitian yang dilakukan untuk melihat dampak sedimentasi terhadap laju pertumbuhan karang *Acropora* dan *Porites* yang dilakukan oleh Crabbe *et al.*, 2002 di Kawasan Konservasi Perairan Wakatobi, menunjukkan hasil bahwa tingkat sedimentasi sangat mempengaruhi kuantitas cahaya matahari yang mendukung pertumbuhan karang *Acropora valenciennesi*. Tingkat sedimentasi yang tinggi berada pada kisaran nilai $20.16 \pm 1,71$ g berat kering $m^{-2}d^{-1}$ dengan nilai nilai $n = 26$, tingkat sedimentasi sedang berada pada kisaran nilai $7,54 \pm 0,76$ g berat kering $m^{-2}d^{-1}$ dengan nilai nilai $n = 22$, dan tingkat sedimentasi rendah berada pada kisaran nilai $5,35 \pm 0,68$ g berat kering $m^{-2}d^{-1}$ dengan nilai nilai $n = 22$ (Crabbe *et al.*, 2002).

1.2. Penelitian Terdahulu

Menurut Giyanto *et al.* (2017) nilai indeks kesehatan terumbu karang di Makassar berkisar antara 3 - 6 atau dengan kata lain memiliki tutupan karang hidup rendah dengan potensi pemulihan tinggi sampai tutupan karang hidup yang tinggi dengan potensi pemulihan yang juga tinggi. Penelitian Ilham *et al.* (2017) menemukan tutupan karang di Pulau Barang Lompo tergolong sedang dengan rata-rata persentase tutupan sebesar 42% pada kedalaman 3 meter. Melalui proses fotosintesis dari *Zooxanthellae* menjadikan organisme ini berkembang baik pada kedalaman perairan yang masih dapat dijangkau oleh cahaya matahari. Tingkat kerusakan yang meningkat akibat kegiatan manusia, memberikan peluang untuk melakukan kegiatan transplantasi demi pemulihan struktur dan fungsi karang (McDonald *et al.*, 2016).

Penelitian Muhidin (2012) mendapatkan laju pertumbuhan rata-rata tinggi karang *Acropora microphthalma* berkisar antara 0,29-0,81 cm/bulan, sedangkan lebar berkisar antara 0,77-1,39 cm/bulan. Hasil yang berbeda didapatkan pada penelitian Yuliantri *et al.*, (2006) bahwa laju pertumbuhan *Acropora muricata* di bagian utara Barang Lompo masing-masing berkisar antara 1,05-2,18 cm selama 4 (empat) bulan. Penelitian lain yaitu yang dilakukan oleh Rani *et al.* (2017) mendapatkan laju pertumbuhan *Acropora robusta* sebesar 0,05-0,2 mm/2 minggu. Penelitian dengan menggunakan fragmen yang berbeda dilakukan oleh Subhan (2020) yang menemukan pertumbuhan karang *Acropora loripes* selama empat minggu berkisar antara 0,59-0,85 cm. Kedalaman perairan dapat mempengaruhi pertumbuhan karang dikarenakan memiliki pengaruh terhadap fotosintesis. Selain itu, dapat juga melakukan pembersihan untuk meningkatkan tingkat sintasan dari fragmen karang (Bukhari *et al.*, 2021).

Karang *Acropora* memiliki koralit yang istimewa yang mana pada bagian ujung cabang lebih besar dari koralit lainnya dan disebut dengan *axial corallite*. Penelitian yang dilakukan Rezky (2021) mendapatkan karakteristik morfologi dari genera *Acropora* yang dikoleksi dari Kepulauan Spermonde berbeda menurut kelompok dan spesies yang dilihat dari bentuk *life form*, koralit aksial dan radial, coenosteum, serta septa. Lebih lanjut Budd dan Stolarski (2011) yang melakukan penelitian terkait dengan ketebalan dinding dan septa pada karang *Favidae* di Pasifik dan Atlantik yang mendapatkan cara untuk memberikan penamaan berdasarkan metode yang sudah digunakan. Morfologi merupakan salah satu cara untuk menentukan spesies karang.

1.3. Identifikasi dan Batasan Masalah

Berdasarkan hasil kajian dan analisis awal, terdapat beberapa masalah yang dapat diidentifikasi antara lain : (i) Masih kurangnya informasi yang didapatkan terkait dengan sebaran jenis karang yang dapat bertahan hidup di perairan yang keruh (*turbid waters*) Kepulauan Spermonde, (ii) Masih kurangnya informasi yang didapatkan terkait dengan bentuk dan karakter morfologi jenis karang keras genus *Acropora* yang hidup dan dapat beradaptasi dengan baik di perairan yang keruh (*turbid waters*) Kepulauan Spermonde, (iii) Masih kurangnya informasi yang didapatkan terkait dengan upaya serta keberhasilan rehabilitasi karang keras yang spesifik dilakukan pada kondisi perairan yang keruh (*turbid waters*) dalam wilayah Kepulauan Spermonde.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, dapat disusun beberapa rumusan masalah dalam bentuk redaksi pertanyaan sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi dan sebaran jenis karang keras yang hidup pada perairan keruh (*turbid waters*) serta parameter kualitas lingkungan perairan keruh yang mempengaruhinya?
2. Bagaimana tingkat keberhasilan rehabilitasi jenis karang keras *Acropora* melalui proses transplantasi karang yang spesifik dilakukan di perairan yang keruh (*turbid waters*) berdasarkan hasil perhitungan laju pertumbuhan, sintasan dan pengaruh dari beberapa parameter lingkungan perairan keruh?
3. Bagaimana bentuk dan karakter morfologi jenis karang keras *Acropora* yang dapat bertahan hidup di perairan keruh (*turbid waters*) dan perairan jernih (lokasi kontrol)?

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian latar belakang, dapat disusun beberapa tujuan penelitian yang dicapai sebagai berikut :

1. Menganalisis kondisi dan sebaran jenis karang keras yang hidup pada perairan keruh (*turbid waters*) serta parameter kualitas lingkungan perairan yang keruh di perairan Kepulauan Spermonde.
2. Menganalisis laju pertumbuhan dan kelangsungan hidup (sintasan) dari 3 jenis karang uji genus *Acropora* yaitu *Acropora donei*, *Acropora muricata* dan *Acropora millepora* pada area transplantasi karang di perairan keruh (*turbid waters*) dan pengaruh dari parameter kekeruhan perairan.
3. Mendeterminasi bentuk dan karakter morfologi dari 3 jenis karang uji genus *Acropora* yaitu *Acropora donei*, *Acropora muricata* dan *Acropora millepora* yang dapat bertahan hidup pada kondisi perairan yang keruh (*turbid waters*) dan perairan jernih (lokasi kontrol) di Kepulauan Spermonde.

1.6. Hipotesis Penelitian

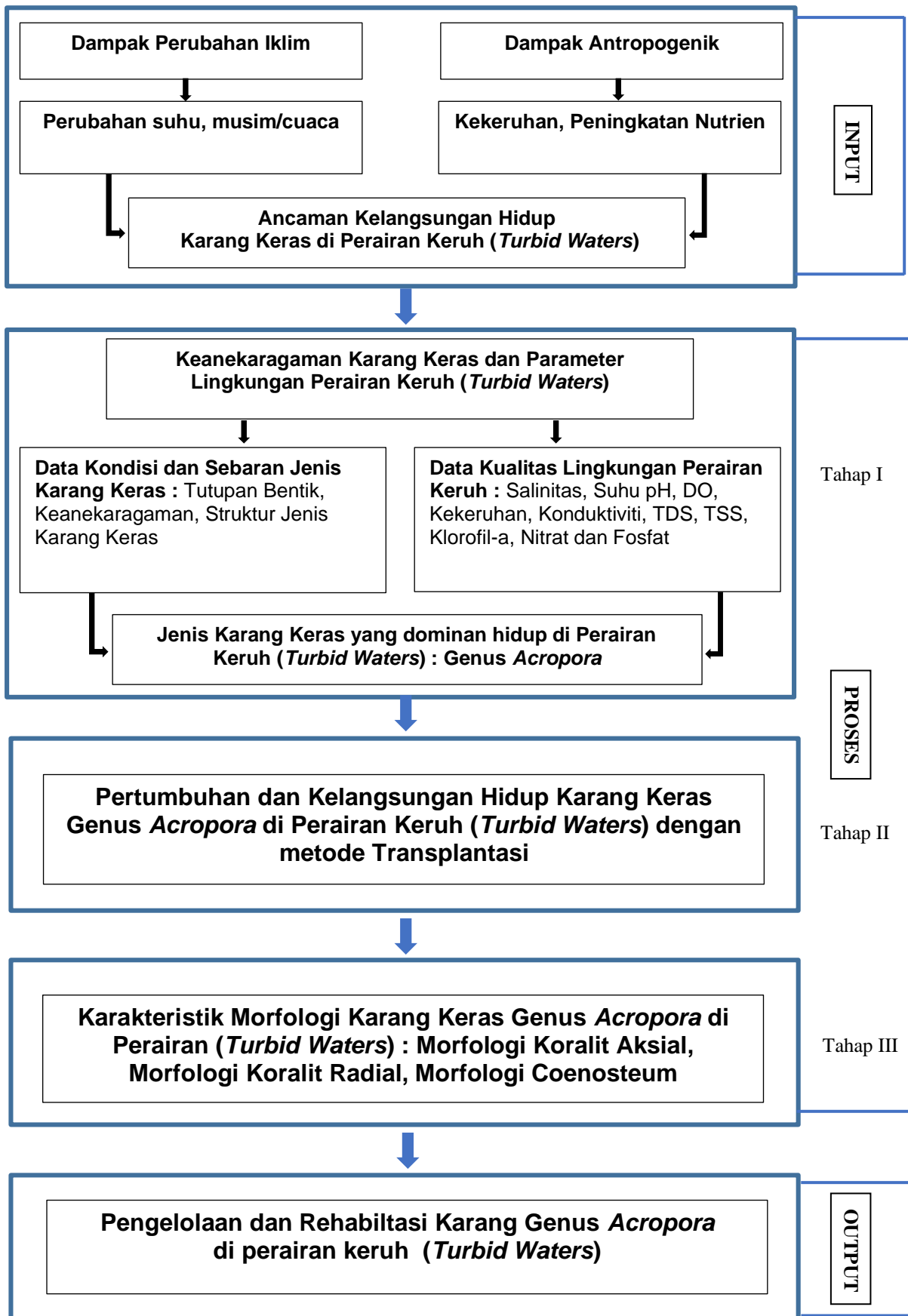
Beberapa hipotesis yang diajukan untuk dibuktikan dalam penelitian ini yaitu:

1. Adanya perbedaan kondisi dan sebaran jenis karang keras yang hidup pada perairan yang keruh (*turbid waters*) berdasarkan tingkatan kekeruhan yang tinggi dan rendah di perairan Kepulauan Spermonde.
2. Terdapat beberapa jenis karang keras tertentu yang dapat beradaptasi dan bertumbuh dengan baik pada kondisi perairan yang keruh (*turbid waters*) sehingga memiliki peluang untuk dijadikan sebagai anakan karang (perintis) dalam proses rehabilitasi karang keras di perairan keruh Kepulauan Spermonde.
3. Adanya perbedaan bentuk dan karakter morfologi jenis karang keras yang hidup pada kondisi perairan yang keruh (*turbid waters*) dan kondisi perairan yang jernih (kontrol).

1.7. Kerangka Pikir Penelitian

Kondisi lingkungan perairan yang mendapatkan tekanan antropogenik berupa sedimentasi dan polusi serta dampak perubahan iklim dengan terjadinya peningkatan suhu di perairan serta pergeseran siklus musim/cuaca yang tidak menentu dapat menyebabkan terjadinya gangguan terhadap kestabilan lingkungan perairan dengan besaran, frekuensi dan durasi tertentu dan kemudian akan memberikan dampak turunan yakni ancaman terhadap kelestarian ekosistem terumbu karang di perairan. Jika ketahanan hidup terumbu karang rendah, maka kerentanan akan meningkat, sehingga menyebabkan degradasi terumbu karang atau perubahan dari status yang diinginkan ke status yang tidak diinginkan. Pergeseran status kondisi lingkungan perairan akan berakibat pada tidak berlanjutnya ekosistem terumbu karang. Sebaliknya jika ketahanan ekosistem terumbu karang tinggi, maka ekosistem ini akan stabil dan menjamin keberlanjutan layanan ekosistem. Untuk meningkatkan atau paling tidak mempertahankan keberadaan ekosistem terumbu karang utamanya ekosistem terumbu karang yang hidup di daerah dengan tekanan lingkungan yang tinggi, salah satunya yakni kekeruhan yang tinggi, dibutuhkan suatu kajian yang menyeluruh dengan tujuan untuk memberikan rekomendasi terkait upaya restorasi dan rehabilitasinya.

Sejauh ini, kajian-kajian terkait kondisi terumbu karang telah banyak dilakukan di wilayah perairan Kepulauan Spermonde, salah satunya adalah kegiatan monitoring kondisi kesehatan terumbu karang yang rutin dilakukan secara berkala namun belum cukup untuk menjawab fenomena-fenomea degradasi terumbu karang yang terjadi dalam wilayah perairan ini utamanya yang terjadi di wilayah yang mengalami tingkat kekeruhan yang tinggi (*turbid waters*). Penelitian ini difokuskan untuk mengkaji keberadaan terumbu karang keras di daerah perairan yang keruh kemudian pada tahapan selanjutnya dilakukan uji coba rehabilitasi karang keras pada perairan yang keruh dengan metode transplantasi karang untuk mengetahui laju pertumbuhan dan sintasan karang hidup yang ditransplantasi pada perairan keruh (*turbid waters*) serta pengaruh dari beberapa kualitas perairan keruh. Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih spesifik terkait pengaruh dampak kekeruhan, dilakukan analisis untuk mengetahui karakter morfologi jenis karang keras dan kaitannya dengan ketahanan hidup secara alami dari adanya kekeruhan yang tinggi ini. Secara keseluruhan, tahapan akhir dari penelitian ini akan menghasilkan suatu rekomendasi jenis-jenis karang keras yang memiliki ketahanan hidup yang baik pada kondisi perairan dengan tingkat kekeruhan yang tinggi guna menunjang upaya pengelolaan terumbu karang di wilayah perairan Kepulauan Spermonde melalui kegiatan restorasi dan rehabilitasi karang. Kerangka pikir penelitian secara ringkas dapat digambarkan dalam bentuk skema pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

1.8. Kebaharuan (*Novelties*)

Berdasarkan penelusuran pustaka-pustaka yang berkaitan dengan topik penelitian, dapat diketahui bahwa penelitian-penelitian tentang keberadaan karang keras di daerah perairan keruh (*turbid waters*) masih sangat jarang dilakukan, terlebih khusus di perairan Kepulauan Spermonde. Pada sisi yang lain seiring dengan semakin meningkatnya tekanan terhadap pertumbuhan karang yang disebabkan oleh faktor alami dan buatan sehingga menyebabkan semakin meningkatnya sedimentasi atau kekeruhan di daerah terumbu karang, hal ini sangat mengancam kelestarian sumberdaya terumbu karang salah satunya jenis karang keras, untuk itu perlu adanya suatu upaya untuk tetap mempertahankan keberlangsungan ekosistem ini, sebagai pertimbangan dalam melakukan kegiatan pengelolaannya dalam bentuk kegiatan restorasi dan rehabilitasi terumbu karang, dibutuhkan landasan teori yang bersumber dari kajian ilmiah yang terbaharukan. Nilai kebaharuan dari penelitian ini yaitu :

1. Penyediaan database jenis karang keras yang dapat bertahan hidup dan memiliki peluang untuk direstorasi pada daerah dengan kondisi terumbu yang keruh (*turbid waters*) di perairan Kepulauan Spermonde.
2. Penyediaan database laju pertumbuhan dan sintasan dari beberapa jenis karang *Acropora* yang berhasil ditransplantasi di perairan keruh (*turbid waters*) dan korelasinya dengan beberapa parameter perairan keruh.
3. Penyediaan database karakteristik morfologi jenis karang keras genus *Acropora* yang dapat bertahan hidup secara alami (toleran dan resistensi) pada kondisi perairan yang keruh (*turbid waters*) dan perairan jernih (lokasi kontrol) dalam wilayah Kepulauan Spermonde.

1.9. Terumbu Karang

Terumbu karang (*coral reef*) adalah ekosistem bawah laut yang terdiri dari sekelompok binatang karang yang membentuk struktur kalsium karbonat (CaCO_3), berupa bentukan batuan kapur yang cukup kuat menahan gaya gelombang laut. Organisme-organisme dominan di ekosistem terumbu karang adalah hewan karang terutama dari Filum *Cnidaria*, Kelas *Anthozoa*, Ordo *Scleractinia* yang mempunyai kerangka kapur, serta alga yang banyak diantaranya juga mengandung kapur. Istilah terumbu mengarah kepada endapan-endapan masif yang penting dari kalsium karbonat yang terutama dihasilkan oleh hewan-hewan karang dengan sedikit tambahan dari alga berkapur dan organisme-organisme lain yang mengeluarkan kalsium karbonat (Veron, 1995; Gattuso *et al.*, 1999; Burke *et al.*, 2011).

Berdasarkan pada kemampuan memproduksi kapur maka karang dibedakan menjadi dua kelompok yaitu karang hermatipik dan karang ahermatipik. Karang hermatifik adalah karang yang dapat membentuk bangunan karang yang dikenal menghasilkan terumbu dan

penyebarannya hanya ditemukan di daerah tropis. Karang ahermatipik tidak menghasilkan terumbu dan ini merupakan kelompok yang tersebar luas di seluruh dunia. Hewan karang batu pada umumnya merupakan koloni yang terdiri atas banyak individu berupa polip yang bentuk dasarnya seperti mangkok dengan tepian berumbai-umbai (tentakel). Ukuran polip ini umumnya sangat kecil (beberapa mm) tetapi ada pula yang besar hingga beberapa puluh sentimeter seperti pada jenis *Fungia*. Setiap polip tumbuh dan mengendapkan kapur yang membentuk kerangka (Veron, 1995; Nybakken, 2001; Roberts *et al.*, 2006).

Perbedaan utama karang Hermatipik dan karang ahermatipik adalah adanya simbiosis mutualisme antara karang hermatipik dengan *Zooxanthellae*, yaitu sejenis algae unisular (*Dinoflagellata unisular*), seperti *Gymnodinium microadriatum*, yang terdapat di jaringan-jaringan polip binatang karang dan melaksanakan fotosintesis. Hasil samping dari aktivitas ini adalah endapan kalsium karbonat yang struktur dan bentuk bangunannya khas. Ciri ini akhirnya digunakan untuk menentukan jenis atau spesies binatang karang. Karang hermatipik mempunyai sifat yang unik yaitu perpaduan antara sifat hewan dan tumbuhan sehingga arah pertumbuhannya selalu bersifat *fototeopik* positif. Umumnya jenis karang ini hidup di perairan pantai /laut yang cukup dangkal dimana penetrasi cahaya matahari masih sampai ke dasar perairan tersebut. Disamping itu untuk hidup binatang karang membutuhkan suhu air yang hangat berkisar antara 25-32°C (Nybakken, 2001; Frieler *et al.*, 2012).

Hewan karang sebagai pembangun utama terumbu adalah organisme laut yang efisien karena mampu tumbuh subur dalam lingkungan sedikit nutrien (*oligotrofik*). Roberts *et al.*, (2006) dan Burke *et al.*, (2011) mengemukakan bahwa sebagian besar spesies karang melakukan simbiosis dengan alga simbiotik yaitu *Zooxanthellae* yang hidup di dalam jaringannya. Dalam simbiosis, *Zooxanthellae* menghasilkan oksigen dan senyawa organik melalui fotosintesis yang akan dimanfaatkan oleh karang, sedangkan karang menghasilkan komponen inorganik berupa nitrat, fosfat dan karbon dioksida untuk keperluan hidup *Zooxanthellae*. Selanjutnya Roberts *et al.*, (2006) menjelaskan bahwa adanya proses fotosintesa oleh alga menyebabkan bertambahnya produksi kalsium karbonat dengan menghilangkan karbon dioksida dan merangsang reaksi kimia. Fotosintesa oleh algae yang bersimbiose membuat karang pembentuk terumbu menghasilkan deposit cangkang yang terbuat dari kalsium karbonat, kira-kira 10 kali lebih cepat daripada karang yang tidak membentuk terumbu (*ahermatipik*) dan tidak bersimbiosis dengan *Zooxanthellae*.

Veron (1995) mengemukakan bahwa ekosistem terumbu karang adalah unik karena umumnya hanya terdapat di perairan tropis, sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan hidupnya terutama suhu, salinitas, sedimentasi, eutrofikasi dan memerlukan kualitas perairan alami (*pristine*). Demikian halnya dengan perubahan suhu lingkungan akibat pemanasan global yang melanda perairan tropis di tahun 1998 telah menyebabkan pemutihan

karang (*coral bleaching*) yang diikuti dengan kematian massal mencapai 90-95%. Suharsono (1999) mencatat selama peristiwa pemutihan tersebut, rata-rata suhu permukaan air di perairan Indonesia adalah 2-3^oC di atas suhu normal. Meskipun beberapa karang dapat dijumpai dari lautan subtropis tetapi spesies yang membentuk karang hanya terdapat di daerah tropis. Kehidupan karang di lautan dibatasi oleh kedalaman yang biasanya kurang dari 25 m dan oleh area yang mempunyai suhu rata-rata minimum dalam setahun sebesar 10^oC. Pertumbuhan maksimum terumbu karang terjadi pada kedalaman kurang dari 10 m dan suhu sekitar 25^oC (Furby and Berumen, 2016; Frieler *et al.*, 2012). Karena sifat hidup inilah maka terumbu karang banyak dijumpai di Indonesia (Hutabarat dan Evans, 1984). Selanjutnya Nybakken (2001) mengelompokkan terumbu karang menjadi tiga tipe umum yaitu :

- a) Terumbu karang tepi (*Fringing reef/shore reef*)
- b) Terumbu karang penghalang (*Barrier reef*)
- c) Terumbu karang cincin (*Atoll*)

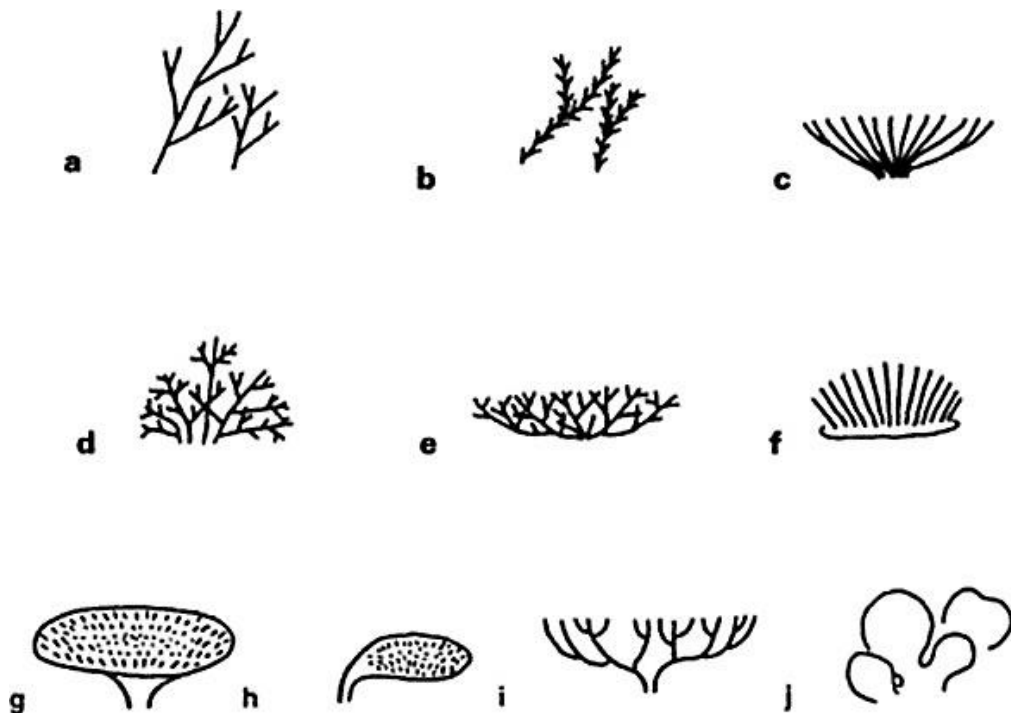
Di antara tiga struktur tersebut, terumbu karang yang paling umum dijumpai di perairan Indonesia adalah terumbu karang tepi. Terumbu karang berfungsi sebagai sebagai habitat beragam organisme laut. Habitat terumbu karang didefinisikan sebagai rumah alami dari tanaman dan hewan. Tiga sistem lingkungan utama mempengaruhi terumbu karang, yaitu; (i) *submarine*, (ii) *intertidal*, dan (iii) *supratidal*. Masing-masing habitat memiliki karakteristik substrat dan spesies yang berubah sesuai dengan perubahan faktor lingkungan. Faktor-faktor dimaksud di antaranya cahaya, variasi suhu diurnal, kandungan oksigen perairan, tingkat sedimentasi, energi gelombang, dan sejumlah hal lainnya, termasuk biota dan pengaruhnya (Alle *et al.*, 2000).

1.10. Genus *Acropora*

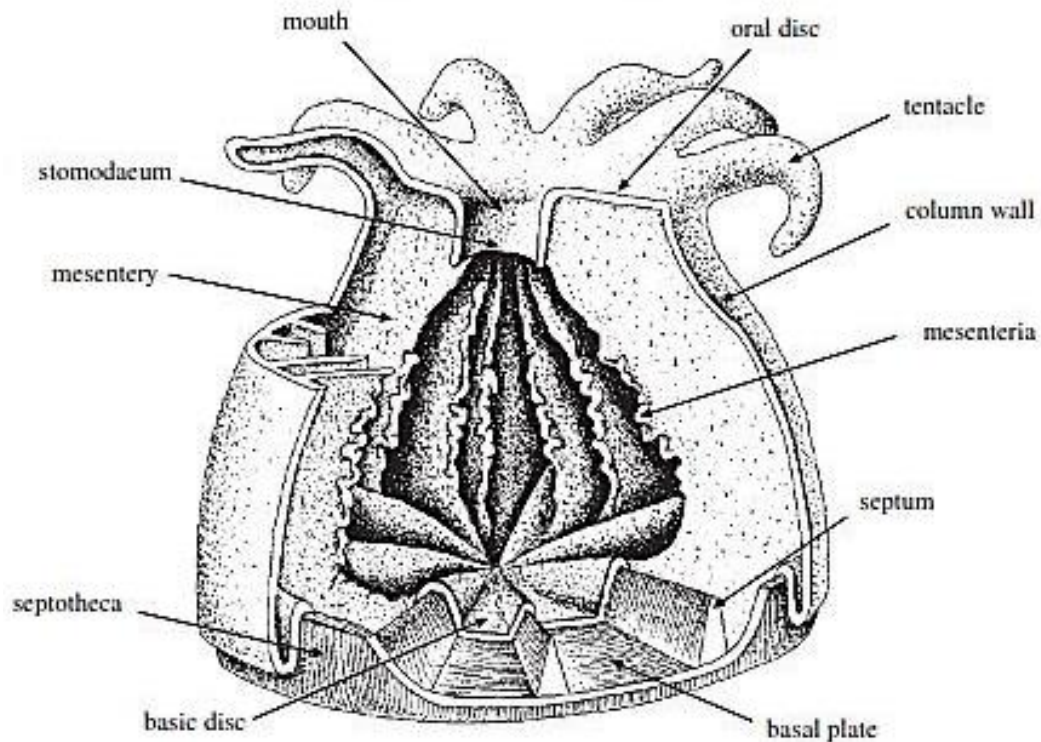
Dari catatan Wallace genus *Acropora* mempunyai sekitar 114 spesies di seluruh dunia yang memiliki jumlah spesies terbanyak, 91 di antaranya teridentifikasi di Indonesia. Genus ini memiliki struktur penting dalam komposisi dan kelimpahan ekosistem terumbu karang bervariasi tergantung dinamika komunitas pada karang (Yusuf dan Budiyanto, 2012). *Acropora* merupakan genus karang yang memiliki bentuk morfologi koloni bercabang dan merupakan salah satu komponen utama pembangun terumbu karang (Rani *et al.*, 2004). Karang genus *Acropora* berasal dari suku Acroporidae yang diketahui memiliki empat genera, yakni *Acropora*, *Montipora*, *Anacropora*, dan *Astreopora* yang memiliki ciri yang hampir sama yaitu koralit kecil tanpa kolumella, septa sederhana dan tidak mempunyai struktur tertentu dan koralit dibentuk secara ekstratentakuler. Khusus pada karang *Acropora*, memiliki bentuk percabangan yang sangat bervariasi dan mudah dikenali karena terdapat

koralit aksial dan koralit radial dengan bentuk yang beragam dan tersebar sebanyak 113 spesies di perairan Indonesia (Suharsono, 2008)

Pada genus *Acropora* koloninya memiliki bentuk pertumbuhan yang bercabang seperti *branching*, *tabulate*, *digitate* dan kadang juga berbentuk *encrusting* atau *submassive*. Genus *Acropora* mempunyai koralit dengan dua tipe, yaitu *axial* dan *radial*. Septa biasanya berada di dalam dua lingkaran. Tidak memiliki kolumella tetapi koralit dan koenestumnya berpori. Polip memanjang hanya pada malam hari (Veron, 2000). Koloni karang yang berukuran besar umumnya ditemukan pada perairan tertutup, di kedalaman lebih dari 3 meter, biasanya berada pada zona *reef slope* atau *reef flat*. Beberapa aspek penting pada ragam bentuk morfologi karang bergantung pada faktor lingkungan seperti paparan gelombang secara langsung yang mempengaruhi bentuk terumbu karang, dimana karang yang terpapar gelombang secara langsung relatif beragam dibandingkan pada daerah terlindungi utamanya didasarkan pada perubahan jumlah kedalaman koloni (Paderanga, 2013). Bentuk koloni karang dapat dilihat pada Gambar 2.



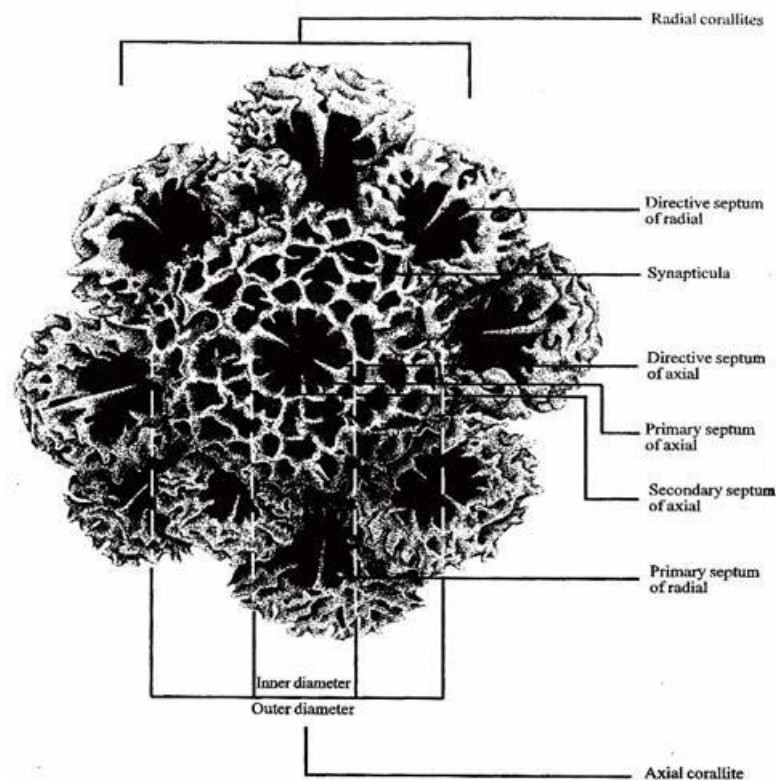
Gambar 2. Representasi bentuk kategori koloni karang: a. *arborescent*, b. *hispidose*, c. *corymbose*, d. *caespitose*, e. *caespitose-corymbose*, f. *digitate*, g. *table*, h. *plate*, i. *arborescent table*, j. *cuneiform* (Wallace, 1998).



Gambar 4. Struktur kerangka di dalam karang keras (FAO, 1998).

c. Koralit Aksial Karang *Acropora*

Koralit aksial adalah kerangka polip yang menempati hingga ke pusat percabangan suatu *Acropora* dimana terbuka pada ujung percabangan. *Axial corallite* seringkali terjadi secara tunggal sebagaimana terdapat pada bentuk koloni *encrusting* untuk karang jenis *Acropora* atau terjadi secara berkelompok dua atau bahkan lebih seperti di dalam bentuk koloni *encrusting* untuk karang jenis *Isopora*. *Axial corallite* ini lebih panjang dibandingkan pada *radial corallite* karena mereka tertanam di dasar bawah dan memanjang dari ujung *axial corallite*. Seringkali terjadi kesalahpahaman dalam memahami antara *axial corallite* dan *radial corallite* karena dalam percabangan yang terjadi beberapa *radial corallite* ditemukan dan sedang berkembang atau biasanya berbentuk silindris dan panjang. Sementara *axial corallite* berbeda karena biasanya terdapat sebagai inti dalam percabangan, sementara *radial corallite* biasanya berada melingkar di sekitarnya sebagaimana yang terdapat pada beberapa spesies yakni *Acropora multiacuta* dan *Acropora suharsonoi* (Wallace, 1999).



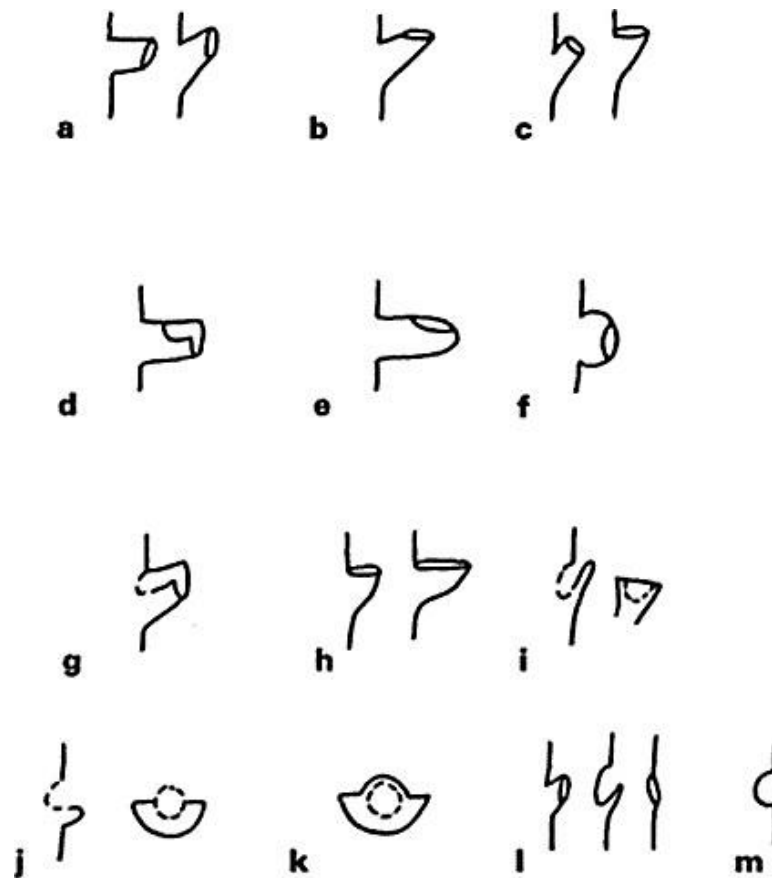
Gambar 5. Representasi diagram aksial dan radial koralit, yang digunakan dalam deskripsi spesies (Wallace, 1999).

d. Radial Koralit Karang *Acropora*

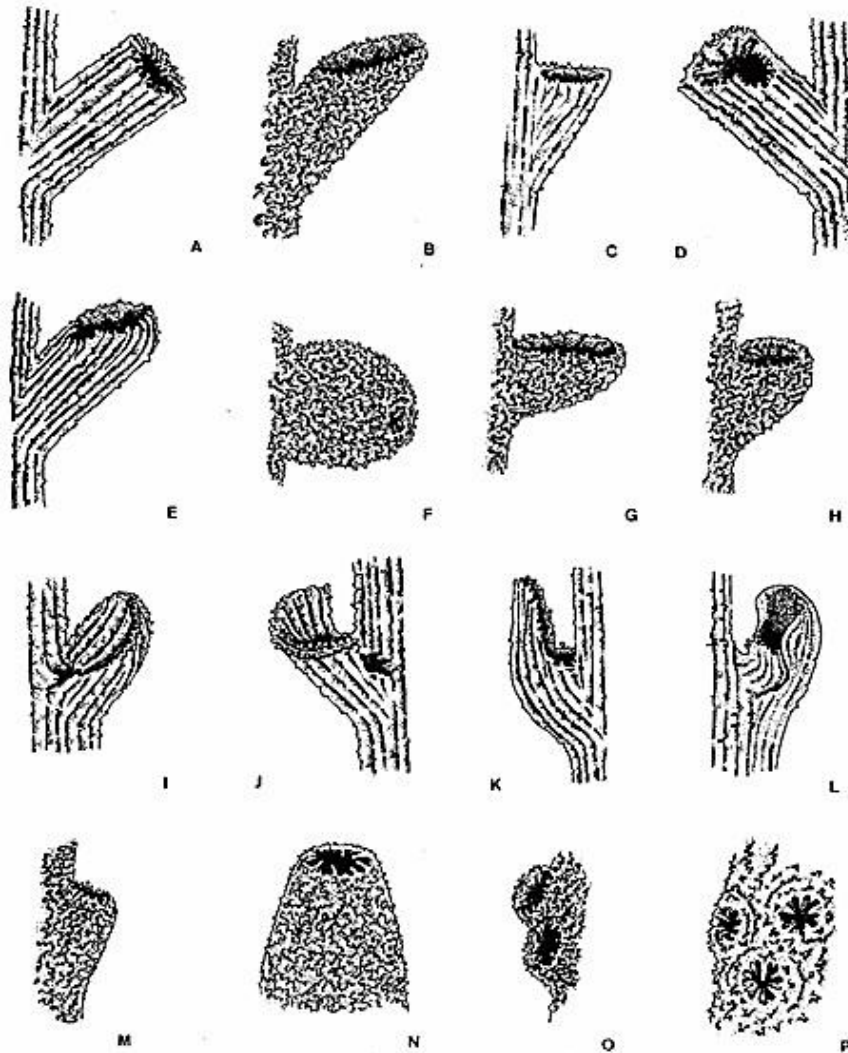
Radial corallite karang *Acropora* merupakan koralit yang sekelilingnya tersusun melingkar pada sumbu dan terbentuk oleh *axial corallite* di dalam percabangan *Acropora*. *Radial corallite* ini tidak seperti *axial corallite* karena tidak semua seragam berbentuk silindris, *radial corallite* terbentuk dengan beragam bentuk. *Radial corallite* dalam terminologi atau pengertiannya dapat dipahami sebagai silinder sederhana atau tabung yang secara beragam termodifikasi atau terbentuk dalam berbagai jumlah bentuk yang berbeda-beda (Wallace, 1999). *Radial corallite* juga secara sederhana dapat dipahami sebagai suatu bentuk koralit yang berada di sisi setiap percabangan karang *Acropora* yang berlawanan arah pada *axial corallite* yang terletak di ujung cabang. *Radial corallite* ini biasanya digunakan untuk mengidentifikasi karang jenis *Acropora* dan *Anacropora* (Veron, 2000).

Radial corallite ini dapat terletak menghadap ke atas atau juga menghadap keluar, mereka juga dapat diketahui dengan lubang yang kecil pada permukaan atau juga terkadang mereka memiliki bentuk menyerupai bibir yang cukup besar untuk dapat dilihat. Sehingga, hal ini dapat memudahkan dalam mengetahui perbedaan spesies berdasarkan ketidaksamaan bentuk koralit, adapun representasi bentuk kategori *Radial Corallite* dapat

dilihat pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Representasi bentuk kategori *radial corallite* karang: a: *tubular, round opening*; b: *tubular, oblique opening*; c: *tubular appressed*; d: *tubular, dimidiate opening*; e: *tubular, nariform opening*; f: *rounded tubular*; g: *dimidiate*; h: *nariform*; i: *labellate scaly lip*; j: *labellate flaring lip*; k: *cochleariform*; l: *sub immersed*; m: *immersed*. (Wallace, 1998).

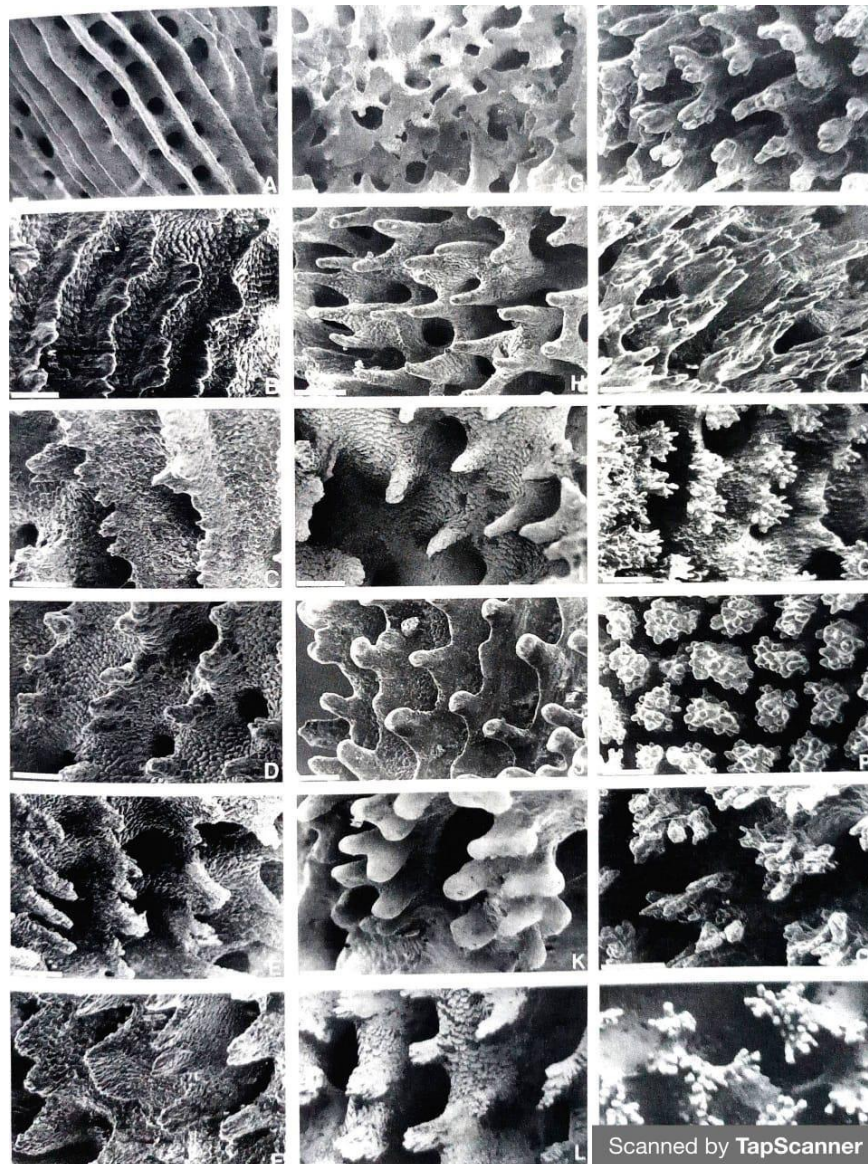


Gambar 7. Representasi kategori umum yang digunakan untuk mengidentifikasi bentuk *radialcorallite* dari karang *Acropora* (Wallace, 1999).

e. Coenosteum

Coenosteum adalah struktur rangka yang berada di antara koralit, yang digunakan untuk menjelaskan struktur dinding karang *Acropora* (Wallace, 1998). Menurut Richards (2013) *coenosteum* merupakan struktur rangka yang terdapat di antara koralit dan termodifikasi untuk membentuk dinding koralit khususnya pada karang *Acropora*. *Coenosteum* juga berupa rangka batu material yang disekresi oleh *coenosarc*, yang merupakan lapisan material hidup yang terletak di antara koralit. *Coenosteum* ini terbentuk oleh aragonite yaitu sebuah kristalin yang dibentuk dari kalsium karbonat, dan secara umum bentuknya seperti bunga karang, dengan material yang berpori. Terkadang *coenosteum* memiliki ornamentasi atau hiasan seperti patahan dan manik-manik, tampak seperti area yang menanjak ke atas atau meruncing ke atas dari *coenosarc*. *Coenosteum* dan *corallite*

umumnya diketahui sebagai *corallum* (Ruppert *etal.*, 2004).



Gambar 8. Representasi *coenosteum* dari karang *Acropora*: (a-b). *costate*; (c-f). *costate, with increasing degrees of spinule development*; (g). *reticulate*; (h-j). *simple spinules*; (k). *forked spinules*; (l-q). *increasingly elaborate spinules*; (r). *meandroid elaboratespinules*. (Wallace, 1999).

1.11. Kualitas Lingkungan Pesisir

a. Eutrofikasi

Ekosistem pesisir merupakan wilayah yang unik dengan karakteristik khas sebagai wilayah yang berbatasan langsung antara perairan laut dengan daratan utama sehingga kawasan ini rentan terhadap gangguan akibat kegiatan manusia di darat atau lebih dikenal sebagai pengaruh antropogenik. Limpasan pupuk maupun pestisida dari pertanian akan mengalir melalui sungai ke perairan pesisir. Demikian juga dengan limpasan kotoran

hewan ternak, sisa pakan budidaya perikanan maupun buangan limbah rumah tangga akan berakhir di aliran sungai yang menuju perairan pesisir (Burke *et al.*, 2012). Limpasan terestrial tersebut mengubah kualitas air dalam empat cara, yaitu dengan memperkaya nutrisi anorganik dan partikel bahan organik, dengan mengurangi cahaya karena kekeruhan, dan dengan pengendapan sedimen (Fabricius, 2005; Storlazzi *et al.*, 2015).

Limpasan terestrial yang berasal dari kegiatan antropogenik tersebut cepat atau lambat akan mempengaruhi kualitas perairan dan akan mempengaruhi keberadaan berbagai organisme perairan secara spesifik yang pada akhirnya akan mempengaruhi laju pertumbuhan fitoplankton dan alga (Prasetyo *et al.*, 2022). Pengayaan unsur hara yang masuk ke perairan pesisir akibat antropogenik disebut sebagai eutrofikasi (Fabricius, 2011). Istilah eutrofikasi digunakan untuk menggambarkan ketersediaan nutrisi atau zat hara di perairan, yang dibutuhkan untuk pertumbuhan alga dan tumbuhan air lainnya berikut tingkat produktivitas perairan tersebut. Eutrofikasi merupakan kombinasi antara pengayaan zat hara, pertumbuhan alga dan gangguan ekosistem terutama oleh senyawa-senyawa nitrogen dan atau fosfor yang menyebabkan peningkatan pertumbuhan produktivitas primer dan biomassa alga, perubahan keseimbangan organisme dan degradasi kualitas air (Ferreira *et al.*, 2011).

Suatu perairan dapat dikelompokkan menjadi 3 kelas berdasarkan kandungan zat hara dan tingkat produktivitasnya, yaitu oligotrofik, mesotrofik dan eutrofik (Karydis, 2009). Suatu perairan termasuk ke dalam kelas oligotrofi apabila kandungan zat hara dan tingkat produktivitasnya rendah. Kelas eutrofi diperuntukkan bagi perairan yang memiliki kandungan zat hara dan tingkat produktivitas yang tinggi. Adapun istilah mesotrofi dan hipertrofik berturut-turut digunakan untuk menggambarkan perairan dengan kandungan zat hara dan produktivitas yang sedang dan sangat tinggi. Kandungan zat hara yang masuk ke perairan pesisir secara berlebih dapat memberikan berbagai dampak negatif, terutama pada ekosistem pesisir yang beradaptasi dengan kondisi oligotrofik (nutrisi rendah), seperti mangrove, lamun, dan terumbu karang (Silbiger *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2022).

Eutrofikasi dapat merusak ekosistem pesisir dikarenakan berkembangnya alga berbahaya, zona hipoksia, zona mati anoksik (D'Angelo & Wiedenmann, 2014), terutama pada ekosistem terumbu karang (Donovan *et al.*, 2020). Kualitas air yang buruk dapat berdampak pada terumbu karang secara langsung dan tidak langsung melalui berbagai proses, yang pada akhirnya mengurangi kemampuannya untuk bertahan dan pulih dari tekanan eutrofikasi (Houk *et al.*, 2020; Maynard *et al.*, 2015; Wiedenmann *et al.*, 2013).

b. Sedimentasi

Kegiatan manusia di daratan juga menyebabkan sedimentasi yang mempengaruhi keradaan ekosistem terumbu karang di wilayah pesisir. Penebangan hutan untuk pembukaan lahan, pengerukan tanah di perbukitan atau pembajakan sawah akan membawa endapan erosi ke aliran sungai dan diperparah oleh curah hujan yang tinggi di negara tropis. Begitu mencapai pesisir, maka pengaruh faktor oseanografi dan kondisi fisik lingkungan pesisir akan menyebabkan endapan menyebar ke perairan terdekat. Lebih dari 45% terumbu karang di Kawasan Segitiga Terumbu Karang, dimana Teluk Bone turut berada di dalamnya, terancam oleh endapan dan pencemaran yang berasal dari aliran sungai (Burke *et al.*, 2012).

Endapan yang melayang pada kolom perairan atau *Total Suspended Sediment* (TSS) bergerak tanpa menyentuh dasar perairan (Paramitha *et al.*, 2016), meningkatkan kekeruhan dan mengurangi penetrasi sinar matahari ke dalam kolom air yang pada akhirnya mempengaruhi proses fotosintesis (Wang *et al.*, 2017; Wirasatriya *et al.*, 2023) dan berdampak langsung terhadap keberadaan terumbu karang karena selain mengganggu proses fotosintesis alga simbiosis karang, juga akan menutup polip yang dapat menyebabkan kematian (Yonar *et al.*, 2021) dan membatasi perkembangan karang pembentuk terumbu terutama pada zona dangkal pada kedalaman sekitar 4 m (Morgan *et al.*, 2016).

Daftar Pustaka

- Allee, R.J., Dethier, M., Brown, D., Deegan, L., Ford, R.G., Hourigan, T.F., Maragos, J., Schoch, C., Sealey, K., Twilley, R. and Weinstein, M.P., 2000. Marine and Estuarine Ecosystem and Habitat Classification. In NOAA Technical Memorandum, NMFSeF/SPOe43. US NOAA National Marine Fisheries Service.
- Anthony, KR, Marshall, PA, Abdulla, A., Beeden, R., Bergh, C., Black, R., ... Wear, S. (2015). Mengoperasionalkan ketahanan untuk pengelolaan terumbu karang yang adaptif dalam menghadapi perubahan lingkungan global. *Biologi Perubahan Global*, 21, 48–61. <https://doi.org/10.1111/gcb.12700>
- Arrigoni R, Richards ZT, Chen CA, Budd AH, Benzoni F, 2014a. Taxonomy and phylogenetic relationships of the coral genera *Australomussa* and *Parascalymia* (Scleractiia, Lobophylliidae). *Contrib. to Zoo.* 83(3): 195- 215.doi: 10.1016/j.ympbev.2014.01.010.
- Asnawi, S., Christie, P., Muthiga, N. A., Mahon, R., Primavera, J. H., Cramer, L. A., Barbier, E. B., Granek, E. F., Kennedy, C. J., Wolanski, E., Hacker, S. 2012. The Way Forward With Ecosystem-Based Management In Tropical Context: Reconciling With Existing Management System. *Marine Policy.* 36:1-10.
- Ateweberhan, M., Feary, D. A., Keshavmurthy, S., Chen, A., Schleyer, M. H., Sheppard, C. R. C. 2013. Climate Change Impact on Coral Reefs: Synergies with Local Effects, Possibilities for Acclimation, and Management Implication. *Marine Pollution Bulletin.* <https://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.06.011>
- Barus, B. S., Prariono, T., & Soedarma, D. (2018). Keterkaitan Sedimentasi Dengan Persen Tutupan Terumbu Karang di Perairan Teluk Lampung. *Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(1), 49–58.
- Budd, A.F. & Stolarski, J. 2011. Corallite Wall and Septal Microstructure in Scleractinian Reef Corals: Comparison of Molecular Clades Within the Family Faviidae. *J. Morphology* 272(1):66- 88. doi: 10.1002/jmor.10899
- Bukhari, B., Putra, R. D., & Kurniawan, D. (2021). Optimalisasi Penggunaan Waktu Pembersihan Untuk Sukses Transplantasi Karang *Acropora millepora* di Perairan Makang Rapat, Bintan. *Jurnal Kelautan Nasional*, 16(2), 145–156.
- Burke L., K. Reytar, M. Spalding & A. Perry. 2011. Reefs at Risk Revisited. World Resources Institute, Washington DC.
- Burke, L., Reytar, K., Spalding, M., & Perry, A. (2012). *Menengok Kembali Terumbu Karang yang Terancam di Segitiga Terumbu Karang*. World Resources Institute. <https://wri-indonesia.org/id/publication/menengok-kembali-terumbu-karang-yang-terancam-di-segitiga-terumbu-karang>
- Burt, J., Bartholomew, A., Bauman, A., Saif, A., and Sale, P. F, 2009. Coral Recruitment and Early Benthic Community Development on Several Materials Used in the Construction of Artificial and Breakwaters. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 373, 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2009.03.009>.
- Casebolt, S. N. 2011. Phylogenetic Analysis and Quantitative Assessment of Micromorphology and Micropstructure In the Coral Family Mussidae (Scleractinia). *THESIS in Geoscience in the Graduate Collage of The University of Iowa*.
- Crabbe, M. J. C., Smith D. J. Comparison of Two Reef Site In the Wakatobi Marine National Park (SE Sulawesi, Indonesia) Using Digital Image Analysis. *Coral Reefs.* 21:242-244.

- Crabbe MJC, Smith DJ, 2005. Sediment impacts on growth rates of *Acropora* and *Porites* corals from fringing reefs of Sulawesi, Indonesia. *Coral Reefs*. 24:437–441. <http://dx.doi.org/10.1007/s00338-005-0004-6>
- D'Angelo, C., & Wiedenmann, J. (2014). Impacts of nutrient enrichment on coral reefs: new perspectives and implications for coastal management and reef survival. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 7, 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.029>.
- Doebeli, M., Dieckmann, U. 2003. Speciation Along Environmental Gradients. *Nature*. 421, 259-264.
- Donovan, M. K., Adam, T. C., Shantz, A. A., Speare, K. E., Munsterman, K. S., Rice, M.M., Schmitt, R. J., Holbrook, S. J., & Burkepile, D. E. (2020). Nitrogen pollution interacts with heat stress to increase coral bleaching across the seascape. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(10), 5351–5357. <https://doi.org/10.1073/pnas.1915395117>
- Douve, F., 2008. The Importance of Marine Spatial Planning in Advancing Ecosystem-Based Sea Use Management. *Marine Policy* 32: 762-771.
- Edinger, E.N., & Risk, M.J. (2000). Effect of land-based pollution on Central Java Coral Reefs. *Journal of Coastal Development*, 3(2), 593-613.
- FAO. 1998. *The Marine Living Resources of the Western Central Pacific Volume 1: Seaweeds, Corals, Bivalves, and Gastropods*. FFA and NORAD, Rome, Italy.
- Fabricius, K. E. (2005). Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 50(2), 125–146. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.11.028>
- Fabricius, K. E. (2011). Factors determining the resilience of coral reefs to eutrophication: a review and conceptual model. In *Coral reefs: an ecosystem in transition* (pp. 493-505). Springer, Dordrecht.
- Ferreira, J. G., Andersen, J. H., Borja, A., Bricker, S. B., Camp, J., Cardoso da Silva, M., Garcés, E., Heiskanen, A.-S., Humborg, C., Ignatiades, L., Lancelot, C., Menesguen, A., Tett, P., Hoepffner, N., & Claussen, U. (2011). Overview of eutrophication indicators to assess environmental status within the European Marine Strategy Framework Directive. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 93(2), 117–131. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.03.014>
- Flot J-F, Magalon H, Cruaud C, Couloux A, Tiller S, 2008. Patterns of genetic structure among Hawaiian corals of the genus *Pocillopora* yield clusters of individuals that are compatible with morphology. *Compt. Rend. Biol.* 331(3): 239-247. doi: 10.1016/j.crv.2007.12.003.
- Frieler, K., Meinshausen, M., Golly, A., Mengel, M., Lebek, K., Donner, S. D., & Hoegh-Guldberg, O. (2012). Limiting global warming to 2°C is unlikely to save most coral reefs. *Nature Climate Change*, 3, 165–170.
- Furby, K., and M. L. Berumen, 2016. Susceptibility of Central Red Sea Corals During A Major Bleaching Event. *Coral Reefs* 32: 505-513.
- Frieler, K., Meinshausen, M., Golly, A., Mengel, M., Lebek, K., Donner, S. D., & Hoegh-Guldberg, O. (2012). Limiting Global Warming to 2 Degree oC Is Unlikely to Save Most Coral Reefs. *Nature Climate Change*, 3(2), 165–170.
- Gattuso, J. P., Allemand, D., Frankignoulle, M. 1999. Interaction Between the Carbon and Carbonate Cycles at Organism and Community Levels In Coral Reefs: A Review on Processes and Control by the Carbonate Chemistry. *Am Zool* 39:160-183.

- Giyanto, G., Abrar, M., Hadi, T. A., Budiyanto, A., Hafizt, M., Salatalohy, A., and Iswari, M. Y. 2017. *Status Terumbu Karang Indonesia 2017*. (S. Suharsono, Ed.). Jakarta: Pusat Penelitian Oseanografi - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Hamzah, S. N., Nursinar, S. 2021. The Success of Coral Rehabilitation Through Transplantation Using Spyder Modules (Case study: Botutonuo Marine Area, Bone Bolongo Regency). *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*. 14(5):3023-3031
- Harriot, V. J., and Fisk, D. A. 1988. Coral Transplantation As a Reef Management Option. In *6th International Coral Reef Symposium* (Vol. 2, pp. 375–379). Australia.
- Houk, P., Comeros-Raynal, M., Lawrence, A., Sudek, M., Vaeoso, M., McGuire, K., & Regis, J. (2020). Nutrient thresholds to protect water quality and coral reefs. *Marine Pollution Bulletin*, 159(January), 111451. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111451>
- Hilbish TJ, 1985. Demographic and temporal structure of an allele frequency cline in the mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.* 86(2): 163-171.doi : 10.1007/BF00399023.
- Hughes, T. P., N. A. J. Graham, J. B. C. Jackson, P. J. Mumby, and R. S. Steneck, 2010. Rising to the Challenge of Sustaining Coral Reef Resilience. *Trends Ecology and Evolution* 25(11): 633-642.
- Hutabarat, S., dan MS Evans, 1984. Pengantar Oseanografi. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Ilham., Litaay, M. Priosambodo, D., Moka, W. Penutupan Karang di Pulau Barrang Lompo dan Pulau Bone Batang Berdasarkan Metode *Reef Check*. *SPERMONDE*. 3(1):35-41.
- Jompa, J., 1996. Monitoring and Assessment of Coral Reefs On Spermonde Archipelago, South Sulawesi. Thesis. MC Master – Canada
- Jompa, J, 2010. Kondisi Ekosistem Perairan Kepulauan Spermonde: Keterkaitannya dengan Pemanfaatan Sumberdaya Laut di Kepulauan. Divisi Kelautan Pusat Kegiatan Penelitiann. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Karydis, M. (2009). Eutrophication assessment of coastal waters based on indicators: a literature review. *Global NEST Journal*, 11(4), 373–390. <https://doi.org/10.30955/gnj.000626>.
- James, M., Crabbe, C., & Smith, D. J. (2005). Sediment Impacts on Growth Rates of *Acropora* and *Porites* Corals From Fringing Reefs of Sulawesi , Indonesia. *Coral Reefs*, 24, 437–441. <https://doi.org/10.1007/s00338-005-0004-6>
- Jipriandi., Pratomo, A., Irawan, H. Pertumbuhan Karang *Acropora Formosa* Dengan Teknik Transplantasi Pada Ukuran Fragmen yang Berbeda. 1-11.
- Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, 2018. Hasil Kondisi Terumbu Karang dan Ekosistem Terkait di Kota Makassar. COREMAP - CTI (Coral Reef Rehabilitation and Management Program – Coral Triangle Initiative). Jakarta.
- Maynard, J.A., McKagan, S., Raymundo, S., Johnson, S., Ahmadia, G. N., Johnston, L., Houk, P., Williams, G. J., Kendall, M., Heron, S. F., van Hooidek, R., Mcleod, E., Tracey, D., Planes, S. 2015. Assesing Relative Resilience Potential of Coral Reefs to Inform Management. *Biological Conservacion*. 192:109-119.
- Mcclanahan, T. R. (2004). The Relationship Between Bleaching and Mortality of Common Corals. *Marine Biology*, 144, 1239–1245. <https://doi.org/10.1007/s00227-003-1271-9>
- McDonald T, Gann GD, Jonson J, Dixon KW (2016) International standardsfor the practice of ecological restoration—including principles and keyconcepts. Society for Ecological Restoration, Washington, D.C.

- Morgan, K.M., Perry, C.T., Smithers, S.G., Johnson, J.A., Daniell, J.J. 2016. Evidence of extensive reef development and high coral cover in nearshore environments: Implications for understanding coral adaptation in turbid settings. *Sci. Rep.*, 6, 29616.
- Muhidin. (2012). Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Karang *Hydnophora ngida* (Dana, 1846), *Acropora nobilis* (Dana, 1846) dan *Acropora micriphthalma* (Verrill, 1859) yang Ditransplantasikan di Perairan Pulau Kelapa, Kepulauan Seribu. Intitut Pertanian Bogor.
- Mulyadi, M., Apriadi, T., & Kurniawan, D. (2018). Tingkat Keberhasilan Transplantasi Karang *Acropora millepora* (Enrenberg, 1834) di Perairan Banyan Tree Lagoi, Bintan. *Akuatiklesteri*, 1(2), 24–31. <https://doi.org/10.31629/v1i2.2293>
- Muzaki, F., Saptarini, D., Azizah, I., Sari, I., Pramono, A. 2020. Survival and Growth of *Acropora millepora* Coral Fragment Transplanted in Turbid Water Of Sepulu, Bangkalan-Madura. *Acology, Environment, and Conservation*. 26
- Nontji, A. 2005. Laut Nusantara. Djambatan. Jakarta
- Nybakken, J. W. 1988. Biologi Laut : Suatu Pendekatan Ekologis. (diterjemahkan oleh M. Eidman *et al*) cet-1. PT. Gramedia, Jakarta, hal. 325-363.
- Nybakken, J.W. and Bertness, M.D., 2001. Marine Biology: An Ecological Approach (Vol. 5). San Francisco: Benjamin Cummings.
- Paderanga. T. 2013. *Morphological Variation In The Colonies Of The Hard Coral Acropora hyacinthus in Sheltered and Exposed Conditions*. Silliman University, Philippines.
- Pandolfi, J. M., S. R. Connolly, D. J. Marshall, and A. L. Cohen, 2011. Projecting Coral Reef Futures Under Global Warming and Ocean Acidification. *Science* 333: 418-422.
- Prada, C., Schizas, N. V., Yoshioka, P. M. 2008. Phenotypic Plasticity or Speciation? A Case From a Clonal Marine Organism. *BMC Evolutionary Biology*. 8(1)
- Prasetyo, B. A., Muawanah, M., Mardianto, L., & Lubis, M. Z. (2022). Distribusi spasial kualitas perairan dan hubungannya dengan aktifitas budidaya perikanan di Teluk Lampung. *Journal of Science and Applicative Technology*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.35472/jsat.v6i1.897>.
- Rani, C., J. Jompa & Amiruddin. 2004. Annual growth rate of hard coral *Porites lutea* in Spermonde Islands: in respons to temperature and rain fall. Torani. Volume 4. No.14
- Rani, C., Tahir, A., Jompa, J., Faizal, A., Yusuf, S., Werorilangi, S., Arniati. 2017. Keberhasilan Rehabilitasi Terumbu karang Akibat Peristiwa Bleaching Tahun 2016 Dengan Teknik Transplantasi. *SPERMONDE*. 3(1):13-19.
- Richards. 2013. *Coral Identification Training Manual Hard Corals of the Marshall Islands*. Museum of Tropical Queensland, Australia.
- Roberts, C.M., McClean, C.J., Veron, J.E., Hawkins, J.P., Allen, G.R., McAllister, D.E., Mittermeier, C.G., Schueler, F.W., Spalding, M., Wells, F. and Vynne, C., 2002. Marine Biodiversity Hotspots and Conservation Priorities for Tropical Reefs. *Science*, 295(5558), pp.1280-1284.
- Roberts, J. M., Wheeler, A. J., Freiwald, A. 2006. Reef of the Deep: The Biology and Geology of Cold-Water Coral Ecosystem. *Science*, 312 :543-547.
- Ruppert, E., Fox, Richard, S., Barnes, Robert D. 2004. *Invertebrate Zoology 7th Edition*. Cengage Learning. Pp. 134 – 135.
- Saifullah, Purwanto, A., Budi, S., Iqbal, M., Jayanti, M.I., & Azmin, N. (2023). Pertumbuhan karang acropora hasil transplantasi dengan menggunakan media rak jaring di taman

wisata alam laut (twal) pulau satonda. JUSTER: Jurnal Sains dan Terapan. 2(1): 103-111

- Schmidt-Roach, S., Lundgren, P., Miller, K. J., Gerlach, G., Noreen, A.M. E., Andreakis, N. 2012. Aseessing Hidden Species Diversity In the Coral *Pocillopora damicornis* From Eastern Australia. *Coral Reefs*. 32:161-172.
- Silbiger, N. J., Nelson, C. E., Remple, K., Sevilla, J. K., Quinlan, Z. A., Putnam, H. M., Fox, M. D., & Donahue, M. J. (2018). Nutrient pollution disrupts key ecosystem functions on coral reefs. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1880), 20172718. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2718>.
- Siringoringo, R. M., Hadi, T. A., Purnama, N. W., Abrar, M., & Munasik, M. (2020). Distribution and Community Structure of Coral Reefs in The West Coast of Sumatra , Indonesia. *Ilmu Kelautan*, 24(1), 51–60. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.24.1.51.60>
- Soong, K and T. Chen. 2003. Coral Transplantation: Regeneration and Growth of *Acropora* Fragment in Nursery. *Restoration Ecology*. Vol. 11 No. 1. pp 62–71.
- Stobart, B, 2000. A taxonomic reappraisal of *Montipora digitata* based on genetic and morphometric evidence. *Zoo. stud.* 39(3): 179-190
- Suharsono 2010. *Jenis-jenis Karang di Indonesia* Jakarta.
- Storlazzi, C. D., J. B. Shope, L. H. Erikson, C. A. Hegermiller, and P. L. Barnard. 2015, Future wave and wind projections for U.S. and U.S.-affiliated pacific islands, U.S. Geological Survey Open-File Report 2015–1001, pp. 426, doi:10.1016/j.csr.2004.02.010.
- Subhan, M. A. 2020. Laju Pertumbuhan Karang *Acropora loripes* Menggunakan Metode Transplantasi Modul Rangka *Spider* di Perairan Desa Les Kabupaten Buleleng Bali. *SKRIPSI*, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Suharsono, 1999. Bleaching Events Followed by Mass Mortality of Corals in 1998 in Indonesian Waters. *Proc. 9th JSPS Joint Sem. Mar. Fish Sci.:* 179-18
- Suharsono. (2008). *Jenis-Jenis Karang di Indonesia*. LIPI Press.
- Suparno, S., Munzir, A., & Suryani, K. 2018. Transplantasi Karang Hias Untuk Mendukung Wisata Selam di Nagari Sungai Pinang, Kabupaten Pesisir Selatan. *Vokasi2*, 2(1), 60–65.
- Supriharyono. 2007. *Pengelolaan Ekosistem Terumbu Karang*. Jakarta: Djambatan.
- Veron, J. E. N., 1995. *Corals in Space and Time: The Biogeography and Evolution of The Scleractinia*. Cornell University Press.
- Veron, J.E.N. 2000. *Corals of the World Volume I*. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia.
- Wallace, C. 1998. *Revision of the coral genus Acropora (Scleractinia: Astrocoeniina: Acroporidae) in Indonesia*. *Zoological Journal of the Linnean Society* (1998), 123:199-384.
- Wallace, C. 1999. *Staghorn Corals of the World a Revision of the genus Acropora*. CSIRO Publishing, Australia.
- Wang, Z., Kawamura, K., Sakuno, Y., Fan, X., Gong, Z., & Lim, J. 2017. Retrieval of chlorophyll-a and total suspended solids using iterative stepwise elimination partial least squares (ISE-PLS) regression based on field hyperspectral measurements in irrigation ponds in Higashihiroshima, Japan. *Remote Sensing*, 9(264):1-14

- Wiedenmann J., D'Angelo C., Smith E.G., Hunt A.N., Legiret F., Postle A.D., Achterberg E.P. Nutrient enrichment can increase the susceptibility of reef corals to bleaching. *Nat. Clim. Chang.* 2013;2:1–5.
- Wirasatriya, A., Maslukah, L., Indrayanti, E., Yusuf, M., Milenia, A.P., Adam, A.A., & Helmi, M. 2023. Seasonal variability of Total Suspended Sediment off the Banjir Kanal Barat River, Semarang, Indonesia estimated from Sentinel-2 images. *Regional Studies in Marine Science*. 57: 1-8. DOI: 10.1016/j.rsma.2022.102735
- Wolstenholme JK, Wallace CC, Chen CA, 2003. Species boundaries within the *Acropora humilis* species group (Cnidaria; Scleractinia): a morphological and molecular interpretation of evolution. *Coral Reefs*. 22(2): 155-166.doi: 10.1007/s00338-003.
- Yonar, M., Luthfi, O. M., & Isdianto, A. 2021. Dynamics Of Total Suspended Solid (TSS) Around Coral Reef Beach Damas, Trenggalek. *Journal of Marine and Coastal Science*, 10(1), 48-57.
- Yuliantri, A. R., Moka, W., Jompa, J., & Litaay, M. 2006. The Successful Transplantation Of *Acropora muricata* At Barrang Lompo Reef Edge, South Sulawesi. *Mar. Res. Indonesia*, 30, 21–25. <https://doi.org/10.14203/mri.v30i0.470>
- Yusuf, S. and Budiyanto, A., 2012. New Records of *Acropora russelli* (Wallace 1994) from wallace Area, Indonesia. In *Proceeding of Wallace-Darwin Science Symposium: p* (Vol. 1, No. 14).
- Yucharoen, M., Thammachote, S., Jaroenpon, A., Lamka, S., & Thongtham, N. 2013. Coral transplantation in turbid waters at Rad Island, Phuket, Thailand. *Galaxea, Journal of Coral Reef Studies*, 15(Supplement), 343–350. <https://doi.org/10.3755/galaxea.15.343>
- Zhao, Y., Wang, R., Zhang, E., Guan, B., Xu, M. 2022. Aquatic Ecosystem Responds Differently to Press and Pulse Nutrient Disturbances as Revealed By a Microcosm Experiment. *Ecology and Evolution*. 1-10.
- Zurba, N. 2019. *Pengenalan Terumbu Karang, Sebagai Pondasi Utama Laut Kita*. Unimal Press.