

**PENGARUH DERAJAT KEASAMAN (pH) AIR LAUT YANG
BERBEDA TERHADAP KONSENTRASI KALSIUM DAN
LAJU PERTUMBUHAN *Halimeda sp***

SKRIPSI

**OLEH :
KHAERUL AWALUDDIN**



**PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN
JURUSAN PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

**PENGARUH DERAJAT KEASAMAN (pH) AIR LAUT YANG
BERBEDA TERHADAP KONSENTRASI KALSIUM DAN
LAJU PERTUMBUHAN *Halimeda sp***

**OLEH :
KHAERUL AWALUDDIN**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana
Pada Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan
Universitas Hasanuddin



**PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN
JURUSAN PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi Pengaruh Derajat Keasaman (pH) Air Laut yang Berbeda Terhadap Konsentrasi Kalsium dan Laju Pertumbuhan *Halimeda* sp.

Nama Mahasiswa Khaerul Awaluddin

No. Pokok L 211 09 257

Jurusan Perikanan

Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan

Skripsi telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Nita Rukminasari, S.Pi,MP,Ph.D
NIP. 196912291998022001

Dr. Ir. Nadiarti, M.Sc
NIP.196801061991032001

Mengetahui :

Dekan
Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan,

Ketua Program Studi
Manajemen Sumberdaya Perairan,

Prof. Dr. Ir. Andi Niartiningih, MP
NIP. 196112011987032002

Prof.Dr.Ir.Sharifuddin Bin Andy Omar M.Sc
NIP. 196311201993031002

Tanggal Lulus : Mei 2013

ABSTRAK

KHAERUL AWALUDDIN. L211 09 257. Pengaruh Derajat Keasaman (pH) Air Laut yang Berbeda Terhadap Konsentrasi Kalsium dan Laju Pertumbuhan *Halimeda* sp. Dibimbing oleh NITA RUKMINASARI dan NADIARTI

Pengasaman laut mengakibatkan terganggunya kehidupan organisme laut termasuk organisme yang mengalami proses pengapuran pada siklus hidupnya, seperti *Halimeda* sp yang mampu menenggelamkan CO₂ dalam perairan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai dengan September 2012 di Laboratorium Pusat Pengelolaan Wilayah Pesisir, Pusat Kegiatan Penelitian (PKP) Universitas Hasanuddin, Makassar, Sulawesi Selatan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh derajat keasaman (pH) yang berbeda terhadap konsentrasi kalsium dan pertumbuhan spesies makroalga berkapur *Halimeda* sp. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dan rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan menggunakan 3 perlakuan dan masing-masing perlakuan di ulang sebanyak 3 kali. Analisa data menggunakan sidik ragam dan dilanjutkan dengan uji respon. Uji Tukey digunakan untuk membandingkan perbedaan antara perlakuan. Sebagai alat bantu untuk melaksanakan uji statistik tersebut digunakan paket program SPSS versi 16.0. Adapun peubah kualitas air yang diperoleh dianalisis secara diskriptif berdasarkan kelayakan hidup *Halimeda* sp. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan yang nyata antara ketiga perlakuan terhadap konsentrasi kalsium dan pertumbuhan *Halimeda* sp. Konsentrasi kalsium yang tertinggi adalah perlakuan pH 8 kemudian di ikuti pH 6 dan terakhir pH 5. Pada pertumbuhan yang tertinggi adalah perlakuan pH 8 kemudian pH 6 dan terakhir pH 5. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pengasaman air laut dapat mengganggu proses pengapuran *Halimeda* sp, khususnya pada pH air laut <6 dan pengasaman air laut tidak mengganggu pertumbuhan *Halimeda* sp.

RIWAYAT HIDUP



KHAERUL AWALUDDIN, dilahirkan pada tanggal 14 Mei 1991 di Samaenre Kabupaten Bone. Orang tua bernama Basri Alam dan Kasmawati. Pada tahun 2003 penulis lulus Sekolah Dasar pada SD Negeri 183 Pitumpidange, tahun 2006 lulus MTs pada MTs Negeri 1 Libureng dan tahun 2009 lulus SMA pada SMA Negeri 1 Libureng. Pada tahun 2009 penulis berhasil diterima sebagai mahasiswa melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) pada Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan (MSP), Jurusan Perikanan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten pada beberapa mata kuliah diantaranya Avertebrata Air, Planktonologi dan tumbuhan Air, Ekologi Ikan, Limnologi, dan Biologi Perikanan. Di bidang keorganisasian penulis pernah menjabat sebagai Ketua Umum Himpunan Mahasiswa Profesi Manajemen Sumberdaya Perairan Keluarga Mahasiswa Perikanan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin Periode 2011/2012. Dewan Pertimbangan Organisasi Ikatan Keluarga Mahasiswa Bone Universitas Hasanuddin 2011/2012. Pengurus Forum Kajian Pesisir Universitas Hasanuddin 2010/2011.

Penulis menyelesaikan rangkaian tugas akhir yaitu Kuliah Kerja Nyata di Desa Sei Pancang, Kecamatan Sebatik Utara, Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur pada tahun 2012, Praktik Kerja Lapang di Pos Perikanan Sebatik Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur pada tahun 2012. Penelitian dengan judul "Pengaruh Derajat Keasaman (pH) Air Laut Terhadap Konsentrasi Kalsium dan Laju Pertumbuhan *Halimeda* sp" pada tahun 2013.

KATA PENGANTAR



Puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Pengaruh Derajat Keasaman (pH) Air Laut yang Berbeda Terhadap Konsentrasi Kalsium dan Laju Pertumbuhan *Halimeda* sp.** Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menjadi sarjana perikanan di Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Jurusan Perikanan Universitas Hasanuddin.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak yang merupakan sumber acuan dalam keberhasilan penyusunan skripsi ini. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis sangat berterima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian, memberikan pendapat, saran, serta solusi penyelesaian penyusunan skripsi ini, yaitu kepada yang terhormat:

1. **Ayahanda Basri Alam dan Ibunda Kasmawati** yang dengan penuh kesabaran memberikan pendidikan sebagai bekal hidup nanti. Terima kasih untuk saudaraku **Farid Ma'ruf** dan **Zulfikar Maulana** yang selalu memberikan dorongan semangat demi keberhasilan penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
2. **Ibu Nita Rukminasari, S.Pi. MP. Ph.D dan Dr.Ir. Nadiarti, M.Sc** selaku Dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu atas segala saran dan arahnya mulai dari awal sampai penyelesaian skripsi ini.
3. **Ir. Abdul Rahim Hade, MS** selaku Penasehat Akademik yang telah bersedia memberikan saran dan arahan selama penulis melalui proses belajar dibangku kuliah.

4. **Bapak Prof. Dr. Ir. Sharifuddin Bin Andy Omar, M.Sc, Dr. Ir. Khusnul Yaqin, M.Sc dan Prof. Dr. Ir. Farida G. Sitepu, MS** yang telah bersedia memberikan saran dan kritik demi terselesainya skripsi ini.
5. Ucapan terima kasih kepada **Bapak Laking** dan **Ibu Hj. Cahaya** yang telah memberikan nasehat-nasehatnya bagi penyelesaian skripsi ini.
6. Warga **Himpunan Mahasiswa Profesi Manajemen Sumberdaya Perairan Keluarga Mahasiswa Perikanan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin** dan adik-adikku angkatan 2010 dan 2011 yang telah membantu selama melakukan penelitian.
7. Terakhir bagi saudara-saudaraku. Perikanan angkatan 2009 yang selama proses kuliah saling bantu-membantu dalam menyelesaikan masa studi dibangku Universitas. Semoga semangat itu tetap ada.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak terlepas dari kekurangan-kekurangan. Untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis memohon kritikan-kritikan yang dapat penulis gunakan untuk perbaikan di masa mendatang.

Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini bermanfaat untuk kepentingan bersama dan segala amal baik serta jasa dari pihak yang turut membantu penulis, mendapat berkah dan kasih Tuhan Yang Maha Esa. Amin.

Makassar, 14 Mei 2013

Khaerul Awaluddin

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar belakang	1
B. Tujuan dan kegunaan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Morfologi Makroalga	4
B. Peranan CO ₂ Terlarut Terhadap Proses Pengapuran	7
C. Peranan <i>Halimeda</i> sp dalam Pembentukan Karang	8
D. Proses Pembentukan Kadar Kalsium.....	8
E. Makrobiologi dan Struktur Makroalga Hijau Sebagai Pertahanan ..	10
F. Keasaman laut	11
1. Sumber Keasaman laut	12
2. Mekanisme terjadinya Keasaman laut	12
3. Dampak Keasaman laut	13
G. Parameter Kualitas Air	15
1. Suhu.....	15
2. Salinitas.....	16
3. Oksigen Terlarut.....	16
4. Derajat Keasaman.....	17
III. METODE PENELITIAN	18
A. Waktu dan Tempat Penelitian	18
B. Alat dan Bahan	18
C. Prosedur penelitian	19
1. Persiapan	19
2. Disain Percobaan Penelitian.....	20
D. Parameter yang diamati.....	21
1. Konsentrasi Ca pada <i>Halimeda</i> sp	21
2. Laju Pertumbuhan Spesifik.....	22
E. Kualitas Air.....	22
F. Analisis Data	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	23
A. Konsentrasi Kalsium pada <i>Halimeda</i> sp.....	23
B. Pertambahan Bobot dan Laju Pertumbuhan spesifik <i>Halimeda</i> sp.	25
1. Pertambahan Bobot.....	25
2. Laju Pertumbuhan spesifik.....	27
C. Kualitas Air	28
1. Suhu.....	28
2. Oksigen Terlarut.....	28
3. Salinitas.....	29

V. SIMPULAN DAN SARAN	31
A. Simpulan.....	31
B. Saran	31
DAFTAR PUSTAKA.....	32
LAMPIRAN.....	35

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Hubungan antara kelompok fungsional bentuk makroalga hijau dengan tingkat kesulitan dimakan oleh herbivora	10
2.	Tabel alat yang digunakan dalam penelitian	18
3.	Tabel bahan yang digunakan dalam penelitian.....	19
4.	Pengukuran suhu berdasarkan rentang waktu pengamatan	28
5.	Pengukuran oksigen terlarut berdasarkan waktu pengamatan ..	29
6.	Pengukuran salinitas berdasarkan rentang waktu pengamatan.	30

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Morfologi <i>Halimeda</i> sp (Dokumentasi Penelitian)	6
2. Sistematika CO ₂ ketika terlarut di laut hubungannya dengan proses fotosintetis dan pengapuran.....	7
3. Ukuran akuarium yang digunakan dalam penelitian.....	19
4. Bagan tahapan penelitian.....	20
5. Letak unit percobaan yang digunakan pada penelitian selama perlakuan.....	21
6. Konsentrasi kalsium pada <i>Halimeda</i> sp.....	23
7. Hubungan regresi antara konsentrasi kalsium pada <i>Halimeda</i> sp dan rentang waktu pengamatan	24
8. Pertumbuhan <i>Halimeda</i> sp berdasarkan rentang waktu pengamatan.	25
9. Laju pertumbuhan spesifik <i>Halimeda</i> sp berdasarkan perlakuan	26
10. Hubungan regresi antara laju pertumbuhan spesifik pada <i>Halimeda</i> sp dan rentang waktu pengamatan.....	27

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
1. Dokumentasi penelitian	36
2. Laju Pertumbuhan tiap perlakuan <i>Halimeda</i> sp Berdasarkan Waktu Pengamatan.....	40
3. Rata-rata Laju Pertumbuhan <i>Halimeda</i> sp Berdasarkan Waktu Pengamatan.....	41
4. Laju Pertumbuhan Berat Mutlak <i>Halimeda</i> sp.....	42
5. Hasil Analisis Konsentrasi Kalsium <i>Halimeda</i> sp dari Setiap Perlakuan.....	43
6. Rata-rata Konsentrasi Kalsium setiap perlakuan berdasarkan waktu pengamatan	46
7. Data suhu, oksigen terlarut, pH dan salinitas air media penelitian	47
8. Cara kerja Atomic Absorption Spectrophotometer	48
9. Analisis varians jumlah konsentrasi kalsium pada <i>Halimeda</i> sp .	49
10. Analisis varians laju pertumbuhan pada <i>Halimeda</i> sp.....	53

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Makroalga adalah organisme fotosintetik yang menempati dasar rantai makanan yang terdapat di laut. Makroalga secara terus menerus harus berhadapan dengan organisme lain di lingkungan alaminya, termasuk hewan herbivora maupun mikroba penginfeksi. Serangan herbivora dan mikroba tersebut telah merangsang suatu mekanisme pertahanan diri dari makroalga. Makroalga tersebut dapat menghadapi serangan herbivora dan mikroba dengan menggunakan pertahanan fisik yaitu memiliki lendir dan duri, selain itu juga dengan pertahanan kimia dengan mengeluarkan senyawa kimia yang berbau maupun yang beracun (Handayani, 2010).

Air laut mempunyai kemampuan menyangga yang sangat besar untuk mencegah perubahan pH. Perubahan pH sedikit saja dari pH alami akan memberikan petunjuk terganggunya sistem penyangga. Hal ini dapat menimbulkan perubahan dan ketidakseimbangan kadar CO₂ yang dapat membahayakan kehidupan biota laut. pH air laut permukaan di Indonesia umumnya bervariasi dari lokasi ke lokasi antara 6.0 – 8,5. Perubahan pH dapat mempunyai akibat buruk terhadap kehidupan biota laut, baik secara langsung maupun tidak langsung (Odum, 1993).

Derajat keasaman atau pH merupakan suatu indeks kadar ion hidrogen (H⁺) yang mencirikan keseimbangan asam dan basa. Nilai pH juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi produktifitas perairan (Pescod, 1973). Nilai pH pada suatu perairan mempunyai pengaruh yang besar terhadap organisme perairan, baik tumbuhan maupun hewan, sehingga seringkali dijadikan petunjuk untuk menyatakan baik buruknya suatu perairan. Biasanya angka pH dalam

suatu perairan dapat dijadikan indikator dari adanya keseimbangan unsur-unsur kimia dan dapat mempengaruhi ketersediaan unsur-unsur kimia dan unsur-unsur hara yang sangat bermanfaat bagi kehidupan vegetasi akuatik (Odum, 1971).

Tinggi rendahnya pH dipengaruhi oleh fluktuasi kandungan O_2 maupun CO_2 . Tidak semua makhluk bisa bertahan terhadap perubahan nilai pH, untuk itu alam telah menyediakan mekanisme yang unik agar perubahan tidak terjadi atau terjadi tetapi dengan cara perlahan. Tingkat pH lebih kecil dari 4,8 dan lebih besar dari 9,2 sudah dapat dianggap tercemar (Sary, 2006).

Peningkatan suhu udara di permukaan bumi antara $2^{\circ}C$ – $5^{\circ}C$ dalam kurun waktu 100 tahun dengan kondisi emisi gas rumah kaca seperti saat ini akan mengakibatkan perubahan iklim sebagaimana kajian *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* dalam sidang *Second World Climate Programme (SWCP)* Oktober 1990 di Genewa (Wibowo, 1996).

Ketika atmosfer menghangat, lapisan permukaan lautan juga akan menghangat sehingga volumenya akan membesar dan menaikkan tinggi permukaan laut. Pemanasan juga mencairkan banyak es di kutub yang lebih memperbanyak volume permukaan air laut. Pada konsentrasi yang besar CO_2 juga masuk kedalam perairan sehingga mengakibatkan perubahan parameter kualitas air khususnya pH air dan sistem karbonat. Pengasaman laut, mengakibatkan terganggunya kehidupan organisme laut termasuk di dalamnya organisme yang mengalami proses pengapuran pada siklus hidupnya, seperti *Halimeda* sp. *Halimeda* sp merupakan jenis makroalga yang mengandung kadar kalsium, dimana pada siklus hidupnya terdapat proses pengapuran yang mampu menenggelamkan CO_2 dalam perairan (Soemarwoto, 2001).

Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh konsentrasi kalsium dan pertumbuhan *Halimeda* sp terhadap pH yang berbeda.

B. Tujuan dan Kegunaan

Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh derajat keasaman (pH) yang berbeda terhadap konsentrasi kalsium dan pertumbuhan spesies makroalga berkapur *Halimeda* sp.

Kegunaan dari penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai konsentrasi kalsium dan pertumbuhan *Halimeda* sp pada pH yang berbeda. Selain itu, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi untuk penelitian selanjutnya mengenai dampak pengasaman laut terhadap organisme laut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Morfologi Makroalga

Morfologi makroalga tidak memperlihatkan adanya perbedaan antara akar, batang dan daun. Secara keseluruhan tanaman ini memiliki morfologi yang mirip, walaupun sebenarnya berbeda. Sumich (1992), menyatakan bahwa tubuh makroalga umumnya disebut *thallus*. Thallus merupakan tubuh vegetatif alga yang belum mengenal diferensiasi akar, batang dan daun sebagaimana yang ditemukan pada tumbuhan tingkat tinggi. Thallus makroalga umumnya terdiri atas *blade* yang memiliki bentuk seperti daun, *stipe* yang menyerupai batang dan *holdfast* yang merupakan bagian thallus yang serupa dengan akar. Pada beberapa jenis makroalga, *stipe* tidak dijumpai dan *blade* melekat langsung pada *holdfast*. *Blade* dari makroalga kemungkinan berasal dari diferensiasi *stipe*.

Perbedaan bentuk *holdfast* terjadi akibat proses adaptasi terhadap keadaan substrat dan pengaruh lingkungan seperti gelombang dan arus yang kuat dapat mencabut *holdfast* tersebut (Sumich, 1992). *Holdfast* berbentuk cakram pada substrat yang keras dan berbentuk stolon merambat pada substrat berpasir.

Menurut Nontji (2002), secara sepintas banyak alga memperlihatkan bentuk luar seperti mempunyai akar, batang, daun dan bahkan buah. Alga pada hakikatnya tidak mempunyai akar, batang, daun seperti yang terdapat pada tumbuhan yang lazim telah dikenal. Seluruh wujud alga itu terdiri dari seperti batang yang disebut thallus, hanya bentuknya yang beranekaragam. Makroalga memiliki substansi yang beragam, ada yang lunak, keras mengandung kapur, berserabut dan lain-lain.

Beberapa bentuk thallus makroalga bermacam-macam, antara lain bulat seperti tabung, pipih, gepeng, bulat seperti kantong, rambut dan sebagainya. Thallus mempunyai bentuk beberapa percabangan, ada yang *dichotomous* (bercabang dua terus menerus), *pectinate* (berderet searah pada satu sisi talus utama), *pinnate* (bercabang dua-dua pada sepanjang talus utama secara berselang-seling), *ferticillate* (cabangnya berpusat melingkar aksis atau sumbu utama dan adapula yang sederhana dan tidak bercabang (Aslan, 1993).

Makroalga dari divisi Chlorophyta umumnya bersifat multiseluler dengan bentuk thallus yang bervariasi. *Caulerpa* memiliki bentuk seperti pipa tanpa sekat dengan thallus hanya tersusun atas satu sel yang mengandung banyak inti. Sedangkan *Halimeda* sp memiliki talus yang keras karena banyak mengandung zat kapur. Bentuknya pipih membulat dan bercabang-cabang, banyak ditemukan di terumbu karang dan ikut memperkuat formasi terumbu karang tersebut (Nontji, 2002).

Alga divisi Chlorophyta biasa juga disebut sebagai alga hijau, memiliki klorofil warna hijau. Chlorophyta merupakan divisiterbesar dari semua divisi alga, sekitar 6500 jenis anggota divisi ini telah diidentifikasi. Divisi Chlorophyta tersebar luas dan menempati beragam substrat seperti tanah yang lembab, batang pohon, batuan basah, danau, laut hingga batuan bersalju. Sebagian besar (90%) hidup di air tawar dan umumnya merupakan penyusun komunitas plankton. Sebagian kecil hidup sebagai makroalga di air laut. Divisi Chlorophyta hanya terdiri atas satu kelas yaitu Chlorophyceae yang terbagi menjadi empat ordo yaitu Ulvales, Caulerpales, Cladophorales dan Dasycladales (Verheij, 1993).

Halimeda sp merupakan jenis alga hijau yang dikelompokkan ke dalam divisi Chlorophyta dan famili Halimedaceae. *Halimeda* sp banyak dijumpai pada daerah terumbu karang yang kondisi pantainya tenang an agak terlindung, hidup

membuat koloni atau berkelompok dan mempunyai perekat berupa rhizoid yang tersebar dan membungkus segmen (Poli, 2000).

Penyebaran *Halimeda* sp melekat pada substrat karang batu, dan disela-sela pertumbuhan karang. Keberadaannya banyak dijumpai di pantai yang berkarang dengan kedalaman 10 m atau lebih, terutama perairan laut Indonesia kawasan tengah, timur dan laut selatan Pulau Jawa.

Halimeda sp adalah tumbuhan laut yang memiliki hijau daun dan merupakan salah satu jenis dari golongan alga hijau.



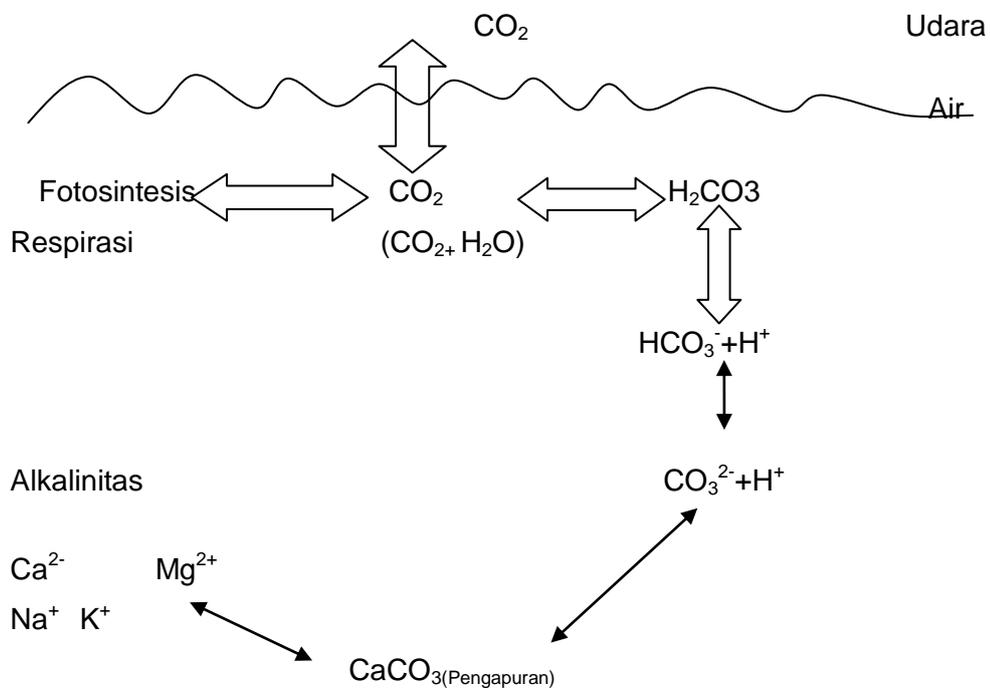
Gambar 1. Morfologi *Halimeda* sp (Dokumentasi Penelitian)

Klasifikasi *Halimeda* sp menurut Luning 1990:

Kerajaan	: Plantae
Divisi	: Thallophyta
Kelas	: Chlorophyceae
Ordo	: Caulerpales
Famili	: Chlorophyta
Genus	: <i>Halimeda</i>
Spesies	: <i>Halimeda</i> sp

B. Peranan CO₂ Terlarut Terhadap Proses Pengapuran

Alga penghasil kapur dapat mengubah karbondioksida menjadi bikarbonat dan proton secara ekstraseluler dengan bantuan enzim *carbonate anhydrase*. Setelah itu bikarbonat akan mengalami dehidrasi menjadi karbonat (CO₃²⁻). Ion karbonat inilah yang kemudian berperan dalam proses pengapuran dan dimanfaatkan oleh karang maupun alga berkapur untuk pertumbuhannya. Pada proses pengapuran dapat terjadi ketika diperairan tersedia ion Ca²⁺ dan CO₃²⁻ dalam konsentrasi yang mencukupi setelah melewati batas nilai Ksp-nya, maka akan mengendap sebagai kalsium karbonat (CaCO₃) yang akan dimanfaatkan oleh pertumbuhan karang dan alga berkapur. Beberapa penelitian yang mengungkapkan bahwa dari kedua ion tersebut yang menjadi faktor pembatas adalah ion CO₃²⁻, sehingga ketika konsentrasinya berkurang, maka proses pengapuran tidak terjadi. Secara skematik terjadinya reaksi mulai dari CO₂ terlarut hingga terjadinya proses pengapuran tersaji pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Sistematika CO₂ ketika terlarut di laut hubungannya dengan proses fotosintetis dan pengapuran (Kleypas dan Langdon, 2000).

C. Peranan *Halimeda* sp dalam Pembentukan Karang

Makroalga *halimeda* sp dan alga hijau lain yang berkapur yang seperti terdapat pada perairan Karibia dan Indo-Pasifik dapat mengendapkan sejumlah kristal-kristal kalsium karbonat yang saling berhubungan dalam bentuk mineral aragonit di dalam thalus. Dengan demikian, *Halimeda* sp memberikan peranan yang sangat penting bagi pembentukan pasir, terutama pada bagian laguna terumbu.

Halimeda sp merupakan salah satu alga berkapur yang paling penting di ekosistem laguna terumbu karang, telah diketahui bahwa alga berkapur di habitat daerah terumbu karang banyak mempunyai kepentingan ekologis, akan tetapi informasi akan hal tersebut sangatlah jarang. Organisme ini hampir seluruhnya kurang diketahui dengan baik (Littler, 1989). Selanjutnya dikatakan, banyak pengetahuan tentang pengapuran biologis berasal dari studi tulang dan cangkang yang dihasilkan oleh hewan yang terdapat diperairan.

Halimeda sp umumnya terdapat di perairan tropis dan mensekresikan CaCO_3 yang setelah mati akan mensuplai pada pasir karbonat, material kasar untuk bahan limestone dimasa mendatang. Makroalga *Halimeda* sp merupakan alga yang penting dalam pembentukan pasir terumbu di daerah terlindung dan terutama di daerah berpasir dari terumbu karang. *Halimeda* sp mensekresikan CaCO_3 sebagai aragonit pada sisi luar talusnya. Separuh sedimen disumbangkan pada pembentukan terumbu karang yang terdiri dari pecahan alga berkapur tegak seperti *Halimeda* sp (Luning, 1990).

Halimeda sp berperan pada formasi terumbu karang dan umumnya sebagai pengikat sedimen. Littler (2000) menyatakan *Halimeda* sp adalah salah satu komponen yang paling melimpah di pasir sekitar terumbu karang.

D. Proses Pembentukan Kadar Kalsium

Pada proses pembentukan kadar kalsium makroalga secara umum ditunjukkan sebagai bentuk pertahanan herbivora dengan menjadikan makroalga lebih keras dan lebih sulit untuk dicerna. Asumsi tersebut konsisten dengan fakta bahwa kandungan kalsium karbonat(CaCO_3) makroalga jarang sebagai pilihan makanan herbivora (Hay, 1997). Beberapa makroalga hijau tropis mampu membentuk kalsifikasi sekaligus menghasilkan metabolit sekunder dalam tubuhnya. Keduanya memiliki fungsi sebagai bentuk pertahanan terhadap herbivora, sebagai contoh adalah *Neomeris annulata* dan *Halimeda* sp. (Meyer and Paul, 1995).

Kekerasan thallus makroalga hijau yang meningkat secara pasti akan mencegah pemangsaan terhadap makroalga berkapur tinggi. Beberapa herbivora (ikan dan bulu babi) dapat dengan mudah memangsa makroalga berkapur tetapi beberapa biota lain tidak dapat memangsa makroalga tersebut. Pernyataan tersebut mengindikasikan bahwa CaCO_3 pada thallus makroalga berfungsi sebagai senyawa kimiapenyusunan struktur dinding sel dan pertahanan (Hay,1997).

Penambahan CaCO_3 pada makroalga hijau, secara signifikan dapat menurunkan rata-rata pemangsaan oleh ikan pada saat saluran pencernaan ikan yang asam (Hay, 1997). Zat kapur sebagai bagian dari pertahanan diri dari makroalga hijau juga dikemukakan oleh Hatta(1991), bahwa makroalga mampu mengembangkan struktur thallusnya sedemikian rupa, sehingga susah untuk dimakan, yaitu penimbunan CaCO_3 pada marga *Halimeda* sp. Diantara morfologi dan struktur thallus tersebut, urutan tingkat kesulitan untuk dicerna oleh herbivora dari yang paling mudah dalah thallus benang, lembaran, tepi bergerigi, berkapur. Pengelompokkan makroalgae berdasarkan morfologi dan struktur dalam kiatannya dengan pemangsaan oleh herbivora dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan antara kelompok fungsional bentuk makroalga hijau dengan tingkat kesulitan dimakan oleh herbivora (Kadi, 1988).

Kelompok fungsional	Contoh marga	Kesulitan untuk dimakan
1. Makroalga benang	<i>Cladophora</i>	Agak sulit
2. Makroalga lembaran	<i>Ulva</i>	Sulit
3. Makroalga bertepi gerigi	<i>Caulerpa serrulata</i>	Lebih sulit
4. Makroalga berkapur	<i>Halimeda</i> <i>Neomeris</i> <i>Udotea</i>	Lebih sulit

E. Makrobiologi dan Struktur Makroalga Hijau Sebagai Pertahanan

Makroalga hijau mampu merubah tubuhnya dalam ukuran, bentuk, kekerasan, tingkat kalsifikasi, dan kerentanan (mudah patah) untuk bertahan dari pemangsa dan perusakan oleh herbivora. Makroalga hijau mempunyai strategi untuk menghindari herbivora, antara lain dengan membentuk thallus, berupa filamen/benang lembaran yang tipis tetapi lebar, berkapur dan berkarang kerak (Hay, 1997).

Bentuk thallus makroalga hijau yang berupa filamen/benang ditemukan pada marga *Cladophora*. Marga ini memiliki thallus, yaitu benang dan kuat, sehingga thallusnya sulit untuk dicerna oleh herbivora. Makroalga hijau berupa lembaran ditemukan pada marga *Ulva*. Marga ini kebanyakan memiliki thallus lembaran yang lebar dan tipis, sehingga kurang menarik perhatian herbivora. Selain itu, morfologi dan struktur ini sulit di cerna oleh sistem pencernaan herbivora. Hatta (1991), menambahkan perlindungan makroalgae hijau dapat dilakukan dengan pembentukan cabang/thallus yang menyerupai duri dengan tepi yang begerigi, sebagai contoh adalah *Caulerpa serrulata*.

Menurut Hatta (1991), perlindungan yang menggunakan struktur dan morfologi disebut sebagai perlindungan non-kimia. Cara perlindungan ini lebih mengandalkan perlindungan fisik serta tingkat kemampuan adaptasi untuk memanfaatkan kondisi lingkungan. Cara ini meliputi beberapa hal, yaitu:

a) Perlindungan permukaan

Pada cara ini, makroalga hijau bertujuan memberikan kejutan kepada herbivora untuk tidak mendekat dengan jalan membentuk bagian-bagian luar thallusnya sedemikian rupa, sehingga tampak sulit di dekati. Contoh: *caulerpa serrulata* (tepi thallus bergerigi).

b) Plastisitas morfologi

Makroalga hijau mengurangi serangan herbivora dengan mengubah bentuk vegetatif dan disertai pengurangan ukuran.

c) Struktural

Makroalga hijau mengembangkan struktur thallusnya, sehingga susah untuk di makan.

d) Adaptasi pemanfaatan tempat

Makroalga hijau mampu memanfaatkan keunikan alam sebagai tempat hidup, misalnya dicelah-celah karang yang sulit dijangkau oleh herbivora. Contoh : *Valonia ventricosa*.

F. Keasaman laut

Keasaman laut adalah proses turunnya kadar pH air laut yang kini tengah terjadi akibat penyerapan karbon dioksida di atmosfer yang dihasilkan dari kegiatan manusia (seperti penggunaan bahan bakar fosil). pH di permukaan laut diperkirakan turun dari 8,25 menjadi 8,14 dari tahun 1751 hingga 2004 (Jacobson, 2005).

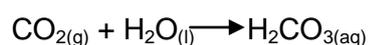
Air laut bersifat sedikit basa dengan derajat keasaman (pH) sekitar 8,2 di dekat permukaan air laut. sejauh ini sejumlah emisi karbon dioksida yang terlarut dalam lautan menurunkan pH air laut sekitar 0,1 (berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh *National Research Council*. Penurunan pH 0,1 berarti air menjadi 30 persen lebih asam dari kondisi sebelumnya. Jika karbon dioksida terakumulasi secara terus-menerus, diperkirakan tingkat keasaman laut akan turun menjadi 7,8 pada tahun 2100. Pada saat itu air akan menjadi 150 persen lebih asam dibandingkan pada tahun 1800. Tidak ada negosiasi dalam perjanjian pembahasan khusus efek penyerapan karbon di lautan, dimana hasil studi menunjukkan absorpsi karbon adalah kunci yang merusak makhluk berkerangka keras di lautan (Jacobson, 1999).

1. Sumber Keasaman laut

Karbon dioksida (CO₂) merupakan sumber utama yang menyebabkan laut kian asam. Oksida asam yang satu ini dapat berasal dari berbagai aktifitas, diantaranya hasil buangan industri, peternakan, kendaraan, pembukaan lahan; dapat dikatakan bahwa sesuatu yang sifatnya menghasilkan energi seperti yang menghasilkan gas ini. Bahkan manusia juga menyuplai CO₂ melalui proses pernapasan (Caldeira dan Wickett, 2003).

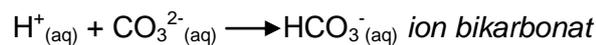
2. Mekanisme terjadinya Keasaman laut

Karbon dioksida yang memiliki rumus kimia CO₂ dapat menjadi asam ketika bereaksi dengan air H₂O sehingga disebut *oksida asam*. Reaksinya adalah sebagai berikut:



H₂CO₃ atau biasa disebut asam karbonat merupakan suatu asam lemah dan sedikit terionisasi menghasilkan H⁺ (spesi yang mengindikasikan larutan

bersifat asam menurut *teori Asam Basa Arrhenius*). Proses asidifikasi samudera, secara sederhana adalah karbon dioksida dari pembakaran bahan bakar fosil yang terakumulasi dalam atmosfer, menyebabkan pemanasan global, berpengaruh terhadap samudera atau lautan kita. Karbon dioksida diserap oleh laut dan bereaksi dengan air laut membentuk *asam karbonat* H_2CO_3 dan meningkatkan keasaman (H^+) air laut.



Sebaliknya, air laut menjadi kekurangan persediaan *karbonat* (CO_3^{2-}) akibat pembentukan *ion bikarbonat*, yang dikenal sebagai zat yang digunakan oleh puluhan ribu spesies hewan laut untuk membentuk cangkang dan tulang (kerangka) serta karang. Jika keasaman lautan cukup tinggi, air laut menjadi korosif dan melarutkan cangkang, melemahkan pertumbuhan hewan laut dan terumbu karang beserta jutaan spesies hewan laut yang bergantung kepadanya (Caldeira dan Wickett, 2003).

3. Dampak Keasaman laut

Asidifikasi samudera, tidak dapat disangkal lagi, adalah bencana lingkungan yang secara diam-diam dapat menghancurkan ekosistem laut dan mengancam produktivitas perikanan. Berikut dampak yang dapat ditimbulkan akibat Asidifikasi samudra:

- Jika keasaman lautan cukup tinggi, air laut menjadi korosif dan melarutkan cangkang, melemahkan pertumbuhan hewan laut dan terumbu karang beserta jutaan spesies hewan laut yang bergantung kepadanya. Pada akhirnya bencana Asidifikasi samudra yang dahsyat ini akan memusnahkan mereka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karang-karang akan mengalami pengurangan kalsifikasi atau peningkatan pemutusan (maksudnya dissolution) ketika terpapar oleh naiknya kadar CO_2 .

- Tingkat keasaman yang tinggi juga mengganggu pendengaran beberapa spesies laut sehingga sulit baginya untuk mendapatkan makanan maupun menghindari predator.
- Keasaman laut mengganggu efektifitas organisme laut dalam bereproduksi
- Keasaman laut juga memberikan dampak komersial yaitu mengancam sumber makanan bagi ratusan juta orang dan industri perikanan, pariwisata serta penangkapan ikan yang telah menampung lebih dari 38 juta orang secara langsung dan sekitar 162 juta orang yang bergantung secara tidak langsung.

Sejak Revolusi Industri, keasaman air samudera telah meningkat 30% hingga saat ini, laju pengasaman air samudera diperkirakan akan makin meningkat di dalam beberapa dekade yang akan datang dan jauh lebih cepat dari yang pernah terjadi sebelumnya. Kerangka atau cangkang kalsium karbonat yang dimiliki berbagai tumbuhan dan hewan samudera akan dipengaruhi asidifikasi samudera sekalipun perubahannya sangat kecil (Caldeira dan Wickett 2003).

Beberapa jenis tumbuhan dan hewan laut yang sangat peka dengan asidifikasi samudera. Jenis tumbuhan dan hewan yang peka ini secara langsung atau tidak langsung merupakan produsen utama bagi kepentingan ekonomi, budaya atau biologi laut. Jenis tumbuhan, hewan laut dan jenis-jenis lain di dalam rantai makanan yang terkena dampak asidifikasi samudera dapat mengancam kepentingan ekonomi masyarakat. Salah satunya adalah resiko kekurangan pangan bagi wilayah yang mayoritas penduduknya bergantung pada protein dan hasil dari lautan. Keasaman laut berpotensi besar merusak atau memusnahkan ekosistem samudera jika laju pelepasan CO₂ di atmosfer terus meningkat seperti yang diramalkan, sehingga suhu permukaan air samudera akan menjadi lebih hangat pada tahun 2050. Pada tahun 2100, 70% terumbu karang yang hidup di

lautan dingin akan terkelupas oleh air samudera yang bersifat korosif (Jacobson, 2004).

Karbon dioksida keberadaannya di atmosfer sudah banyak kita kenal. Sebagai salah satu gas yang kini menjadi perhatian banyak pihak sehubungan dengan aktifitas rumah kaca, kian hari kadarnya makin meningkat. Konsentrasi CO₂ di atmosfer saat ini sekitar 385 ppm yang berarti telah terjadi kenaikan sekitar 37% jika dibandingkan dengan masa sebelum revolusi industri di mulai. Nilai ini diperkirakan akan terus meningkat dengan cepat, karena dukungan aktifitas manusia, dan akan terjadi kenaikan konsentrasi CO₂ di atmosfer sekitar 0,4% setiap tahunnya. Sementara tercatat, pada tahun 2008 telah terjadi kenaikan rata-rata konsentrasi CO₂ global sebesar 2,28 ppm/tahun. Laut sangat terpengaruh terhadap peningkatan CO₂ karena CO₂ yang ada di atmosfer masuk ke perairan melalui proses difusi sehingga akan mempengaruhi kehidupan ekosistem di perairan (Jacobson, 2005).

G. Parameter Kualitas Air

1. Suhu

Suhu di lautan adalah salah satu faktor yang sangat penting bagi kehidupan organisme, karena suhu sangat mempengaruhi baik aktivitas metabolisme maupun perkembangan dari organisme-organisme tersebut (Hutabarat dan Evans, 1985). Menurut Romimohtarto & Juwana (2001) menyatakan juga bahwa di perairan tropis perbedaan suhu air laut sepanjang tahun tidak besar, suhu permukaan laut berkisar antara 27° dan 32°C. Suhu memegang peranan penting dalam pertumbuhan dan perkembangan makroalga.

Suhu optimal untuk tumbuhan alga dapat dibagi menjadi 4 kelompok, yaitu berkisar 0-10°C untuk alga di daerah beriklim hangat dan 15°C-30°C untuk alga hidup di daerah tropis. Keanekaragaman dan kelimpahan alga sangat

dipengaruhi oleh adanya perubahan suhu misalnya penurunan dan kenaikan suhu yang tinggi akan dapat menurunkan keanekaragaman jenis makroalga (Luning, 1990).

2. Salinitas

Pada daerah yang mengalami penguapan yang sangat kuat, salinitas dapat meningkat tinggi. Di perairan pantai kisaran salinitas yang normal adalah 28-32 ppm (Dahuri dkk, 1996). Salinitas secara umum dapat dikatakan sebagai jumlah kadar garam dalam suatu perairan yang dinyatakan dalam permil.

Makroalga umumnya hidup di laut dengan salinitas antara 30-32‰, namun banyak jenis makroalga hidup pada kisaran salinitas yang lebih besar. Salinitas berperan penting dalam kehidupan makroalga. Salinitas yang terlalu tinggi atau terlalu rendah akan menyebabkan gangguan pada proses fisiologis. (Luning, 1990). Menurut (Bold et al. 1978) menyatakan bahwa salinitas juga mempengaruhi penyebaran makroalga di laut makroalga yang mempunyai toleransi yang besar terhadap salinitas (*eurihalin*) akan tersebar lebih luas dibanding dengan makroalga yang mempunyai toleransi yang kecil terhadap salinitas (*stenohalin*). Selain itu, salinitas juga mempengaruhi laju fotosintesis pada makroalga. Kisaran salinitas optimum untuk pertumbuhan makroalga antara 33 – 40‰.

3. Oksigen terlarut

Kadar oksigen di laut ditentukan oleh kelarutan gas oksigen dalam air dan proses biologi yang mengontrol tingkat konsumsi dan pembebasan oksigen. Proses fisik juga mempengaruhi kecepatan oksigen memasuki dan distribusi di dalam laut. Pada *Halimeda* sp, keadaan paparan terumbu dengan dasar pasir yang tak bercampur lumpur, kejernihan air, suhu dan arus yang cukup merupakan persyaratan yang diperlukan (Romimohtarto & Juwana, 2001).

Makroalga dapat tumbuh pada kondisi oksigen terlarut yang berkisar antara 5-6 ppm (Evans dan Hoagland, 1986).

Organisme perairan memerlukan oksigen terlarut yang digunakan untuk kehidupan aquatik khususnya untuk proses pembakaran dalam tubuh. Beberapa bakteri maupun beberapa binatang laut dalam hidup tanpa oksigen (anaerob) sama sekali, lainnya dapat hidup dalam keadaan anaerob hanya sebentar tetapi memerlukan penyediaan oksigen yang berlimpah setiap kali sumber oksigen terlarut dari perairan udara di atasnya, proses fotosintesis dan glikogen dari binatang itu sendiri. Air yang tidak beroksigen selalu jarang terdapat di samudera. Oksigen dihasilkan oleh proses fotosintesis dari tumbuh-tumbuhan dan diperlukan bagi pernapasan (Romimohtarto dan Juwana, 2001).

4. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan nilai pengukuran konsentrasi ion hidrogen dalam larutan dan menunjukkan keseimbangan antara asam dan basa air. Derajat keasaman (pH) memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap organisme perairan sehingga dipergunakan sebagai petunjuk untuk menyatakan baik buruknya suatu perairan untuk media hidup organisme, walaupun baik buruknya suatu perairan masih tergantung faktor-faktor lain. Air laut mempunyai kemampuan menyangga yang sangat besar untuk mencegah perubahan pH. Perubahan pH sedikit saja dari pH alami akan memberikan petunjuk terganggunya sistem penyangga. pH air laut berkisar antara 6,0-8,5 sehingga cenderung bersifat alkalis. Kisaran pH yang layak untuk pertumbuhan makroalga adalah 6,3-10 (Biebl, 1962).